



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE – FURG

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO AMBIENTAL
DOUTORADO EM EDUCAÇÃO AMBIENTAL**

JULIO CESAR TOUGUINHA DE ALMEIDA

**A EDUCAÇÃO AMBIENTAL NA TRANSFORMAÇÃO DO SISTEMA DE ENSINO E
APRENDIZAGEM VISANDO À PROMOÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO
DESENVOLVIMENTO NA PRÁXIS DA ENGENHARIA CIVIL**

**Rio Grande
2015**

JULIO CESAR TOUGUINHA DE ALMEIDA

**A EDUCAÇÃO AMBIENTAL NA TRANSFORMAÇÃO DO SISTEMA DE ENSINO E
APRENDIZAGEM VISANDO À PROMOÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO
DESENVOLVIMENTO NA PRÁXIS DA ENGENHARIA CIVIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Educação Ambiental.

Orientador:
Prof. Dr. Arion de Castro Kurtz dos Santos

Rio Grande
2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Simone M. Firme - CRB 10/2323

A447e Almeida, Julio Cesar Touguinha de.

A Educação Ambiental na transformação do sistema de ensino e aprendizagem visando à promoção da sustentabilidade do desenvolvimento na práxis da engenharia civil / Julio Cesar Touguinha de Almeida. – 2015. Rio Grande.

394 f. : il. color.

Orientador: Prof. Dr. Arion de Castro Kurtz dos Santos
Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande,
Programa de Pós-Graduação em Educação Ambiental, Rio Grande, 2015.

Inclui Apêndices.

1.Educação Ambiental. 2.Pensamento Sistêmico. 3.Modelagem Computacional. I. Santos, Arion de Castro Kurtz dos. II. Título.

CDU 504:37

TERMO DE APROVAÇÃO

JULIO CESAR TOUGUINHA DE ALMEIDA

A EDUCAÇÃO AMBIENTAL NA TRANSFORMAÇÃO DO SISTEMA DE ENSINO E APRENDIZAGEM VISANDO À PROMOÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO DESENVOLVIMENTO NA PRÁXIS DA ENGENHARIA CIVIL

Tese aprovada junto ao Programa de Pós-Graduação em Educação Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Educação Ambiental, pela seguinte banca examinadora.

Prof. Dr. Arion de Castro Kurtz dos Santos
Orientador – FURG

Prof. Dr. Alfredo Guillermo Martin Gentini
FURG

Prof. Dr. Flavio Galdino Xavier
IFRS – Campus Rio Grande

Prof. Dr. Ronaldo Nunes Orsini
IFRS – Campus Canoas

Prof. Dr. Rubens Müller Kautzmann
Unilasalle

Rio Grande, 2015

DEDICATÓRIA

À minha esposa, Maria Thereza, por todo o amor, incentivo e dedicação ao longo desta difícil caminhada.

Aos meus filhos, Julia e Marcello, por me ensinarem a amar incondicionalmente.

Aos meus pais, Walter e Carmem, pelo exemplo de dignidade que deixaram.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu amigo Prof. MD José Samuel Sahagoff, pela competência e humanismo dedicados ao meu crescimento pessoal no transcorrer da jornada.

Agradeço ao Prof. Dr. Alfredo Gentini, pela generosidade e incentivo transmitidos em suas aulas.

Agradeço a todos os estudantes de Engenharia Civil que participaram da pesquisa, pela disponibilidade com que contribuíram para este trabalho.

Agradeço especialmente ao Prof. Dr. Arion de Castro Kurtz dos Santos, que orientou esta pesquisa com competência, dedicação e amizade.

Agradeço a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para o desfecho deste trabalho.

Enfrente o difícil enquanto ainda é fácil; realize a grande tarefa por meio de uma série de pequenos atos.

Lao Tsé

RESUMO

Esta pesquisa-ação realizada em nível de doutorado junto ao Programa de Pós-Graduação em Educação Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande, adotando a linha da modelagem computacional sistêmica e apoiada nos princípios da pedagogia da complexidade, objetivou, através do pesquisador e de um grupo de estudantes de Engenharia Civil, elaborar um método de ensino e aprendizagem que, associado ao Pensamento Sistêmico e a modelagem computacional com o *software* STELLA (acrônimo traduzido do inglês como Laboratório de Aprendizagem Experimental com Animação para o Pensamento Sistêmico), torna a Educação Ambiental (EA) uma ferramenta que permite construir conhecimentos para uma Sustentabilidade do Desenvolvimento (SD) forte. Após elaborar o referencial de pesquisa, tendo desenvolvido o material instrucional que possibilitou observar os modelos mentais dos estudantes, caracterizados por concepções de *senso comum* a respeito das questões ambientais, estruturou-se um sistema de conhecimentos e aprendizagens que, configurado por um padrão de organização em rede onde as informações são processadas através de fluxos circulares, permitisse perceber as forças em jogo na complexa e dinâmica realidade do mundo. Nesse contexto, realizou-se uma pesquisa bibliográfica que, delimitando o referencial teórico e permitindo a estruturação de uma rede sistêmica através de interações interdisciplinares entre teorias, métodos e ferramentas, levou à realização do projeto da estrutura do sistema de ensino e a elaboração dos passos de uma intervenção orientada pelo método da mudança sistêmica, promovendo o alcance dos objetivos desejados. Esse método envolveu ações de *alavancagem* orientadas pelos pressupostos da metodologia de projetos (MP), e culminou nos procedimentos didático-pedagógicos da disciplina de LAIEC I ministrada pelo pesquisador. Tais procedimentos se ampararam nas habilidades de reflexão e argumentação que encaminharam o *aprender a aprender* e também na visão sistêmica alcançada com as atividades de modelagem computacional com STELLA. Os resultados qualitativos e quantitativos de aprendizagem no domínio cognitivo, obtidos através do material instrucional, sugerem indícios de aprendizagens significativas no tocante às concepções de uma SD forte, e evidenciam um perfil *muito bom* de concepções a respeito das categorias dos objetivos da EA, associadas à consciência, conhecimentos, comportamentos, habilidades e a participação cidadã na busca de soluções para os problemas ambientais. Quanto às atividades com o *software* STELLA, onde os estudantes foram mediados pelo linguajar e pensar sistêmicos, através das informações transmitidas pelos aspectos das redes sistêmicas, estes demonstraram grande facilidade em desenvolver as atividades exploratórias e expressivas que os levaram a enxergar a EA e a gestão ambiental sistêmica (GAS) como agentes mitigadores dos impactos ambientais advindos da geração de energia elétrica. Ao final, observando a inter-relação entre as atividades com o *software* STELLA e o perfil *muito bom* dos estudantes na categoria dos objetivos da EA que abarca a capacidade e a habilidade para conceituar os princípios da complexidade ambiental, concluiu-se que é possível construir com sucesso um material instrucional e uma intervenção educativa que, ressaltando a importância da visão sistêmica para as questões ambientais do curso de Engenharia Civil, possam contribuir com uma proposta pedagógica coerente, capaz de promover a transversalização da EA no referido curso.

Palavras-chave: Pensamento sistêmico. Modelagem computacional. Complexidade ambiental. Educação Ambiental. Sustentabilidade do desenvolvimento.

ABSTRACT

This research-action accomplished in a doctorate level in the Postgraduation Program in Environmental Education of the Federal University of Rio Grande, adopting the systemic computational modeling research line and supported by the complexity pedagogy principles objectified, through the researcher and a students' group of Civil Engineering, elaborate a teaching and learning method that, associated to the System Thinking and the computational modeling with STELLA (Structural Thinking Experimental Learning Laboratory with Animation) software, turns the Environmental Education (EE) a tool that allows the knowledge construction for a strong Development of Sustainability (DS). After the research framework elaboration, having developed the instructional material that enabled to observe the students' mental models, characterized by conceptions of *common sense* concerning about the environmental questions, it was structured a knowledge and learning system that, configured by an organization pattern in network where the information are prosecuted through circular flows, allowed to realize the forces that are at stake in the complex and dynamic reality of the world. In this context it was accomplished a bibliographical research defining the theoretical framework and allowing the structuring of a systemic network that through interdisciplinary interactions among theories, methods and tools, made possible to accomplish the teaching system structure project and the elaboration of an intervention guided by the systemic change method steps reaching the goals. This method, involved leverage actions guided by the projects methodology (PM) assumptions, and culminated in didactic-pedagogical procedures administered by the researcher in a specific subject. The procedures were based on the reflection and argumentation abilities that made possible the *learn to learn* and also in the systemic view reached with the STELLA computational modeling activities. The qualitative and quantitative results of learning in the cognitive domain, obtained through the instructional material, suggest indications of significant learning concerning the conceptions of a strong DS, and it shows a very good profile of conceptions concerning about of the goals categories of EE, associated to the conscience, knowledges, behaviors, abilities and the citizenship participation in the search of solutions for the environmental problems. Regarding the activities with STELLA software, where the students were mediated by the language and system thinking, through the information transmitted by the aspects of the systemic networks, they demonstrated a great easiness in the development of the exploratory and expressive activities that carried them to see EE and Environmental Management System (EMS) as mitigating agents of the environmental impacts that came from the electric power generation. At the end, observing the interrelation among activities with STELLA and the very good profile of the students in the goals category of EE that considers the capacity and the ability to judge the principles of the environmental complexity, we concluded that it is possible to build with success an instructional material and an educational intervention that, stressing the importance of the systemic view for the environmental questions of the Civil Engineering course, can contribute with a coherent pedagogical proposal, able to promote the EE's mainstreaming in the referred course.

Keywords: System thinking. Computational modeling. Environmental complexity. Environmental Education. Development sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de interações e causações elaborado pelo autor	32
Figura 2 – Modelo de aprendizagem experiencial lewiniano	35
Figura 3 – Rede sistêmica para investigação do referencial teórico	42
Figura 4 – Aliança entre as abordagens que produzem o conhecimento da SD	43
Figura 5 – Projeções originais do modelo dos limites do crescimento, proposto por Dennis Meadows	49
Figura 6 – Fundamentação da atividade de EA e a importância da visão sistêmica	61
Figura 7 – Três blocos isolados	67
Figura 8 – Três blocos que interagem, com uma realimentação do primeiro para o terceiro	67
Figura 9 – Três blocos, sendo que o terceiro interage com os outros dois	67
Figura 10 – Quatro blocos que interagem entre si	68
Figura 11 – Vários blocos interagindo entre si a partir do primeiro bloco	68
Figura 12 – Rede sistêmica do Pensamento Sistêmico	77
Figura 13 – Elo de retroalimentação ou <i>feedback</i>	80
Figura 14 – Retroação positiva – aumento da divergência	81
Figura 15 – Atrator de Lorenz	84
Figura 16 – Diagrama de $p \times k$ tradicionalmente encontrado na bibliografia sobre caos	86
Figura 17 – Estrutura STELLA para crescimento exponencial	95
Figura 18 – Ciclo do aprendizado profundo	96
Figura 19 – Arquétipo do processo de equilíbrio e defasagem	101
Figura 20 – Níveis diferenciados de percepção da realidade (metáfora do <i>iceberg</i>)	102
Figura 21 – Aspectos do conceito de sistema	105
Figura 22 – Interação circular entre parte e todo	106
Figura 23 – Interação circular entre unidade e diversidade	107
Figura 24 – Aprendizado de circuito único	125
Figura 25 – Aprendizado de circuito duplo	126
Figura 26 – Aliança entre as três abordagens que levam à construção do conhecimento	132
Figura 27 – Mapa sistêmico das relações causais no sistema de ensino de Engenharia Civil	148

Figura 28 – Aplicação do primeiro questionário	161
Figura 29 – Rede sistêmica das concepções dos alunos sobre as categorias dos objetivos da EA	163
Figura 30 – Mapa sistêmico refinado das relações causais do sistema de ensino tecnicista do curso de Engenharia Civil da FURG	170
Figura 31 – Mapa sistêmico das relações causais de um sistema de ensino projetado para a construção do conhecimento da SD	172
Figura 32 – Mapa sistêmico das relações causais no sistema de ensino reprojetoado para o curso de Engenharia Civil da FURG	173
Figura 33 – Etapas que orientaram o desenvolvimento do projeto metodológico	175
Figura 34 – Mapa conceitual dos conteúdos da disciplina LAIEC I	176
Figura 35 – Grupo presente na aula expositiva e dialogada de LAIEC I	177
Figura 36 – Grupo presente na realização do vídeo	181
Figura 37 – Aplicação do questionário final envolvendo o grupo experimental	186
Figura 38 – Referencial para o processo de modelagem matemática	192
Figura 39 – Crescimento e decaimento linear desenvolvido em STELLA	194
Figura 40 – Crescimento exponencial desenvolvido em STELLA	194
Figura 41 – Evolução temporal de uma fonte natural não-renovável e do nível de energia produzido pela fonte, desenvolvido em STELLA	194
Figura 42 – Rede sistêmica do processo de modelagem computacional	197
Figura 43 – Rede sistêmica referente às atividades exploratórias com o <i>software</i> STELLA	198
Figura 44 – Rede sistêmica referente às atividades expressivas com <i>software</i> STELLA ...	200
Figura 45 – Grupo presente na aula expositiva e dialogada sobre complexidade e o Pensamento Sistêmico	203
Figura 46 – Grupo presente nas aulas de modelagem computacional com STELLA, realizadas no laboratório de informática	204
Figura 47 – Grupo presente nas aulas de modelagem computacional com STELLA, realizadas no laboratório de informática	205
Figura 48 – Grupo presente nas aulas de modelagem computacional com STELLA, realizadas no laboratório de informática	205
Figura 49 – Rede sistêmica das atividades exploratórias referentes ao grupo experimental A	207
Figura 50 – Rede sistêmica das atividades exploratórias referentes ao grupo experimental B	208
Figura 51 – Rede sistêmica das atividades expressivas referentes ao grupo experimental A	215

Figura 52 – Rede sistêmica das atividades expressivas referentes ao grupo experimental B	216
Figura 53 – Diagrama causal 1	217
Figura 54 – Diagrama causal 2	217
Figura 55 – Diagrama de fluxo 1	218
Figura 56 – Saída gráfica do modelo 1	219
Figura 57 – Diagrama de fluxo 2	220
Figura 58 – Diagrama de fluxo elaborado pelo estudante A4	222
Figura 59 – Saída gráfica elaborada pelo estudante A4	222
Figura 60 – Diagrama de fluxo elaborado pelo estudante A4	225
Figura 61 – Saída gráfica elaborada pelo estudante A4	225
Figura 62 – Rede sistêmica das concepções apresentadas pelo grupo de controle que dizem respeito à categoria que envolve os princípios da complexidade	235
Figura 63 – Rede sistêmica das concepções apresentadas pelo grupo de controle que dizem respeito à categoria dos conceitos científicos que fazem interface com a SD	238
Figura 64 – Rede sistêmica das concepções apresentadas pelo grupo de controle que dizem respeito à categoria comportamental	240
Figura 65 – Rede sistêmica das concepções apresentadas pelo grupo de controle que dizem respeito à categoria avaliadora das questões ambientais	242
Figura 66 – Rede sistêmica das concepções apresentadas pelo grupo de controle que dizem respeito à categoria que envolve a participação cidadã	244
Figura 67 – Gráficos de barras dos percentuais de concepções e das médias dos pontos atribuídos às diferentes categorias dos estudantes do grupo de controle	247
Figura 68 – Gráfico do perfil das concepções dos estudantes do grupo de controle	251
Figura 69 – Médias das categorias do grupo de controle	252
Figura 70 – Rede sistêmica das concepções apresentadas pelo grupo experimental que dizem respeito à categoria que envolve os princípios da complexidade	254
Figura 71 – Rede sistêmica das concepções apresentadas pelo grupo experimental que dizem respeito aos conceitos científicos que fazem interface com a SD	257
Figura 72 – Rede sistêmica das concepções apresentadas pelo grupo experimental que dizem respeito à categoria comportamental	259
Figura 73 – Rede sistêmica das concepções apresentadas pelo grupo experimental e que dizem respeito à categoria avaliadora das questões ambientais	261
Figura 74 – Rede sistêmica das concepções apresentadas pelo grupo experimental que	

dizem respeito à categoria que envolve a participação cidadã	262
Figura 75 – Gráficos de barras dos percentuais e das médias dos pontos atribuídos às diferentes categorias dos estudantes do grupo experimental	266
Figura 76 – Gráfico do perfil das concepções dos estudantes do grupo experimental	269
Figura 77 – Médias das categorias obtidas pelos estudantes dos grupos experimental A e B no pré-teste	271
Figura 78 – Gráfico comparativo das médias de cada categoria, obtidas pelos grupos experimental e controle no pré-teste	272
Figura 79 – Rede sistêmica das concepções apresentadas pelo grupo experimental que dizem respeito à categoria que envolve os princípios da complexidade	275
Figura 80 – Rede sistêmica das concepções apresentadas pelo grupo experimental que dizem respeito aos conceitos científicos que fazem interface para a SD	278
Figura 81 – Rede sistêmica das concepções apresentadas pelo grupo experimental que dizem respeito à categoria comportamental	280
Figura 82 – Rede sistêmica das concepções apresentadas pelo grupo experimental que dizem respeito à categoria avaliadora das questões ambientais	283
Figura 83 – Rede sistêmica das concepções apresentadas pelo grupo experimental que dizem respeito à categoria que envolve a participação cidadã	285
Figura 84 – Gráficos de barras dos percentuais e das médias dos pontos atribuídos às diferentes categorias dos estudantes do grupo experimental no pós-teste	288
Figura 85 – Gráfico do perfil das concepções dos estudantes do grupo experimental no pós-teste	291
Figura 86 – Médias das categorias obtidas pelos estudantes dos grupos experimentais A e B no pós-teste	293
Figura 87 – Estudo comparativo entre o pré-teste e o pós-teste (grupos A, B e controle)	294
Figura 88 – Estudo comparativo das médias das concepções dos estudantes dos grupos A e B no pós-teste com as médias do grupo de controle no pré-teste	296
Figura 89 – Estrutura de um modelo de aprendizagem do conhecimento da SD	316
Figura 90 – Modelo em STELLA	318

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Habilidades e capacidades desenvolvidas pelas Cinco Disciplinas	100
Quadro 2 – Lista de eventos	145
Quadro 3 – Lista dos fatores	146
Quadro 4 – Padrões de comportamento	147
Quadro 5 – Modelos mentais dos estudantes	149
Quadro 6 – Associação das afirmativas com as categorias dos objetivos da EA no referencial de pesquisa	151
Quadro 7 – Instrumento de pesquisa (pré-teste)	152
Quadro 8 – Convenção dos níveis das concepções e pontuação das afirmativas	165
Quadro 9 – Nível das concepções dos estudantes em função das médias de pontos	166
Quadro 10 – Índices de posicionamentos	167
Quadro 11 – Pontos de alavancagem	171
Quadro 12 – Plano pedagógico da disciplina Laboratório de Atividades Integradoras em Engenharia Civil I	183

SIGLAS E ABREVIATURAS

EA	Educação Ambiental
COEPE	Conselho de Ensino, Pesquisa e Extensão (atualmente COEPEA, Conselho de Ensino, Pesquisa, Extensão e Administração)
CR	Colchete recursivo
FURG	Universidade Federal do Rio Grande
GAS	Gestão Ambiental Sistêmica
IM	Índice de matrícula
ISO	International Organization for Standardization
LAIEC	Laboratório de Atividades Integradas em Engenharia Civil
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
MDE	Modelo de desenvolvimento econômico
MP	Metodologia de Projetos
MSV	Modelo do Sistema Viável
PNEA	Política Nacional de Educação Ambiental
PPGEA	Programa de Pós-Graduação em Educação Ambiental
QSL	Quadro de sequência lógica
SD	Sustentabilidade do Desenvolvimento
SSM	Metodologia <i>Soft Systems</i>
STELLA	Structural Thinking Experimental Learning Laboratory with Animation (acrônimo traduzido como Laboratório de Aprendizagem Experimental com Animação para o Pensamento Sistêmico)
TGS	Teoria Geral dos Sistemas
TSI	Intervenção Sistêmica Total (sigla em inglês)

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	21
1.1 Considerações iniciais	21
1.2 O problema e as justificativas	24
1.2.1 O problema de pesquisa	24
1.2.2 Justificativas	26
1.3 Os objetivos e as questões de pesquisa	28
1.3.1 Os objetivos	28
1.3.2 As questões de pesquisa	29
1.4 A hipótese de pesquisa	31
1.5 Sucinta descrição do encaminhamento metodológico da pesquisa	31
1.6 A organização e estrutura da tese	36
1.7 O referencial de pesquisa	41
CAPÍTULO 2	47
2.1 Considerações iniciais	47
2.2 Aportes para o conhecimento da Sustentabilidade do Desenvolvimento (SD)	48
2.3 Educação ambiental	52
2.3.1 A pedagogia da complexidade ambiental e a EA	55
2.3.2 Aspectos éticos da EA	57
2.3.3 Finalidades, objetivos e princípios básicos da EA	59
2.3.3.1 Finalidades da EA	59
2.3.3.2 Objetivos da EA	59
2.3.3.3 Princípios da EA	60
2.3.4 Aspectos sociais e políticos da EA	61
2.3.5 A EA na universidade	62
2.3.6 EA e a Gestão Ambiental Sistêmica (GAS)	64
2.4 Da Interdisciplinaridade à Transdisciplinaridade: um olhar esquemático	66
CAPÍTULO 3	69
3.1 O velho paradigma da ciência	69
3.2 Investigações a respeito do pensamento sistêmico	70
3.2.1 Conceitos importantes para o Pensamento Sistêmico	71
3.2.2 O simples, o complexo e a complexidade organizada	72

3.2.3 A complexidade dos sistemas humanos ou de atividades humanas	74
3.2.4 Em busca de um paradigma sistêmico	75
3.2.4.1 Abordagens sistêmicas gerais	77
3.2.4.1.1 Alguns aspectos da Teoria Geral dos Sistemas (TGS)	78
3.2.4.1.2 Aportes cibernéticos de Norbert Wiener – <i>feedback</i>	79
3.2.4.1.3 Aportes cibernéticos de Maruyama – a retroação positiva e os diagramas de enlace causal	80
3.2.4.1.4 Aportes cibernéticos de W. R. Ashby – A Lei da Variedade Indispensável	82
3.2.4.2 Abordagens e teorias sistêmicas aplicadas a conteúdos científicos específicos	83
3.2.4.2.1 Alguns aspectos sobre Caos	83
3.2.4.2.2 Aportes de Ilya Prigogine – auto-organização e complexidade	86
3.2.4.2.3 Aportes de Maturana e Varela – <i>Autopoiese</i>	88
3.2.4.3 O Pensamento Sistêmico aplicado a organizações	90
3.2.4.3.1 Abordagens <i>Hard</i>	90
3.2.4.3.2 A organização como sistema aberto	91
3.2.4.3.3 Abordagem Sistêmica para o Planejamento Organizacional	91
3.2.4.3.4 A Metodologia <i>Soft Systems</i> (SSM)	91
3.2.4.3.5 Modelo do Sistema Viável (MSV)	92
3.2.4.3.6 Pensamento Sistêmico Crítico	92
3.2.4.3.7 A Dinâmica de Sistemas	92
3.2.4.3.8 O Pensamento Sistêmico e a Aprendizagem Organizacional	96
3.2.4.3.8.1 As Cinco Disciplinas	98
3.2.4.3.8.2 A disciplina do Pensamento Sistêmico	100
3.2.4.3.8.3 A metodologia sistêmica	101
3.2.5 O novo paradigma da complexidade	104
3.2.5.1 Paradigma da complexidade sob a ótica de Edgar Morin	104
3.2.6 Considerações finais sobre o Pensamento Sistêmico	109
CAPÍTULO 4	112
4.1 Conhecimentos e conceitos	112
4.2 Concepções	114
4.3 Aportes referentes à Psicologia da Aprendizagem	115
4.3.1 Aprendizagem significativa	116
4.3.2 O Movimento Institucionalista	121

4.3.3 Aportes sobre o <i>aprender a aprender</i>	124
4.4 A Metodologia de Projetos (MP)	128
4.4.1 O novo paradigma da complexidade e a Metodologia de Projetos	129
4.4.2 A Metodologia de Projetos sob a perspectiva de Behrens (2011)	130
CAPÍTULO 5	135
5.1 O método	135
5.2 Aplicação do método	138
5.2.1 Passo 1 – Definindo uma situação complexa de interesse	138
5.2.2 Passo 2 – Apresentando a história através de eventos	142
5.2.3 Passo 3 – Identificando os fatores-chave	146
5.2.4 Passo 4 – Traçando os padrões de comportamento dos fatores-chave	146
5.2.5 Passo 5 – Desenhar o mapa sistêmico	147
5.2.6 Passo 6 – Identificando os modelos mentais	148
5.2.6.1 A construção do instrumento de pesquisa, a seleção dos estudantes e aplicação do primeiro questionário	149
5.2.6.2 O instrumento de pesquisa	151
5.2.6.3 A amostragem	160
5.2.6.4 A seleção do grupo de controle e grupo experimental	161
5.2.6.5 Características, aplicação e o método para análise dos questionários	162
5.2.6.6 Transformando os modelos mentais em elementos do sistema	169
5.2.7 Passo 7 – Modelando em computador	170
5.2.8 Passo 8 – Reprojetoando a estrutura sistêmica	170
5.2.9 Passo 9 – Organizando e aplicando um plano de mudança sistêmica	174
5.2.9.1 O plano de mudança sistêmica: projetando e aplicando um método didático-pedagógica na Engenharia Civil da FURG	175
5.2.9.2 O plano didático-pedagógico e os instrumentos de pesquisa	182
5.2.10 Passo 10: Observando a aprendizagem significativa após a intervenção	185
5.2.10.1 Instrumentos que refletem a aprendizagem significativa e a construção do conhecimento após a aplicação do questionário final	186
CAPÍTULO 6	188
6.1 Considerações iniciais	188
6.2 Pressupostos teóricos a respeito de modelos, modelos mentais e modelagem computacional com STELLA	189

6.2.1	Conceitos de modelos	189
6.2.2	Modelos mentais	190
6.2.3	Modelagem computacional com STELLA	191
6.2.3.1	O <i>software</i> STELLA	193
6.2.3.1.1	Padrões de comportamento dinâmico desenvolvido em STELLA	195
6.2.4	Encaminhando as atividades que proporcionaram a mudança para o Pensamento Sistêmico	195
6.2.4.1	Aspectos da intervenção no primeiro encontro no laboratório de informática	196
6.2.4.2	Aspectos que envolvem as atividades exploratórias e expressivas do segundo e terceiro encontro no laboratório de informática	197
6.2.4.2.1	Aspectos que envolvem as atividades exploratórias do segundo encontro no laboratório de informática	197
6.2.4.2.2	Aspectos envolvendo as atividades expressivas do terceiro encontro no laboratório de informática	199
6.3	A quinta etapa: a intervenção através da modelagem computacional com STELLA	202
6.4	Análise e resultados dos dados referentes às atividades exploratórias e expressivas no ambiente de modelagem computacional com o <i>software</i> STELLA	206
6.4.1	Resultados e análise dos dados de pesquisa referentes às atividades exploratórias com o <i>software</i> STELLA	207
6.4.1.1	Análise e resultados das atividades exploratórias que dizem respeito ao estudante A3	208
6.4.1.1.1	Síntese das análises de dados e resultados das atividades exploratórias desenvolvidas pelos integrantes dos grupos experimentais A e B com os modelos M1, M2 e M3	213
6.4.2	Análise dos dados e resultados das atividades expressivas envolvendo a modelagem computacional com STELLA	214
6.4.2.1	Análise dos dados e resultados que dizem respeito às atividades expressivas fornecidas pelo estudante A4	220
6.4.2.2	Síntese das análises de dados e resultados fornecidos pelos grupos experimentais A e B referentes às atividades expressivas com os modelos M1 e M2	226
6.5	Análise final dos dados fornecidos pelos estudantes dos grupos A e B a respeito das atividades expressivas e exploratórias com o <i>software</i> STELLA	229
	CAPÍTULO 7	231

7.1 Considerações iniciais	231
7.2 Análise qualitativa e quantitativa dos dados fornecidos pelo grupo de controle relativa à aplicação do primeiro questionário (pré-teste)	233
7.2.1 Análise qualitativa das opções e justificativas apresentadas pelo estudante C1 e apresentação das redes sistêmicas que sintetizam as análises do grupo de controle	233
7.2.1.1 Análise geral das redes das concepções dos estudantes e que dizem respeito às categorias que permitem atingir os objetivos da EA	245
7.2.2 Análise quantitativa das concepções do grupo de controle (pré-teste)	245
7.2.2.1 Análise comparativa das médias dos estudantes pertencentes ao grupo de controle	250
7.2.2.2 Análise da média geral das concepções do grupo de controle e que dizem respeito a cada uma das categorias dos objetivos da EA	251
7.3 Análise qualitativa e quantitativa do grupo experimental	252
7.3.1 Análise qualitativa das opções e justificativas apresentadas pelo estudante B1 e apresentação das redes sistêmicas que sintetizam as análises do grupo experimental	252
7.3.1.1 Análise geral das redes das concepções dos estudantes e que dizem respeito às categorias que permitem atingir os objetivos da EA	263
7.3.2 Análise quantitativa individual e dos grupos experimentais A e B (pré-teste)	263
7.3.2.1 Análise quantitativa dos dados informados pelos estudantes do grupo experimental quando da realização do pré-teste	264
7.3.2.2 Análise da média geral de cada estudante dos grupos experimental A e B e que dizem respeito às concepções dos objetivos da EA	269
7.3.2.3 Análise da média geral das concepções dos grupos experimentais A e B e comparação com o grupo de controle no que diz respeito às categorias dos objetivos da EA	270
7.3.2.4 Análise final dos dados fornecidos pelos grupos de controle e experimental a respeito do pré-teste	271
7.4 Análise qualitativa e quantitativa dos dados fornecidos pelo grupo experimental relativas à aplicação do segundo questionário (pós-teste)	273
7.4.1 Análise qualitativa das opções e justificativas apresentadas pelo estudante B3 e apresentação das redes sistêmicas que sintetizam as análises dos estudantes que integram o grupo experimental	273
7.4.1.1 Análise geral das redes sistêmicas do grupo experimental	285

7.4.2 Análise quantitativa das concepções dos grupos experimentais A e B (pós-teste)	286
7.4.2.1 Análise quantitativa dos dados e resultados informados pelos estudantes do grupo de controle (pós-teste)	286
7.4.2.2 Análise dos dados pertinentes às concepções dos grupos experimentais A e B e que dizem respeito a cada uma das categorias dos objetivos da EA	291
7.4.2.3 Análise da média geral das concepções dos grupos experimentais A e B e que dizem respeito às categorias dos objetivos da EA	292
7.4.2.3.1 Comparações das médias dos estudantes integrantes de cada um dos grupos experimentais A e B e também as comparações das médias destes com as dos estudantes do grupo de controle no pré-teste e no pós-teste	293
7.4.2.4 Análise final e resultados dos dados fornecidos pelos grupos A e B a respeito do pós-teste	295
CAPÍTULO 8	300
8.1 Considerações iniciais	300
8.2 O problema	300
8.3 Objetivos	301
8.4 As questões de pesquisa e suas respostas	303
8.5 Considerações finais	319
REFERÊNCIAS	322
APÊNDICE 1 – Primeiro questionário inicial (pré-teste)	336
APÊNDICE 2 – Introdução ao raciocínio em nível de sistema e ao ambiente de modelagem computacional STELLA (1º encontro)	346
APÊNDICE 3 – Introdução ao raciocínio em nível de sistema e ao ambiente de modelagem computacional STELLA (2º encontro)	362
APÊNDICE 4 – Introdução ao raciocínio em nível de sistema e ao ambiente de modelagem computacional STELLA (3º encontro)	369
APÊNDICE 5 – Questionário final (pós-teste)	373
APÊNDICE 6 – Tabelas 1, 2 e 3 referentes ao pré-teste e pós-teste dos grupos de controle e experimental	385
ANEXO 1 – QSL do curso de Engenharia Civil – anos 1991 e 2013	389
ANEXO 2 – Planos de ensino das disciplinas Ciências do Ambiente e Auditoria Ambiental	393

CAPÍTULO 1

O presente capítulo diz respeito ao planejamento e organização desta pesquisa-ação, que busca uma proposta sistêmica para a implantação da Educação Ambiental (EA) no curso de Engenharia Civil da FURG.

1.1 Considerações iniciais

Após exercer por vários anos as atividades de docência no curso de Engenharia Civil da FURG, constatamos nesse sistema de ensino a inexistência de procedimentos didático-pedagógicos que caracterizassem a transversalidade da Educação Ambiental (EA) no referido curso. Diante dessa realidade, cursando o doutorado em EA, já familiarizados através das atividades do grupo Modelciências (www.modelciencias.furg.br) com técnicas sistêmicas que tradicionalmente se alinham à modelagem computacional como uma estratégia para o alcance dos objetivos da EA, notoriamente aquelas que dizem respeito aos processos de ensino e aprendizagem, agregamos um conjunto de conhecimentos que, amparando nossa formação como educador ambiental, permitiu a realização desta proposta didático-pedagógica que se mostrou coerente e promissora.

Resultados preliminares obtidos com os estudantes engajados na pesquisa apontam para evidências de que necessitamos de uma mudança de paradigmas no ensino de Engenharia Civil, e esta proposta inicial se mostra relevante na medida em que venha a alavancar o conhecimento da complexidade ambiental, com vistas à promoção da sustentabilidade do desenvolvimento (SD), como parte da formação do engenheiro egresso desta Universidade.

Por sua vez, o sistema de ensino tecnicista adotado nesta Universidade, voltado para a resolução de problemas na práxis da Engenharia Civil, que abrange desde a elaboração de projetos até a entrega final dos produtos ou serviços, visa à satisfação dos contratantes, promovendo a integração das etapas do projeto, respeitando prazos, analisando resultados, apoiado na crença do crescimento econômico ilimitado, que valoriza o avanço da tecnologia e do consumo, sem levar em conta os efeitos ambientais resultantes desse crescimento. Tal

realidade, que estimula efeitos danosos como a contaminação de ar e água, as secas, as enchentes, a diminuição da fertilidade do solo, a desigualdade social e suas consequências, além de incentivar as doenças típicas desse modo de vida, acaba por potencializar a atual crise ambiental que passou a ser um dos desafios globais da humanidade.

Enfrentar tal crise requer, além de soluções técnicas, soluções educacionais que se configurem em mudanças expressivas, ou seja, uma reforma do pensamento que colabore com a articulação dos aspectos técnicos, econômicos, éticos, políticos e estéticos da sociedade, propondo uma maneira de viver voltada para os princípios da sustentabilidade (SACHS, 2002), em que a melhoria da qualidade de vida e da experiência humana aconteça amparada no respeito aos limites das capacidades dos ecossistemas.

Essa reforma do pensamento que diz respeito às instituições universitárias e suas estruturas organizacionais deverá, ao buscar práticas educativas para uma EA crítica, emancipatória e transformadora, articular os diferentes conteúdos disciplinares, integrando as diferentes áreas de conhecimento, reconhecendo o meio ambiente não apenas como um meio de subsistência, mas também como um aliado.

Com essa consciência, propusemos elaborar esta pesquisa, junto ao doutorado do Programa de Pós-Graduação em Educação Ambiental (PPGEA) da Universidade Federal do Rio Grande – FURG, pretendendo averiguar a possibilidade de instituímos, junto ao curso de Engenharia Civil desta Universidade, um processo de ensino e aprendizagem que, integrando diferentes áreas do conhecimento em um sistema de conhecimento e aprendizagem, permitisse o encontro com uma maneira de agir que pudesse cooperar para a transformação da atual realidade.

Entendendo a EA como um importante instrumento para a promoção da Sustentabilidade do Desenvolvimento (SD) forte, propusemo-nos pesquisar para o referido curso, uma prática pedagógica que estimulando a construção de conhecimentos que dizem respeito a nossas reais condições socioeconômicas, institucionais e culturais, pudesse propiciar, não apenas um rápido avanço tecnológico de mecanismos que utilizam o emprego racional dos recursos naturais, mas também uma modificação dos padrões e formas de viver que não se fundamentem no crescimento econômico contínuo e ilimitado.

Cabe ressaltar que, para obtermos sucesso num processo de EA, é preciso que o indivíduo se aproxime da realidade que o cerca, conscientizando-se dos impactos ambientais gerados por sua atuação como cidadão e como profissional. Para tanto, como reforça Guattari (1998), através da ecologia mental, é necessário que, além de estar consciente, o indivíduo

esteja sensibilizado e efetivamente comprometido com as soluções de tais problemas, promovendo com isso uma mudança em suas atitudes.

Nessa direção, de acordo com Seiffert (2007), cabe discutir as diferenças conceituais entre as palavras conscientizar e sensibilizar. Para a autora, o homem pode tornar-se consciente das implicações ambientais de um determinado comportamento, porém, após receber informação a respeito, ele não mais ignora o assunto. Entretanto, só após estar efetivamente motivado para mudar seu comportamento ele pode ser considerado sensibilizado. Essa motivação, conforme sustenta Baremlitt (2002), poderá ocorrer a partir do momento em que sejam eliminados determinados bloqueadores motivacionais que poderão ser, além dos psicológicos, os instituídos, os político-sociais e outros.

Com esse pensamento, iniciamos esta pesquisa-ação, em novembro de 2012, junto a uma organização¹ (sistema aprendente) composta pelo pesquisador e um grupo de estudantes matriculados nas disciplinas Laboratório de Atividades Integradoras em Engenharia (LAIEC I e II), oferecidas aos estudantes dos cursos de Engenharia Civil, tendo como objetivo maior o desenvolvimento de um processo educativo relevante, significativo, produtivo e transformador que, dentro do novo paradigma da ciência (ver seção 4.4.1), através de propostas interdisciplinares, como recomenda Fazenda (2012), possa promover pontes de ligação entre os conhecimentos que confluem para a promoção da SD.

Com essa proposta, tivemos que nos deparar com a tendência reducionista e compartimentada que se impõe nos procedimentos didático-pedagógicos do curso em questão, em que o professor, ao assumir o papel de adestrador de estudantes, acaba incentivando-os a adquirir habilidades e capacidades que, encaminhando conhecimentos específicos, possam integrá-los à máquina do sistema social, preparando-os para atuar a serviço das leis de mercado, impostas pelo atual modelo de desenvolvimento econômico (MDE) estruturado pela ordem capitalista vigente.

Tentando vencer essas dificuldades e atingir o objetivo da pesquisa, propusemos, através de uma EA efetiva, superar essa prática pedagógica que incentiva a transmissão e reprodução do conhecimento, vencendo a influência do determinismo e do racionalismo que torna o professor um engenheiro comportamental.

Para melhor encaminhar as ações que promovessem a aliança entre as competências técnicas, éticas, estéticas, políticas e culturais citadas, elaboramos esta pesquisa-ação, partindo

¹ Organização incorpora a ideia de um agrupamento social ou de indivíduos em interação. Assim, as organizações são criações ou ferramentas sociais, produtos de ações individuais e coletivas; sua dinâmica e seus processos entrelaçam-se com processos e dinâmicas de indivíduos e de grupos em determinados espaços e tempo que delimitam e circunscrevem suas interações (ZANELLI; BORGES-ANDRADE; BASTOS, 2004, p. 177).

de um referencial teórico que, estruturado numa rede sistêmica, pudesse refletir uma ação pedagógica que possibilitasse a relação entre:

- o Pensamento Sistêmico que busca superar a fragmentação do conhecimento;
- uma abordagem progressista da EA que tem como pressuposto central a transformação social mediante um aprendizado significativo (ver seção 4.3.1);
- o ensino com pesquisa, que propõe, ao invés da reprodução, a construção do conhecimento com autonomia, inovação, espírito crítico e investigativo.

Assim, através da conjunção, da interconexão e do relacionamento entre essas abordagens, realizamos uma intervenção didático-pedagógica que, alcançando uma maneira de pensar sistêmica, pôde eliciar conteúdos dos modelos mentais (ver seção 6.2.1) dos estudantes, no que diz respeito às suas interpretações do meio ambiente, utilizando nesse processo, como tecnologia inovadora, a modelagem computacional com STELLA, vindo com isso a construir maneiras de pensar e expressar as dinâmicas de sistemas, das quais emerge a complexidade ambiental. Os aspectos subjetivos dos estudantes puderam aflorar mediante a articulação ético-política das ecologias mental, ambiental e social (GUATTARI, 1998) que, estimulando as recomposições de práticas individuais e grupais, puderam colaborar para um melhor desfecho desta pesquisa-ação.

1.2 O problema e as justificativas

A seguir, tendo delimitado a temática a ser abordada, apresentamos o problema e as justificativas que reúnem as razões que mostram a importância desta pesquisa-ação.

1.2.1 O problema de pesquisa

As degradações ambientais advindas do exercício das atividades da engenharia civil vêm se agravando e já podem ser sentidos em nosso cotidiano pela forma como a população consome os recursos naturais, notadamente materiais da indústria da construção civil. Embora, nos dias atuais, tais degradações sejam cada vez mais divulgadas pela mídia e no próprio sistema de Engenharia Civil da FURG, notamos que os profissionais envolvidos com o sistema de ensino citado, ao não abordarem em seus conteúdos programáticos pressupostos que dizem respeito a complexidade ambiental, acabam por não estabelecer uma relação entre os aspectos pedagógicos da EA e as atividades de docência. Assim, a EA, como instrumento esclarecedor e transformador, deve emergir para modificar tal situação, já que a universidade,

neste caso a FURG, tem um papel importante na formação ambiental do engenheiro civil² que forma para o mercado de trabalho.

Com esta visão, iniciamos esta pesquisa-ação, apoiado tanto em nossas experiências docentes como na atividade profissional de engenheiro civil, partindo da constatação de que a maioria dos atores envolvidos com o ensino e com os procedimentos técnicos e administrativos que respondem pelo funcionamento deste sistema de ensino, ao serem orientados pelo paradigma newtoniano-cartesiano e pelo pensamento analítico, promovem uma metodologia tecnicista que, estabelecendo uma aprendizagem mecânica, acaba por forjar modelos mentais que trabalham os conteúdos disciplinares de forma fragmentada e isolada, dentro de um contexto em que os estudantes, ao se tornarem acríticos e ingênuos, perdem a capacidade de pensar os problemas de forma concreta e sistêmica, afastando-se cada vez mais de uma realidade complexa em que as questões ambientais estão em constante modificação.

Entendendo esse sistema de ensino como um dos obstáculos à transversalização da EA, propusemo-nos, apoiados no paradigma e na pedagogia da complexidade, pesquisar procedimentos que pudessem encaminhar a mudança desejada, percebendo que as soluções para os problemas que dizem respeito à interação dos sistemas antrópicos de engenharia civil com o meio ambiente não podem ficar atrelados a métodos e teorias que se utilizam da análise de objetos e de suas partes constituintes, do reducionismo, do determinismo, das relações de causa e efeito lineares com suas aditividades e da ideia de um universo que funciona de acordo com mecanismos como se fosse uma máquina.

Do exposto acreditamos que, para modificarmos essa situação, faz-se necessário inserir em todos os níveis do sistema de ensino analisado uma EA que, através dos seus aspectos pedagógicos associados ao pensar sistêmico, venha a encaminhar docentes e discentes a *aprender a aprender* (ver seção 4.3.3), desenvolvendo com isso as habilidades e capacidades necessárias para entender e interagir com as peculiaridades da complexidade ambiental.

² O título de engenheiro civil é conferido pela FURG aos estudantes graduados nos cursos de Engenharia Civil oferecidos nas modalidades: Civil, Empresarial e Costeira e Portuária.

1.2.2 Justificativas

Hoje, a engenharia é considerada uma das grandes responsáveis pela maior oferta de alimentos, aumento do nível de conforto, maior qualidade na saúde e aumento da longevidade do homem, colocando à sua disposição tecnologias como as agrônômicas, de geração de energia, farmacêuticas, cirúrgicas, de comunicação, de transportes, de saneamento, da construção civil e muitas outras. Em contrapartida, juntamente com esses benefícios, acontece um crescimento populacional exponencial que, associado ao fenômeno da urbanização, do consumismo desenfreado e do desconhecimento científico dos impactos ambientais advindos desse tipo de desenvolvimento, fez com que a degradação ambiental e a poluição passassem a se integrar à nova sociedade urbano-industrial.

Nessa conjuntura, cada vez mais podemos constatar que as práticas de engenharia nem sempre foram as mais adequadas sob o ponto de vista ambiental, e um novo desafio foi colocado ao engenheiro: como utilizar as tecnologias disponíveis e desenvolver outras novas, compatibilizando-as com os processos mitigadores de impactos ambientais?

É conveniente lembrar o que a Segunda Lei da Termodinâmica nos ensina: não podemos ganhar sempre em todos os aspectos. Se quisermos aumentar o nosso nível de conforto, mediante maior disponibilidade de bens de consumo, energia, lazer, é irreal pensar que nenhuma degradação ambiental ou poluição sejam produzidas, por melhor que seja a tecnologia utilizada.

Trata-se, portanto, de encontrar um ponto de equilíbrio entre objetivos conflitantes, ou seja, compatibilizar o aumento do conforto do homem com a conservação ambiental.

Dias (2006) recomenda a busca pelos princípios, finalidades e objetivos da EA, propondo uma revisão do atual modelo de desenvolvimento econômico (MDE), incentivando com isso uma maneira de pensar mais lúcida que, amparada no conhecimento científico, possibilite o aumento da qualidade de vida e a probabilidade de sucesso da perpetuação da espécie humana.

Nesse contexto, uma EA progressista pode vir a fornecer os ingredientes básicos para a formação do engenheiro civil, facilitando a incorporação de novas concepções que permitam a emergência de um novo modelo de desenvolvimento sustentável, estruturado num sistema de conhecimento que incentive o aprendiz a rever atitudes e comportamentos direcionados por um novo paradigma científico que leve à cooperação entre as sociedades e o meio ambiente.

Porém, de maneira geral, as universidades não estão preparadas para atuar dessa forma e o curso de Engenharia Civil da FURG não é uma exceção. Assim, devemos alertar a

Instituição para um objetivo que não desvincule o estabelecimento de padrões e metas ambientais dos padrões dessas metas pretendidas para a sociedade humana. É preciso saber que, quanto maiores forem as aspirações de preservação ambiental, menores serão as possibilidades de crescimento socioeconômico e vice-versa. É necessário, ensinar o que a natureza e suas leis nos ensinam: tudo que está em rede é interligado, interdependente e, se nessa rede algum lado ganhou, é porque o outro perdeu (CAPRA, 1996).

Assim, integrado ao corpo docente do curso de Engenharia Civil da FURG, e observando os processos que envolvem a gestão dos conhecimentos relacionados às áreas de geração de energia elétrica e gestão empresarial na indústria da construção civil, encontramos justificativas para realizar esta pesquisa, tendo em vista que nossas intuições apontam para a possibilidade de o referido curso não contemplar, em seus procedimentos pedagógicos, aspectos do paradigma científico da complexidade, o que implica um desconhecimento da real importância do enfoque educativo-ambiental que, de acordo com os parâmetros do Ministério da Educação, deve ser bem atendido e atrelado às questões técnicas do curso.

Ainda se associa a nossa justificativa o entendimento de que a disciplina do Pensamento Sistêmico (SENGE, 2005) poderia, quando bem assimilada, vir a colaborar com os estudantes e com a Instituição, melhorando suas capacidades de aprendizagem, em direção aos aspectos que envolvem a EA, a SD e a práxis do engenheiro civil educado por esta Universidade, já que a ênfase no Pensamento Sistêmico, ao ter seus pressupostos em total sintonia com a Metodologia de Projetos (MP), permitiria o desenvolvimento das práticas necessárias ao processo de mudança pretendido.

Outra justificativa para a realização da pesquisa foi a necessidade de implantar nos cursos de Engenharia Civil da FURG, mediante o Pensamento Sistêmico, uma inovação no processo de ensino e aprendizagem que, seguindo orientação dos Parâmetros Curriculares Nacionais baseados na Lei de Diretrizes e Bases (LDB), de outubro de 1987, definem o meio ambiente, por sua vital relevância social, como tema transversal aos eixos principais que são os conteúdos das disciplinas formais das diferentes áreas do conhecimento. Com isso, os problemas que originaram esta pesquisa-ação justificam uma investigação, não só pelos aspectos que dizem respeito às atividades de ensino, mas também às questões que envolvem a pesquisa e a extensão, já que a sociedade de maneira geral só poderá ter um ganho em sua totalidade, na medida em que os egressos do referido curso, em suas atividades futuras, venham a tomar decisões altruísticas no que diz respeito ao meio ambiente.

Ainda procurando justificar esta pesquisa-ação, associamo-nos aos objetivos da Política Nacional de Educação Ambiental, que, através da Lei 9.795, de abril de 1999, no seu

artigo 11, diz que os professores em atividade devem receber formação complementar em suas áreas de atuação, com o propósito de atender adequadamente a construção e a implementação dos princípios da sustentabilidade que, segundo Sachs (2002), tem como explícita preocupação a formação de uma sociedade mais justa, democrática e sustentável.

Além da contribuição geral trazida para o meio acadêmico, os resultados do trabalho poderão vir a ser úteis para colaborar com outras pesquisas, mediante a visualização das múltiplas formas em que o Pensamento Sistêmico pode ser aplicado nas organizações, no que diz respeito a procedimentos que utilizem a EA que segundo Seiffert (2007) é a principal ferramenta de Gestão Ambiental Sistêmica (GAS) para a materialização da visão da SD.

1.3 Os objetivos e as questões de pesquisa

Demarcando a meta que almejamos alcançar, buscando uma coerência lógica com o problema de pesquisa, apresentamos a seguir os objetivos e as questões de pesquisa que, neles baseados, vieram a se estruturar.

1.3.1 Os objetivos

Esta pesquisa-ação teve como objetivo geral, ao abordar conceitos de diferentes campos dos saberes, agregar conhecimentos para a elaboração de um método que, sob a perspectiva do paradigma da complexidade, pudesse articular os aspectos didático-pedagógicos da EA no ambiente de modelagem computacional STELLA, vindo com isso a incentivar docentes e discentes do curso de Engenharia Civil da FURG a tomar a decisão de atingir os objetivos propostos que, em última análise, buscam construir e trabalhar os conhecimentos da SD forte no âmbito do sistema de ensino do curso analisado. Dessa maneira, pretendendo dar os primeiros passos para a elaboração de um sistema de conhecimento e aprendizagem que, alcançando o Pensamento Sistêmico possa colaborar para a transversalização da EA, deparamo-nos com os seguintes objetivos específicos:

a) Realizar uma pesquisa bibliográfica que nos permitisse, ao inter-relacionar diferentes aspectos interdisciplinares, estruturar uma rede sistêmica de conhecimentos que pudesse colaborar para o encaminhamento de uma práxis didático-pedagógica sistêmica associada ao objetivo geral da pesquisa-ação.

- b) Aplicar um método de ensino e aprendizagem utilizando a modelagem computacional através do *software* STELLA para a construção do conhecimento, relacionando problemas ambientais à área de ensino analisada.
- c) Desenvolver um material instrucional para aplicar junto a um grupo de estudantes de Engenharia Civil da FURG que permita analisar, através do pensamento sistêmico e da ferramenta de modelagem computacional STELLA, situações de impactos ambientais negativos envolvidos no processo de ensino e aprendizagem do curso.
- d) Verificar, quando da utilização do método, a existência ou não de aprendizagem significativa de acordo com a teoria de Ausubel, no que diz respeito ao domínio cognitivo.
- e) Expressar, após a coleta e análise dos dados, os avanços e as dificuldades encontradas pelos estudantes quando da aplicação do método de ensino e aprendizagem.
- f) Verificar as vantagens e desvantagens dos seus procedimentos no que diz respeito a evidências da construção de conhecimentos das categorias dos objetivos da EA pelos estudantes do curso de Engenharia Civil da FURG.
- g) Analisar os resultados de aprendizagem objetivando o predomínio do domínio cognitivo, onde são enfatizadas a recordação ou a resolução de alguma tarefa intelectual e, se possível, observar a utilização das capacidades psicomotoras e afetivas, que se expressam em termos de interesses, atitudes, valores e tendências emocionais que pudessem colaborar com o nosso propósito maior.
- h) Elaborar uma proposta para utilização do método como um instrumento capaz de introduzir a EA no curso de Engenharia Civil da FURG.

1.3.2 As questões de pesquisa

Procurando encontrar caminhos que pudessem colaborar com nossos objetivos, primeiramente nos perguntamos:

1. O que os estudantes de Engenharia Civil da FURG, em seus últimos anos como discentes, sabem e pensam sobre as degradações ambientais que poderão advir do seu futuro exercício profissional? Como estas degradações são abordadas nas diferentes disciplinas do curso?
2. Quais são as concepções destes estudantes sobre métodos preventivos e/ou mitigadores das degradações ambientais que resultam de suas práticas, como futuros profissionais da engenharia? Quais os métodos, teorias e ferramentas que são

abordadas para avaliar tais degradações ambientais nas diferentes disciplinas do curso?

3. Como o sistema de ensino da Engenharia Civil tem contribuído para o desenvolvimento destas concepções?

Tendo constatado, nestes muitos anos de docência, evidências de que existem dificuldades para responder a estas perguntas no seio da universidade, principalmente no âmbito dos cursos técnicos, mais especificamente na Engenharia Civil, e acreditando que a EA tenha êxito na formação dos discentes que irão se deparar com a atual realidade ambiental formulamos de forma mais detalhada, baseados nos objetivos almejados, as questões de pesquisa que serão respondidas no capítulo 8.

- a) Qual é o perfil dos estudantes de Engenharia Civil da FURG, no que diz respeito às suas concepções sobre teorias e práticas que podem encaminhar, através da EA, uma futura gestão ambiental sistêmica quando da interação de sua práxis com o meio ambiente?
- b) Como a metodologia tecnicista pode influenciar na formação dessas concepções?
- c) Como podemos alterar o perfil das concepções dos estudantes de Engenharia Civil quando educados ambientalmente?
- d) Como a modelagem computacional utilizando STELLA, num processo didático-pedagógico, pode ser utilizada como uma tecnologia inovadora que venha a reforçar o pensamento sistêmico, propiciando ao estudante visualizar, compreender e construir concepções sobre os objetivos da EA, mediante informações já apropriadas por sua estrutura cognitiva?
- e) Como pode ser sugerida, sob a ótica da EA, a utilização da modelagem computacional com STELLA, como meio auxiliar no processo de ensino e aprendizagem em disciplinas profissionalizantes do curso de Engenharia Civil?
- f) Como pode ser estruturada uma possível metodologia sistêmica que venha a contribuir como gestora de um processo, que investigue a apropriação dessas concepções por parte dos estudantes? Como seria essa metodologia?
- g) Como podemos concluir que os estudantes do curso de Engenharia Civil, mediante a possível metodologia didático-pedagógica desenvolvida, evoluíram das concepções iniciais para concepções mais elaboradas dos fenômenos que envolvem a prática da engenharia, mostrando indícios de aprendizagem significativa, exteriorizando conteúdos cognitivos de acordo com Ausubel ?
- h) Qual a estrutura de um possível modelo de aprendizagem que, tendo o pesquisador como agente motivador desse processo, reflete os processos sistêmicos envolvidos com o educar

ambientalmente o estudante de Engenharia Civil, buscando com isso a construção do conhecimento da SD forte?

i) Qual a estrutura de um possível modelo dinâmico em STELLA que, amparado pelo Pensamento Sistêmico e nos princípios da modelagem, torne possível a cooperação deste com o ensino na Engenharia, propondo a revisão e o aprimoramento das concepções dos estudantes no que diz respeito ao conhecimento de SD?

1.4 A hipótese de pesquisa

Acreditando que as concepções sobre a SD (ver seção 4.2) construídas pelos estudantes do sistema de ensino dos cursos de Engenharia Civil da FURG, se aproximam do conhecimento intuitivo e do senso comum, fazia-se necessário para modificar tal fenômeno, uma ação pedagógica que, amparada nos objetivos da EA, princípios do Pensamento Sistêmico e no paradigma da complexidade (ver seção 3.2.5.1), possibilitassem aprendizagens significativas que pudessem construir os conhecimentos necessários para promover uma SD forte (ver seção 2.2).

Com isso, formulamos a hipótese de que a emersão do conhecimento de uma SD forte a ser construído pelos estudantes do curso de Engenharia Civil da FURG resultará de uma intervenção que, entrelaçando os procedimentos do *aprender a aprender* inerentes à MP e a modelagem computacional com STELLA, atingirá um *perfil de concepções muito bom* que alcança o pensar sistêmico e os conhecimentos das categorias dos objetivos da EA.

1.5 Sucinta descrição do encaminhamento metodológico da pesquisa

Esta pesquisa-ação de natureza teórico-prática, orientada por uma pesquisa bibliográfica que abrangeu a área da EA, seguindo a linha da modelagem computacional sistêmica, envolveu processos de ensino e aprendizagem que conduziram à geração de conhecimentos voltados para a inserção da EA no contexto organizacional do curso de Engenharia Civil da FURG.

Para tanto, abarcou um complexo sistema de conhecimento e aprendizagem que, estruturado no laboratório de pesquisa, constituiu-se por um campo de conhecimentos e pelas pessoas que os estudam. Esse sistema, interconectado por redes de influência frequentemente

invisíveis (SENGE, 2005), canalizou e processou circularmente um fluxo de informações³, originando aprendizagem, que, podendo ser configurada num padrão de organização em rede, abarcou o pesquisador e um grupo de estudantes de Engenharia Civil da FURG, estabelecendo conexões com outros sistemas, de acordo com o diagrama de influências mostrado na figura 1.

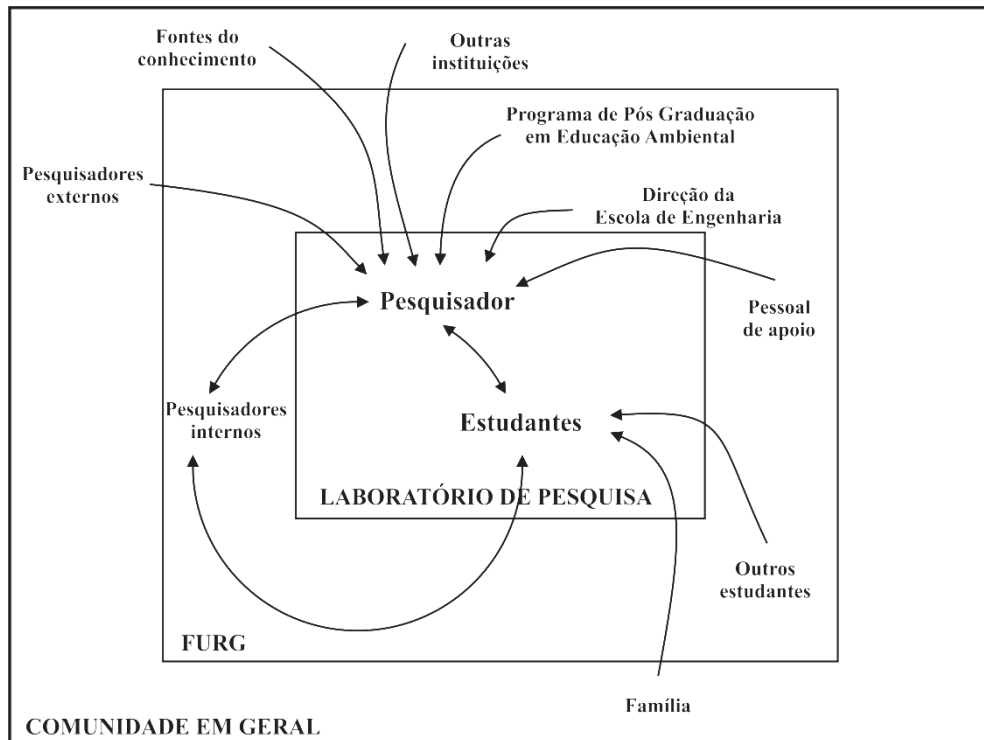


Figura 1 – Mapa de interações e causações elaborado pelo autor. Os estudantes sofrem influência também de fontes do conhecimento e interagem com a família e outros estudantes
Fonte: Adaptado de Senge, 2005.

O mapa de interações da figura 1, apresenta os sistemas envolvidos com a pesquisa, sendo todos interdependentes uns dos outros e com padrões de influência entremeados. Esses sistemas (o laboratório de pesquisa, a FURG e a comunidade em geral) interagem de maneiras, às vezes, não perceptíveis, moldando as prioridades e as necessidades dos atores em todos os níveis.

Quanto ao sistema laboratório de pesquisa, este foi o local onde o pesquisador, através da metodologia sistêmica, realizou a intervenção junto a um grupo de estudantes do curso de Engenharia Civil motivados a participar da pesquisa, desenvolvendo o aprendizado continuado, através das técnicas de ensino como as da MP, que ciclicamente permitiram gerir

³ Segundo Takeuchi e Nonaka (2008, p. 56), informação é um fluxo de mensagens, enquanto o conhecimento é criado pelo mesmo fluxo de informação, ancorado nas crenças e no compromisso de seu portador. Este entendimento enfatiza que o conhecimento é essencialmente relacionado com a ação humana.

e promover o relacionamento dos estudantes com os conhecimentos, amparados no processo do *aprender a aprender* (ver seção 4.3.3).

Por sua vez, o laboratório de pesquisa exigiu uma infraestrutura organizacional para mantê-lo, e teve qualidade suficiente para proporcionar a experiência de ensino e aprendizagem proposta, a partir da interação com o sistema social complexo que é a FURG.

Já os pesquisadores internos e externos ali representados não pertencem a esse sistema, por não se envolverem com a pesquisa cotidianamente. Porém, sua presença é sempre sentida e seu envolvimento faz parte do processo, interferindo no funcionamento dos três sistemas, conforme mostra o ciclo de influência mútua da figura 1. Nessa situação, esses atores estão empenhados com a divulgação do conhecimento de maneira geral, estando comprometidos com o processo de ensino e aprendizagem em todas as instâncias dos três sistemas apresentados. Nesse processo, os estudantes são os atores que permitem a interligação dos três sistemas de educação e, paradoxalmente, é normal que não tenham a menor influência sobre eles. Sendo assim, pretendeu-se, ao motivá-los a se envolverem com o estudo, que não fossem apenas receptores passivos do conhecimento, mas participantes da reconstrução do conhecimento, no contexto da Escola de Engenharia, influenciando com isso os outros níveis sistêmicos com os quais também interagem.

É importante lembrar que as pessoas que atuam no âmbito da FURG, como, por exemplo, pesquisadores, direção e pessoal de apoio da Escola de Engenharia e os integrantes do Programa de Pós-Graduação em Educação Ambiental (PPGEA), não atuam no nível do laboratório de pesquisa, mas puderam proporcionar, através das suas capacidades de interação com o sistema, intervenções que puderam colaborar com os objetivos desta pesquisa-ação.

A comunidade acadêmica em geral é dos três sistemas o mais complexo, pois envolve o ambiente dentro do qual a FURG opera, proporcionando, através da Escola de Engenharia e do PPGEA, o funcionamento do laboratório de pesquisa, envolvendo o pesquisador e os estudantes que buscam construir conhecimentos necessários para os objetivos da tese. O restante das atividades e interesses que influenciam a pesquisa-ação, como as fontes de conhecimentos, pesquisadores externos e outras instituições, estruturam a comunidade acadêmica local, regional e internacional e estão fora dos outros dois sistemas.

Assim, orientado para o objetivo geral desta pesquisa-ação, foi necessário enxergar os padrões de comportamento no atual do sistema de ensino de Engenharia, reconhecendo nas análises dos materiais instrucionais as inter-relações que fazem com que esses padrões existam, podendo com isso selecionar o processo de alavancagem (SENGE, 2005) que,

estabelecendo novas conexões entre os atores do sistema analisado, o mantivesse integrado aos outros sistemas da figura 1. Para tanto, esta pesquisa-ação se desenvolveu como

um tipo de pesquisa social com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com uma resolução de um problema coletivo e no qual os pesquisadores e os participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo. (THIOLLENT, 2011, p. 20).

Ou seja, buscamos estudar as possibilidades de resolução de um problema coletivo, fundamentados numa pesquisa bibliográfica que, encaminhando uma ação metodológica, resultou na coleta e análise dos dados que diziam respeito a uma melhoria nos processos de um sistema de ensino e aprendizagem envolvendo a EA na linha da modelagem computacional.

É importante ressaltar que a diferença da pesquisa-ação para outras pesquisas como, por exemplo, o estudo de caso e pesquisas experimentais, está na possibilidade que tem o pesquisador de participar ativamente do processo, formulando hipóteses que, no transcorrer do trabalho, poderão ser alteradas, o mesmo acontecendo com a análise e a coleta dos dados, onde nas outras pesquisas o pesquisador não tem quase nenhuma influência sobre o conjunto de fatos analisados (YIN, 1994).

Nesse tipo de pesquisa-ação, o pesquisador vai percebendo que está envolvido com um entrelaçamento de variáveis e, à medida que estas vão sendo desveladas e refinadas, amplia-se o número de questões que necessitariam de respostas, sugerindo com isso o encaminhamento de novos estudos.

Outra justificativa para a utilização da pesquisa-ação é o fato de esta, ao ser compreendida sob as hipóteses da aprendizagem lewiniana, estar em total coerência com os pressupostos da disciplina do Pensamento Sistêmico que, possibilitando a aprendizagem de indivíduos e organizações através da interação entre os ciclos da ação e mudança duradoura (SENGE et al., 2005), procura criar sistemas de aprendizagem cujos processos reflexivos incentivam o *aprender a aprender* (ver seção 4.3.3). Tal coerência pode ser percebida através da descrição de Kolb (1984) que, a partir dos estudos de Kurt Lewin, comenta que nas técnicas de pesquisa-ação e métodos de laboratório, o aprendizado, a mudança e o desenvolvimento são mais facilmente obtidos através de um processo integrado que inicia com a experiência concreta do aqui-e-agora, onde são formados conceitos abstratos e generalizações. Estes, aplicados em novos contextos, permitem a realização de experiências que, seguidas da coleta de dados, geram observações e reflexões, realimentando o conhecimento dos agentes envolvidos com a experiência, através do aprimoramento ou

reformulação do corpo teórico anterior, produzindo com isso uma modificação de seus comportamentos que pode proporcionar a realização de novas experiências ou novas pesquisas (ver figura 2). Nesse caso, podemos entender que a pesquisa-ação adota nos seus diferentes níveis sistêmicos a perspectiva do *aprender a aprender*, incentivando a capacidade do refletir e argumentar, o processo da metacognição⁴ intrínseco ao aprendizado de circuito duplo (ver seção 4.3.3).

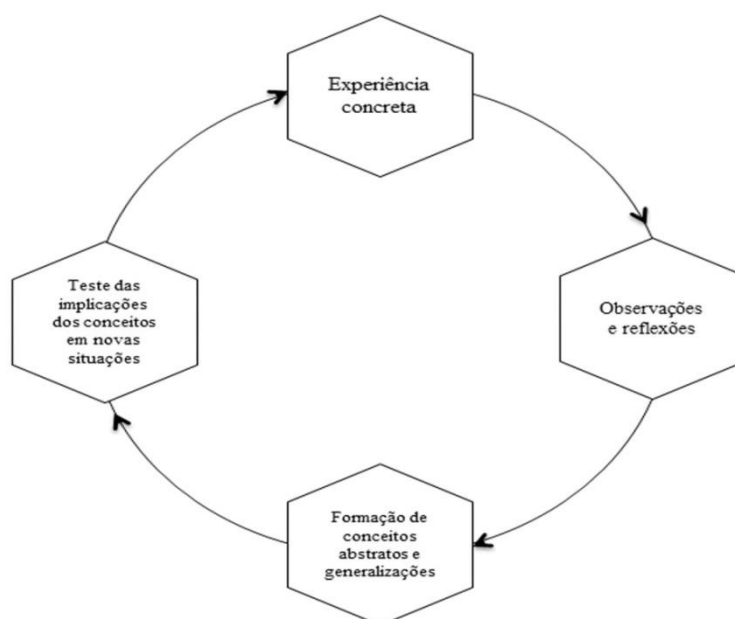


Figura 2 – Modelo de aprendizagem experiencial lewiniano
Fonte: Adaptado de Kolb, 1984.

Segundo Kolb (1984), dois aspectos são particularmente importantes no modelo da figura 2.

1) A experiência pessoal do aqui-e-agora é o ponto crucial para a aprendizagem, já que dá vida, textura e significado pessoal subjetivo a conceitos abstratos e simultaneamente abastecendo um tema de referência concreto e de uso geral, para avaliar as implicações e validades das ideias elaboradas durante o processo de aprendizagem.

2) Lewin utilizou o conceito de *feedback* para aferir processos de aprendizagem social e de resolução de problemas, que originam informações válidas para analisar desvios dos objetivos desejados. Nesses processos, o ciclo de informação fornece a sustentação para um processo contínuo de ação orientada por objetivos e avaliação dos efeitos daquela ação.

Assim, esta pesquisa-ação buscou atingir seus objetivos, a partir do pensamento processual proposto por pesquisadores como Deming (1990) e outros, enxergando a organização como um conjunto de fluxos circulares de informação, onde o realinhamento das

⁴ Metacognição é a habilidade de pensar sobre o pensamento, no sentido de retornar aos próprios processos mentais, sendo cada um o próprio objeto de reflexão (LUZZI, 2003, p. 201).

estruturas de comunicação irá modificar os padrões de comportamento do sistema. Nesse processo respondemos às questões de pesquisa, colaborando para a solução dos problemas que as originaram, realizando no sistema Laboratório de Pesquisa uma intervenção que envolveu estudos e experimentos teórico-práticos orientados pelos passos do método da Mudança Sistêmica, adotando como ferramenta de alavancagem a MP instrumentalizada pela tecnologia inovadora do *software* STELLA. Assim, foi possível encaminhar observações e reflexões que pudessem colaborar para a modificação do padrão de organização estabelecido no sistema de ensino da FURG no que diz respeito à implementação da EA, incentivando o surgimento de um método que pudesse estimular uma sucessão de novas ações e novas experiências.

1.6 A organização e estrutura da tese

Fundamentado nos procedimentos metodológicos assinalados na seção 1.5 deste capítulo, organizamos a presente tese, procurando inter-relacionar as cíclicas etapas que se sucederam, de forma que pudéssemos proporcionar ao observador um melhor entendimento dos procedimentos adotados para atingir nossos objetivos.

Por sua vez, cada uma das etapas concluídas envolveu um planejamento, ações, observações, reflexões e indagações que puderam acontecer num evento, num conjunto de eventos, numa experiência, num exercício, numa reunião ou numa disciplina que foram sendo refinados na circularidade das informações, de modo que pudéssemos tirar o maior proveito das dinâmicas transformações que foram acontecendo em cada uma das etapas, de acordo com a *trilogia clássica da dialética, em que a tese é o desconhecimento do assunto; a antítese o nosso desejo de saber e conhecer e a síntese o surgimento do conhecimento que dará origem a um novo ciclo de conhecimento* onde, à medida que passa a ser uma nova tese, se defronta com uma nova antítese, produzindo uma nova tese, formando com isso uma espiral de conhecimentos (ANDRADE, 1998, p. 28).

Com isso, esta pesquisa-ação cujo planejamento e operacionalização também envolveu subjacentemente a disciplina do Pensamento Sistêmico, pode ser vista como um sistema vivo de conhecimento e aprendizagem, estruturado pelos campos de conhecimentos e pelas pessoas que os estudam com suas linguagens, culturas, crenças, atitudes, valores, consciências e muito mais. Este sistema, configurado num padrão de organização em rede, canalizou e processou fluxos de informações através de múltiplos ciclos de realimentação, cujas teorias, métodos e

ferramentas que ativaram as habilidades e capacidades para aprender, integram os oito capítulos que se inter-relacionam organizados da seguinte maneira.

Capítulo 1 - Envolve as informações que dizem respeito ao planejamento e organização da pesquisa-ação, explicitados nas seções anteriores deste capítulo 1. Para alcançarmos tal detalhamento, tendo previamente definida a EA como linha de pesquisa, foi realizado um diagnóstico da situação organizacional, em que ficou estabelecida como proposta a implantação da EA na área da Engenharia Civil, explicitando os aspectos teóricos e práticos necessários para tal objetivo, definindo as áreas de conhecimento a serem estudadas, de maneira que pudéssemos inter-relacionar o Pensamento Sistêmico e a dimensão ambiental com os aspectos didáticos pedagógicos que dizem respeito à proposta do estudo.

Tal planejamento se amparou em algumas situações vivenciadas pelo pesquisador, dentre as quais citamos:

- as experiências adquiridas ao longo de 34 anos como docente do curso de Engenharia Civil da FURG, tendo lecionado as disciplinas de Eletrotécnica Geral, Física II, Instalações Elétricas Prediais, Introdução ao Empreendedorismo e o Projeto de Graduação em Engenharia Civil.
- a atuação junto ao grupo Modelciências (www.modelciencias.furg.br), onde foram aprimorados, através dos trabalhos de pesquisadores que ali atuaram, os conhecimentos que dizem respeito ao intercâmbio de informações entre a modelagem computacional dos sistemas dinâmicos e a dimensão ambiental;
- os conhecimentos adquiridos ao ministrar as disciplinas da área de geração, utilização e otimização da energia elétrica na indústria da construção civil;
- os conhecimentos obtidos através dos conteúdos das disciplinas cursadas no Programa de Pós-Graduação em Educação Ambiental (PPGEA) da FURG;
- o aprimoramento do modelo mental do pesquisador na área de pesquisa, adquirido durante a realização do Mestrado em Avaliação de Impactos Ambientais em Mineração, na Unilasalle, em Canoas - RS.

Estas situações, somadas à experiência do pesquisador como engenheiro civil e a outros conhecimentos construídos no transcorrer de sua vida, deram início à materialização desta etapa, mediante a realização do projeto de pesquisa apresentado ao PPGEA, intitulado *Projeto para implantação do laboratório de atividades em Engenharia Civil* que, simultaneamente com a implementação junto à Comissão de curso de Engenharia Civil, das disciplinas Laboratório de Atividades Integradoras em Engenharia Civil I e II, cuja ementa e

plano de ensino norteados pela EA, interdisciplinaridade, complexidade ambiental e pelo Pensamento sistêmico, permitiram a construção do conhecimento e materialização da SD, na práxis do estudante do curso citado.

Tal encaminhamento se associou a observações, reflexões e questionamentos a respeito dos atuais paradigmas científicos que, expressos pelos modelos mentais dos envolvidos com o sistema de ensino do curso de Engenharia Civil, permitiu a organização dos passos do experimento teórico-prático, a abordagem dos problemas considerados prioritários, à delimitação do campo de observação, a definição da metodologia a ser adotada para a escolha do grupo de atores, bem como a preparação do ambiente e da infraestrutura da experiência.

Posteriormente, tal situação impulsionou a elaboração de uma rede sistêmica (Fig. 3) que, além de estruturar o referencial teórico, permitiu o entendimento sistematizado da pesquisa, delimitando o sistema organizacional de intervenção.

Os procedimentos anteriormente relatados acabaram por orientar o objetivo geral da pesquisa, as questões de pesquisa, a formulação de hipóteses, as justificativas do trabalho e o encontro com a metodologia que, envolvendo a tecnologia inovadora da modelagem computacional com STELLA, encaminhou o projeto didático-pedagógico, bem como a definição dos procedimentos adotados para coleta e análise dos dados.

Todas as situações desta etapa, ao envolverem os ciclos de aprendizagem e os pressupostos da pesquisa-ação, buscam a formação dos conceitos abstratos e generalizações que acabaram impulsionando a construção dos próximos capítulos.

Capítulos 2, 3, 4 - Dizem respeito a uma pesquisa bibliográfica que abarca teorias, princípios, métodos e leis que dando acesso a teoria inicial, no contexto do trabalho, vieram a contribuir para o aprimoramento das habilidades metacognitivas do pesquisador, dos estudantes e também daqueles que, noutro nível sistêmico, puderam construir os conhecimentos que estruturam a rede sistêmica da figura 3, e que integram o referencial teórico apresentado. Tal procedimento de pesquisa-ação veio a se concretizar, ou seja, atingir seu objetivo sistêmico, a partir do inter-relacionamento dos elementos da referida rede que, mediante um fluxo de informações, originou a emersão de conhecimentos significativos, resultantes do aprimoramento de um corpo de teorias, métodos e ferramentas que por sua vez originaram as novas etapas de aprendizagem apresentadas nos capítulos seguintes.

É importante que os diferentes aspectos do referencial teórico não sejam vistos como um amontoado de ideias, ou conjunto de conteúdos, tópicos ou ações fragmentadas. Eles devem ter um significado lógico, um roteiro de apresentação que avance na construção de um

conhecimento, partindo da visão complexa do real, materializada através do entrelaçamento e das interconexões de um conjunto de saberes que, construindo o diálogo entre as partes e o todo, resultam na emergência do conhecimento da SD forte. Assim, os capítulos 2, 3 e 4 apresentam os conteúdos do referencial teórico, passando da visão do plano geral aos conhecimentos específicos e vice-versa conforme recomendam os pressupostos da aprendizagem significativa (ver seção 4.3.1).

Capítulo 5 - É o intervalo da tese que se ampara em dois métodos subjacentes, o método da pesquisa-ação inerente a própria pesquisa e o método de intervenção que envolveu o Pensamento Sistêmico, onde são articulados os passos do método de Mudança Sistêmica (ver seção 5.1), orientando um plano de ações, ou seja, uma alavancagem que ao ser posta em prática, encaminhou a coleta de dados, permitindo ao pesquisador realizar as observações e reflexões que dizem respeito à intervenção sistêmica planejada. Tal método, seguindo os pressupostos da disciplina do Pensamento Sistêmico propostos por Senge (2005), que envolve o aprendizado significativo individual e o organizacional, estando em sinergia com os postulados da pesquisa-ação lewiniana e MP, permitiu a realização do processo, amparado nos ciclos de aprendizagem de duplo circuito, utilizando como tecnologia inovadora, a modelagem computacional com STELLA.

Capítulo 6 – Neste capítulo, dada a importância da modelagem computacional que integrada às ações da MP, permitiu o desenvolvimento de atividades expressivas e exploratórias que vieram a colaborar para a elaboração do modelo dinâmico e outros aspectos que contribuíram para o encontro com os objetivos da pesquisa-ação, apresentamos em detalhes os aspectos teóricos, metodológicos, e a análise dos resultados que envolveram as atividades com o *software* STELLA.

Assim, baseado no método da pesquisa-ação, após apresentarmos os pressupostos teóricos que dizem respeito ao processo de modelagem computacional com STELLA, estruturamos as redes sistêmicas que envolvem as atividades exploratórias e expressivas realizadas com o referido *software* e que dizem respeito à estrutura dos materiais instrucionais dos apêndices 2, 3 e 4. Posteriormente, nesse mesmo capítulo, são apresentadas as análises das habilidades e dificuldades encontradas pelos estudantes para realizar as atividades propostas pelos referidos materiais instrucionais que, envolvendo a construção do Pensamento Sistêmico, se tornaram um passo essencial para sensibilizarmos o estudante a ler, falar, escrever, conceituar e comunicar sobre as crescentes e dinâmicas complexidades do mundo real.

Capítulo 7 – Registra através dos pressupostos da pesquisa-ação, as evidências e transcrições resultantes da análise dos dados oriundos das observações e reflexões que

emergiram das opções e justificativas do primeiro (pré-teste) e segundo (pós-teste) questionários. Para tanto, devemos esclarecer que os procedimentos das etapas anteriores, acabaram produzindo ações que são o aprimoramento das teorias apresentadas no referencial teórico do trabalho. Tais aprimoramentos acabaram por gerar um aprendizado que está dividido em três domínios que se complementam: o cognitivo, o afetivo e o psicomotor. Esta situação encaminhou a realização do tratamento dos dados, analisando alguns aspectos destes três domínios, enfatizando na maioria das vezes os aspectos do domínio cognitivo. Para tanto foi realizada a checagem da hipótese de pesquisa, em que nos apoiamos nas pressuposições da triangulação de Goldenberg (2003), que possibilita o emprego de estudos quantitativos relativos a fenômenos identificados como relevantes em pesquisa qualitativa. Para o autor, os limites de um método não são superados pelas possibilidades do outro, e deixam de ser vistos como opostos, passando a ser vistos como complementares.

Nesse processo, a análise quantitativa avaliou o perfil das concepções dos estudantes, pertinentes às opções e justificativas relacionadas com cada uma das categorias dos objetivos da EA. Devido aos resultados encontrados, que soberanamente confirmaram a hipótese elaborada pelo pesquisador, foram dispensados os tratamentos estatísticos e apresentados em tabelas (apêndice 6) e gráficos (figuras 67, 75 e 84), apenas os percentuais e os valores médios que definiram o perfil das concepções dos estudantes no nível individual e grupal.

Por sua vez, a análise qualitativa aconteceu após o exame textual das afirmativas que compõe cada uma das categorias dos objetivos da EA, cujas informações além de estruturarem as redes sistêmicas apresentadas no capítulo 7, nos permitiram expressar como os estudantes e seus grupos construíram suas concepções no contexto da pesquisa, tendo como referência o modelo conceitual (ver seção 6.2.2) do pesquisador.

Capítulo 8 - Esta fase da pesquisa-ação diz respeito a uma síntese do trabalho, onde é apresentado um diagnóstico geral da experiência relatada nos capítulos anteriores e onde são realizadas as reflexões sobre os fatos observados em cada etapa, comparando teorias, interpretando, checando contra a bibliografia, confirmando ou não hipóteses, analisando as evidências emergentes, avaliando os métodos utilizados, realizando refinamentos, para finalmente encaminharmos as conclusões.

Por sua vez, as conclusões são alcançadas a partir de entendimentos sistematizados dos dados obtidos, observando o modelo construído e avaliando o futuro da pesquisa, no particular e no geral.

É importante ressaltar que as etapas anteriormente descritas, compostas por diversos ciclos de aprendizagem experiencial, compõem um ciclo maior, uma espiral dialética de conhecimentos traduzida pela realização da pesquisa-ação.

1.7 O referencial de pesquisa

O referencial de pesquisa foi elaborado a partir de teorias, métodos e ferramentas que configuram as interações interdisciplinares do sistema de conhecimento e aprendizagem construído pelo pesquisador.

Para tanto, o mesmo foi estruturado numa rede sistêmica, que é uma técnica representacional utilizada para informar como diferentes dimensões ou categorias, que incorporam diferentes informações, se relacionam uma com as outras permitindo que seus observadores, mediante processos de ensino e aprendizagem, possam conferir seus significados.

Tal procedimento foi realizado com base nos propósitos da EA, na busca da construção do conhecimento de uma SD forte e em experiências do pesquisador como engenheiro civil e docente da FURG. Tais experiências se tornaram importantes na medida em que permitiram verificar como as propostas didático-pedagógicas do curso de Engenharia Civil da referida universidade, ao trabalhar o seu plano pedagógico de acordo com os pressupostos do modelo tecnicista, dentro de um contexto ambiental complexo, acabam por afastar dos estudantes suas capacidades de pensar concretamente os problemas ambientais.

Nesse caso, os procedimentos metodológicos adotados para estruturação da rede sistêmica procuram elucidar de que maneira as interações circulares entre teorias, métodos e ferramentas, que contextualizam o entrelaçamento dos objetivos da EA, do Pensamento Sistêmico, do ensino com pesquisa com o *software* STELLA, resultaram em estratégias que possam colaborar para modificar tal situação.

Essa rede (ver figura 3) que envolve inter-relações frequentemente invisíveis entre os diferentes níveis do sistema em questão, além de ser utilizada para delimitar o referencial teórico e a confecção dos instrumentos de pesquisa, também permite aos observadores o acesso a uma forma de capturar a complexidade das muitas informações apresentadas, compactando suas estruturas, especialmente naquelas situações em que um número considerável de fatores⁵ está envolvido.

⁵ Fator - orientado pelos estudos de Forrester e Senge, o termo fator nesta tese se equivale ao termo entidade apresentado no capítulo 6 e que diz respeito à modelagem computacional com STELLA.

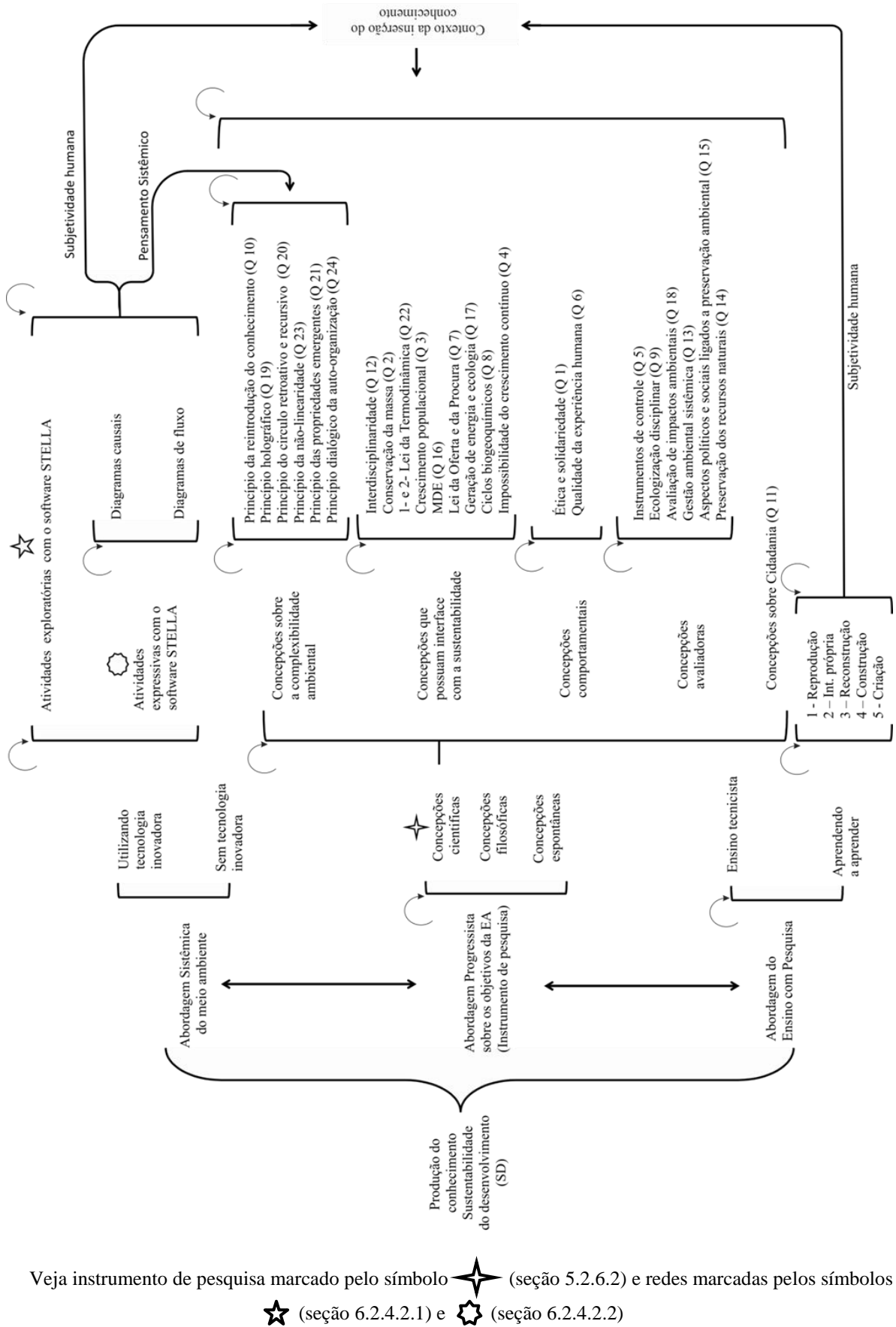


Figura 3 – Rede sistêmica do referencial de pesquisa
 Fonte: Autoria própria, 2013.

Seguindo as orientações de Bliss, Monk e Ogborn (1983), construímos a rede da figura 3, organizando os conjuntos de categorias descritivas de maneira que os mesmos pudessem ser vistos como um mapa que mostra como estes se relacionam entre si. Para sua elaboração adotamos a convenção proposta pelos autores, onde o uso de chaves ($\langle \rangle$) manifesta o conjunto de todas as possibilidades para as abordagens ou concepções do estudo, indicando que estas necessariamente ocorrem de forma simultânea. Nos colchetes ($[]$), temos um conjunto de possibilidades que são mutuamente excludentes, havendo uma ou outra possibilidade delimitada. O uso da seta (\curvearrowright), que sugere um colchete recursivo⁶ (CR), indica que as possibilidades podem ser selecionadas de forma repetida, em parte ou mesmo na sua totalidade.

Quanto às primeiras dimensões apresentadas na Figura 3, é importante relembrar que esta foi construída pelo pesquisador e adaptada da Metodologia de Projetos (MP) proposta por Behrens (2008), fundamentado na aliança entre as abordagens do Pensamento Sistêmico, a abordagem progressista da EA e o ensino com pesquisa, mediante a utilização de uma tecnologia inovadora do *software* STELLA, de acordo com a figura 4.

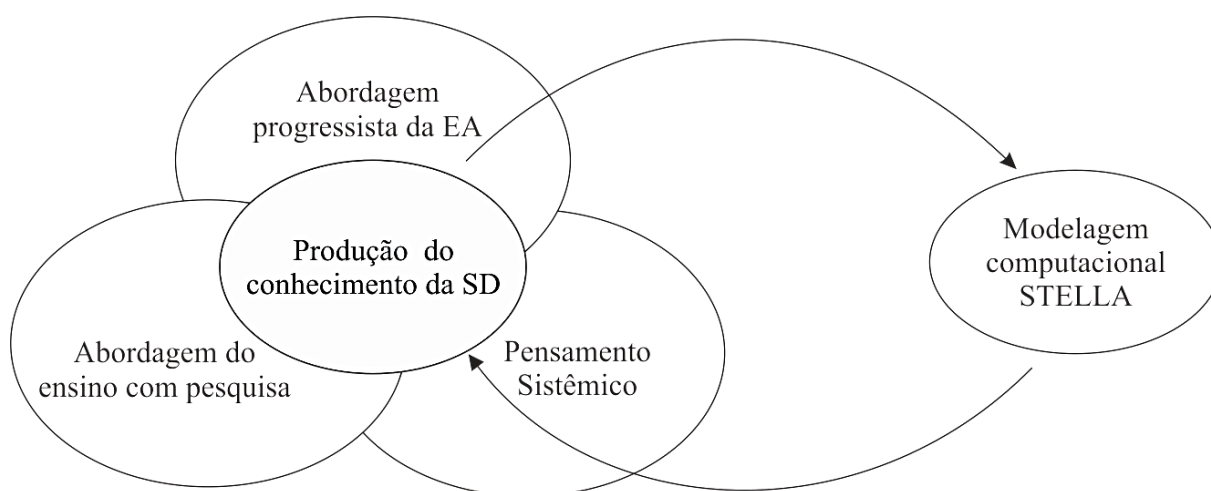


Figura 4 – Aliança entre as abordagens que produzem o conhecimento da SD
Fonte: Adaptado de Behrens, 2008.

Assim, num primeiro momento, essas três concepções estão numa mesma dimensão e aparecem numa mesma chave, onde todas as possibilidades são interativas e interfluentes, conforme mostra a figura 3.

⁶ Quando a dimensão for apresentada dentro de um colchete, com o sinal de recursividade, e ainda existam outras dimensões, estas deverão ser selecionadas recursivamente e todas podem estar presentes, ou acontecer de modo simultâneo, em qualquer combinação: somente uma; duas; mais de duas, simultaneamente.

Para fazer uma rápida leitura da rede sistêmica, esclarecemos que a abordagem sistêmica, apresentada em detalhes no capítulo 4, procura evidenciar as principais teorias e métodos ligados à estruturação do Pensamento Sistêmico, onde foram feitos estudos a respeito de teorias sistêmicas gerais, o pensamento sistêmico aplicado a conteúdos científicos específicos e teorias sistêmicas aplicadas a organizações. Nessa categoria, o estudante, construindo a concepção de rede e enxergando aspectos da complexidade ambiental, deverá buscar superar a fragmentação do conhecimento e o resgate do ser humano em sua totalidade.

Os aspectos da abordagem progressista envolvem os objetivos da EA. Esta, sendo objeto de estudo da pedagogia da complexidade, fundamenta as suas práticas em processos críticos e reflexivos que, proporcionado aprendizagens significativas, preparam o estudante para ideias, informações, responsabilidades e decisões em atingir uma efetiva gestão do meio ambiente.

Por sua vez, o ensino com pesquisa visa criar um ambiente inovador e participativo na sala de aula, com vistas à superação da reprodução do conhecimento, aumentando a pesquisa, procurando informações, acessando recursos informatizados e literaturas e outras intervenções que, associadas à subjetividade, influenciam a elaboração de textos que busquem a construção de projetos. Um ensinar e aprender que parte do diálogo e da interação sujeito-objeto, tornando o estudante um sujeito capaz de construir o seu próprio conhecimento com autonomia, espírito crítico e investigativo, numa rotina que contempla o *aprender a aprender*.

No que diz respeito à abordagem associada ao pensamento sistêmico, temos duas possibilidades que aparecem em um colchete: utilizar tecnologia inovadora, ou seja, a modelagem computacional com STELLA, ou não utilizar essa tecnologia inovadora.

Noutra dimensão, associadas à utilização da tecnologia inovadora, aparecem as atividades que preparam o estudante para a utilização da modelagem com STELLA através de atividades exploratórias e expressivas adaptadas de Kurtz dos Santos (1992), as quais, pelo fato de não acontecerem juntas, estão num colchete. Nesse estágio da construção da rede, é importante afirmar que as atividades expressivas e exploratórias, que derivam da abordagem sistêmica, estão no mesmo nível das concepções dos conhecimentos da complexidade ambiental, que é uma das subcategorias associadas à abordagem progressista da EA. Essas concepções, como pode ser observado na rede, confluem uma para a outra. Podemos, após análise qualitativa e quantitativa dos dados, entendê-las como um dos instrumentos que orienta o encontro com um dos objetivos do trabalho: a verificação da existência ou não de aprendizado significativo da SD com a colaboração da tecnologia inovadora, o *software STELLA*.

No mesmo nível da abordagem sistêmica, logo abaixo na chave, surge o tema que trata das abordagens progressistas referentes às fundamentações teórico-práticas necessárias para o encontro com os propósitos da EA e que encaminham necessariamente indícios de um aprendizado significativo, crítico e reflexivo sobre as concepções que se deve ter sobre a SD. Essas concepções poderão ser científicas, filosóficas, alternativas ou espontâneas, aparecendo num colchete, com uma seta circular, indicando que uma pode ter sido construída na busca do conhecimento sem a apropriação da outra, ou que houve uma apropriação de ambas.

Interagindo com as dimensões das concepções científicas, existe uma série de subcategorias ou dimensões de concepções que dizem respeito: à conscientização da complexidade ambiental, aos conhecimentos científicos que fazem interface com a SD forte, sobre os comportamentos que levam o indivíduo a adquirir valores sociais quanto ao interesse pelo meio ambiente, as competências que devemos ter para solucionar os problemas ambientais, às capacidades avaliadoras de programas e medidas relacionadas ao meio ambiente e às participativas que dizem respeito à construção da sua cidadania. Neste caso, todas estão num colchete e poderão ser selecionadas recursivamente de uma vez, já que existe a necessidade de estes conhecimentos acontecerem de modo alternado.

Por sua vez, as concepções que envolvem a conscientização da complexidade ambiental, numa outra dimensão, dividem-se em subcategorias que integram os seguintes princípios do pensamento complexo: o da reintrodução do conhecimento, o holográfico, o do círculo retroativo e recursivo, o das propriedades emergentes, as 1.^a e 2.^a leis da termodinâmica, o da não-linearidade e o da auto-organização. Essas concepções estão num colchete, indicando que deverão ser selecionadas recursivamente, já que estão acontecendo de modo alternado.

Já as concepções que possuem interface com a sustentabilidade forte também estão selecionadas num CR, devendo ocorrer simultaneamente de modo alternado, por serem conhecimentos interdisciplinares. São elas: a conservação da massa, o crescimento populacional, a impossibilidade do crescimento contínuo, a lei da oferta e da procura, os ciclos biogeoquímicos, a interdisciplinaridade, o atual modelo de desenvolvimento econômico (MDE) e a geração de energia e ecologia. Associadas à categoria dos comportamentos, surgem noutra subcategoria as concepções que, ocorrendo simultaneamente, estão num CR e envolvem aspectos como a ética e a solidariedade e a qualidade da experiência humana.

Quanto às concepções avaliadoras, com o mesmo entendimento de Seiffert (2007), podemos dizer que delas derivam: os instrumentos de controle ambiental, a ecologização disciplinar, a avaliação de impactos ambientais, a gestão ambiental sistêmica, os aspectos

políticos e sociais ligados à preservação ambiental e a preservação dos recursos naturais. Essas concepções estão integradas num CR.

Por último, neste mesmo nível e abaixo das concepções avaliadoras, localizamos a concepção que envolve a construção da cidadania.

Na abordagem do ensino com pesquisa, verificamos que esta se localiza no mesmo nível da visão progressista, tendo como proposta superar a simples reprodução do conhecimento. Associada a esta, vemos a dicotomia entre o ensino tecnicista e o aprendendo a aprender – ambos em um CR. No caso da ocorrência do ensino com pesquisa, existe a subdimensão que aproxima as cinco fases referendadas por Demo (2012) e balizadas pelos interesses de Habermas. Na rede sistêmica, as referidas fases são encontradas num CR e são: a reprodução do conhecimento, a interpretação própria, a reconstrução própria do conhecimento, a construção do conhecimento e, por fim, a criação.

Para complementar a estruturação do referencial de pesquisa e, portanto, entender a função das concepções na rede sistêmica, é necessário visualizar cada dimensão ou subdimensão, interagindo mediante interconexões e inter-relacionamentos que se direcionam para o mesmo fim: a subjetividade humana que está inserida em qualquer processo de produção do conhecimento.

CAPÍTULO 2

O presente capítulo examina as abordagens teóricas que dizem respeito à sustentabilidade do desenvolvimento (SD), a educação ambiental (EA) e a interdisciplinaridade.

2.1 Considerações iniciais

Para Leff (2006), com o aparecimento da modernidade e da racionalidade, a natureza não foi apenas violada, o seu conceito simplesmente foi aviltado, uma vez que perdemos a ideia de uma ordem ontológica que contenha o ser, de uma natureza capaz de servir de referência precisa aos conhecimentos, de leis que possam ser traduzidas em normas de vida e sentidos existenciais. O conhecimento produzido pela ciência acarretou um excesso de objetividade no mundo, buscando iluminá-lo através da razão, de normatizar as coisas com palavras, mediante uma linguagem sem contradições, de estudar a realidade empírica mediante formulações lógicas que buscam na verdade absoluta, produzir uma realidade presente em todas as atividades humanas. Segundo Leff,

a crise ambiental que estamos vivenciando, é o resultado da resposta de um mundo objeto que transbordou o sujeito do conhecimento, através da rejeição da ordem simbólica, da tradição, do domínio puro da objetividade, da coisificação pela racionalidade científica e econômica, que encaminha como saldo final a destruição do planeta. (2006, p. 127).

Nesse contexto, para Leff, a sustentabilidade ecológica aparece assim como um juízo crítico para refazermos a ordem econômica, como uma prerrogativa para a sobrevivência humana e para um desenvolvimento durável, questionando as formas de conhecimento, os valores sociais e os próprios fundamentos da produção, abrindo uma nova visão do processo civilizatório da humanidade (LEFF, 2006, p. 134).

2.2 Aportes para o conhecimento da Sustentabilidade do Desenvolvimento (SD)

Aumentando a complexidade social, surge em meados do século XVIII, na Inglaterra, a revolução industrial trazendo com ela vários benefícios, como o aumento da expectativa média de vida, conforto material, a evolução dos meios de informação, transporte e outros. Com isso, contraditoriamente criou-se um modelo de desenvolvimento econômico (MDE) que trouxe efeitos devastadores, como o consumo excessivo de recursos naturais, a poluição do ar, da água e do solo, além da concentração populacional e os problemas sociais dela advindos. Como resposta à ineficiência desse modelo de desenvolvimento, a humanidade começou a organizar-se de modo a formular uma nova estratégia de sobrevivência, onde o meio ambiente fosse entendido como parte fundamental nesse processo de evolução da sociedade.

Entretanto, as ideias que temos sobre sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, podem variar, pois hoje estão carregadas de visões exclusivistas, econômicas e político-ideológicas que normalmente se associam a estratégias que buscam a contratação de projetos ou a modificação de políticas públicas que, tendo como pano de fundo a proposta de angariar recursos financeiros e expandir mercados, buscam nela obter vantagens próprias. Para vários estudiosos, tal distorção do conceito teve origem nas políticas de desenvolvimento pós-guerra que, ao incentivar maciçamente a industrialização como a melhor forma de superação da pobreza, induziu, segundo Chiavenato (2000), as sociedades a objetivarem o desenvolvimento econômico em detrimento do desenvolvimento humano que abrange os aspectos ecológicos, o meio ambiente natural e as capacidades finitas dos recursos naturais.

Do ponto de vista histórico, o surgimento da noção de sustentabilidade tem como marco inicial o ano de 1968, quando, no chamado Clube de Roma, ocorreu a primeira discussão sobre a crise ambiental, cujo objetivo era estudar o impacto global resultante das interações entre a produção industrial, a população e o meio ambiente.

Em 1972, o mesmo Clube de Roma publicou um relatório elaborado por Dennis Meadows e outros onde, por meio de simulações matemáticas, apresentaram projeções para um prazo de 100 anos, relacionando o crescimento populacional ao nível de poluição e com a drástica escassez dos recursos naturais da Terra (figura 5).

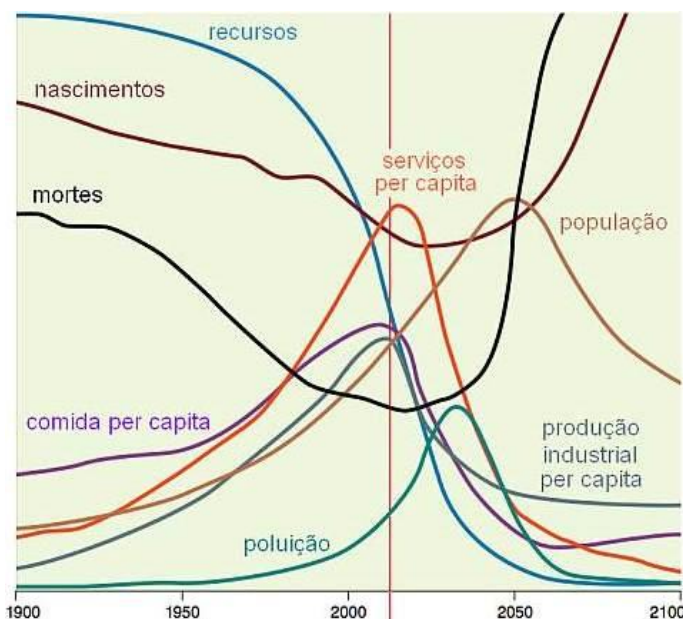


Figura 5 – Projeções originais do modelo dos limites do crescimento, proposto por Dennis Meadows
 Fonte: Hall; Day Jr., 2009.

Tais cenários aguçaram a percepção crítica de vários estudiosos como Maurice Strong, Secretário da Conferência de Estocolmo, que introduziu o conceito de ecodesenvolvimento largamente difundido por Ignacy Sachs, que desde a década de 70, vem alertando para a necessidade de repensarmos o MDE até hoje adotado. Com Sachs o conceito de ecodesenvolvimento amadureceu ao longo dos anos, dando ensejo ao aparecimento dos conceitos de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável.

Ao discutir as estratégias do ecodesenvolvimento, Sachs o entende como

um desenvolvimento endógeno e dependendo de suas forças próprias, submetido lógica das necessidades do conjunto da população consciente de sua dimensão ecológica e buscando estabelecer uma relação de harmonia entre o homem e a natureza. (1980 apud NOGUEIRA, 2009, p. 142).

Sob esta perspectiva, Sachs (1993) incorpora ao ecodesenvolvimento variáveis tais como as econômicas, políticas, culturais, sociais, éticas, ecológicas, onde este é um processo que busca melhor qualidade de vida para as comunidades humanas e, ao mesmo tempo, o respeito pela capacidade de carga dos ecossistemas. Para planejar o ecodesenvolvimento, Sachs (1981) propõe as primeiras concepções a respeito de sustentabilidade, afirmando que a mesma deve ser considerada simultaneamente em cinco dimensões:

- a sustentabilidade social, que incentiva a elevação da qualidade de vida da população através de uma melhor distribuição de renda, de modo a reduzir a distância do padrão de vida entre abastados e não-abastados;

- a sustentabilidade econômica, que deve ser avaliada em termos macrossociais no que diz respeito à alocação e gestão de recursos públicos e privados, nos países industrializados, promovendo mudanças estruturais que atuem como incentivadoras do desenvolvimento humano sem comprometer o meio ambiente;
- a sustentabilidade ecológica, que propõe um sistema produtivo mais eficiente no uso dos recursos potenciais dos vários ecossistemas, com soluções ecologicamente corretas e economicamente viáveis, através do uso de tecnologias limpas e fontes de energia alternativas renováveis;
- a sustentabilidade espacial, que, voltada para uma configuração rural-urbana, sugere um dimensionamento espacial adequado, de modo que haja equilíbrio entre as populações rurais e urbanas;
- a sustentabilidade cultural, que busca nas raízes endógenas um modelo desenvolvimentista que valorize a continuidade das tradições e pluralidade dos povos.

Não tendo uma concepção tão humanizante como a noção de ecodesenvolvimento proposta por Sachs e não estritamente econômica como a noção de sustentabilidade, surge a expressão *desenvolvimento sustentável*. Tal noção passa a ser amplamente divulgada no âmbito das organizações internacionais, apresentando uma conotação ideológica menos radical que a anterior, mais coerente com uma fase de experimentação, trazendo a ideia de uma nova ordem econômica internacional.

A expressão *desenvolvimento sustentável* difunde-se na década de 80, tendo sido utilizada primeiramente pela International Union for Conservation of Nature (IUCN), numa conferência mundial que tratava da conservação e do desenvolvimento ambiental, em Ottawa, no Canadá, ressaltando princípios como: integrar o desenvolvimento com a conservação da natureza, satisfazer as necessidades humanas essenciais, buscar a justiça e a igualdade social, perseguir a autodeterminação social e a diversidade cultural e promover a integridade ecológica.

Entretanto, a expressão – e a ideia – *desenvolvimento sustentável* só se tornará amplamente difundida a partir de 1987, com o chamado *Relatório Brundtland* (FGV, 1991, *Nosso futuro comum*), apresentado por uma comissão da ONU, cujo conceito foi apresentado como “aquele que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades”.

Na sequência, para que pudéssemos chegar ao que entendemos por Sustentabilidade do Desenvolvimento (SD), apresentamos as concepções de alguns autores que vieram a colaborar para o aprofundamento da temática.

Bartholo Jr. (2000) entende o desenvolvimento sustentável como uma proposta que tem em seu horizonte uma modernidade ética, não apenas uma modernidade técnica (apud GUIMARÃES; TOMAZELLO, 2003b, p. 62).

Aramburu (2001) concebe o desenvolvimento sustentável como algo dinâmico, processual e qualitativo, que deve reformar conceitos econômicos clássicos e incorporar questões como: necessidade de limites, trocas entre “centros” e “periferias”, eficiência *versus* desperdício, capital natural e cultural, entre outras (apud GUIMARÃES; TOMAZELLO, 2003b, p. 62).

Garcia e Vergara (2000) enxergam na noção de desenvolvimento sustentável uma ambiguidade: ao mesmo tempo em que se aceita a existência de limites ao modo de vida que não seja compatível com os princípios ecológicos, mantém-se a crença no crescimento econômico. Entendem os autores que o termo sustentabilidade tem se desenvolvido em duas versões:

- a sustentabilidade fraca, que pode ser definida como a viabilidade de um sistema socioeconômico no tempo, tendo como características uma concepção mais antropocêntrica, mecanicista, localista e compatível com o crescimento contínuo;
- a sustentabilidade forte, que pode ser definida como a viabilidade da relação que mantém um sistema socioeconômico com um ecossistema, tendo como característica uma concepção mais ecocêntrica, sistêmica, incompatível com o crescimento econômico e que enxerga o meio ambiente global e sistêmico.

Quanto aos princípios operativos da sustentabilidade forte, Garcia e Vergara (2000) especificam seis princípios reguladores:

- a taxa de exploração dos recursos naturais tem que ser igual ou menor que a taxa de regeneração destes mesmos recursos;
- substituição dos recursos não-renováveis ou com estoque limitado por recursos renováveis;
- os recursos não-renováveis deverão ser reciclados e reutilizados, diminuindo assim a taxa de extração e dispersão dos resíduos;
- os contaminantes que podem ser biodegradáveis e reintegrados aos ciclos naturais deverão ter taxa de emissão igual ou menor a sua taxa de assimilação;

- devem ser proibidas as emissões de elementos cuja contaminação se acumule indefinidamente (contaminação radiativa e química) e que não seja biodegradável;
- deve-se procurar selecionar e prover o uso das tecnologias através de índices segundo a sua eficiência.

Segundo Dias (2006), nenhum sistema social pode ser mantido por um longo período quando a distribuição dos benefícios e dos custos é extremamente injusta, especialmente quando parte da população está submetida a um debilitante e crônico estado de pobreza. Partindo desse pressuposto, o autor entende que a chave para o desenvolvimento sustentável

é a participação, a organização, a *educação* e o fortalecimento das pessoas. O desenvolvimento sustentado não é centrado na produção, é centrado nas pessoas. Deve ser apropriado não só aos recursos e ao meio ambiente, mas também à cultura, à história e aos sistemas sociais do local onde ele ocorre. (DIAS, 2006, p. 226).

Neste contexto, para Sauvé (2005),   preciso superar um equívoco, quando se confunde a estratégia do desenvolvimento sustentável (por melhor que seja) com um projeto de sociedade. A rela o com o mundo não pode ficar restrita a uma dinâmica de gestão de recursos; as atividades humanas não podem ser interpretadas somente dentro do paradigma do desenvolvimento, utilizando indiscriminadamente o termo sustentabilidade, já que esta não fundamenta um projeto de sociedade e muito menos um projeto de humanidade.

Segundo Sauvé (2005), a tendência atual   cada um redefinir a sua maneira este conceito inevitável, já que está entrelaçado com as diferentes esferas da sociedade, e o desenvolvimento sustentável não seria um fim definido e sim um processo para atingi-lo, cabendo a cada um escolher a maneira de realiz -lo, mediante uma EA que acompanha o início e o término do projeto de cada um.

2.3 Educa o ambiental

Dentro da evolu o de nossa cultura, baseada no antropocentrismo, no utilitarismo e na instrumenta o apoiada por uma ciência que separa o homem da natureza, as ciências sociais das naturais, as rela es sociais, políticas, culturais e econômicas, emerge a Revolu o Industrial, que, sendo precursora do capitalismo contemporâneo, deu luz ao atual MDE. Com isso, o bin mio produ o-consumo acaba por gerar maior pressão sobre os recursos naturais, tendo como consequência maior a degrada o do meio ambiente, que se reflete na perda da qualidade de vida e da experiência humana.

Para reverter tal situação, a promoção da SD salta da utopia para assumir o papel de estratégia para sobrevivência do homem no planeta, através de processos para uma EA crítica, emancipatória e transformadora que, através dos seus limites e possibilidades, poderá construir, trabalhar e materializar o conhecimento de princípios que possam promover o desenvolvimento de sociedades responsáveis.

Nesse processo, segundo Sauvé (2005),   preciso estar atento com a pluralidade de pensamentos, sobretudo com aqueles que propoem uma *educa o* para um *desenvolvimento sustentável*. Tal proposta dificulta as metas da EA, enxergando-a como uma ferramenta a serviço da conserva o do meio ambiente em longo prazo, tomando-o como um depósito de recursos naturais a serem explorados, de modo que o termo EA passe a ser utilizado apenas a serviço da materializa o de um desenvolvimento (crescimento) econômico sustentável.

Como afirma Sauvé (2005), a EA não   uma forma de educa o que no ensino formal tem se restringido a um formulário, para ser inserida como tema transversal de diferentes disciplinas e/ou de projetos interdisciplinares, ou como uma ferramenta para resolu o de problemas ou de gestão do meio ambiente. A EA, para a autora,   uma dimensão essencial da educa o fundamental que diz respeito a um domínio de intera oes que está na base do desenvolvimento pessoal e social, tendo como objeto de estudo a nossa integra o com o meio ambiente. Uma integra o que, segundo Sauvé (2005) exige para poder intervir, considerar os diversos modos do meio ambiente: o meio ambiente – natureza que deve ser respeitada e preservada; o meio ambiente – recursos naturais para gerir e repartir; o meio ambiente – consumo responsável que integra os problemas em que estão associadas as questões socioambientais ligadas a jogos de interesse e de poder e a escolha de valores; meio ambiente – sistema que procura através do Pensamento Sistêmico alcançar a compreensão da complexidade que envolve o conjunto de realidades ambientais; meio ambiente – lugar em que se vive a realidade cotidiana (casa, universidade, etc.), que devemos conhecer e aprimorar; meio ambiente – biosfera, que nos leva a conhecer a interdependência das realidades socioambientais em nível mundial, e o meio ambiente – projeto comunitário, que   um lugar de parceria para realizar mudanças necessárias no seio da coletividade.

Assim, para Sauvé (2005), cabe a cada idealizador dos diferentes projetos educativos de EA definirem o seu espaço educacional em fun o do contexto específico de sua interven o, do grupo particular a que se dirige e dos recursos de que dispoem. Ou seja, trata-se de escolher outras possibilidades de modo oportuno e realista, sem esquecer, contudo, um conjunto de outros objetivos e estratégias possíveis.

Dias (2006) entende que a evolução dos conceitos de EA sempre esteve diretamente ligada à evolução do conceito de meio ambiente, que, para Reigota, é “um lugar determinado e/ou percebido em que estão em relação dinâmica e em constante interação os aspectos naturais e sociais” (2006, p. 20).

Segundo Loureiro (2006) é dessa relação dinâmica que podem emergir os processos de criação cultural e tecnológica e os processos histórico-políticos de transformação da sociedade e da natureza.

Como consequência desse conceito de meio ambiente, ou de sua unidade básica de estudo, a investigação em EA

adquire um caráter interdisciplinar e integrador, reforçando a utilização de uma abordagem complexa para a compreensão da problemática ambiental, como resultado da dinâmica do sistema natural e das interações entre o sistema social e natural. (SANTOS; SATO, 2006, p. 42).

Nesse sentido, procurando não tornar o processo de EA reducionista, apresentamos alguns conceitos mais amplos e que abordam os seus diferentes aspectos.

Segundo Reigota, a EA é uma “educação política, no sentido de que ela reivindica e prepara os cidadãos para exigir justiça social, cidadania nacional e planetária, autogestão e ética nas relações sociais e com a natureza” (2004, p. 10).

Para Santos e Sato, a EA “fomenta novas atitudes nos sujeitos sociais e novas decisões da sociedade, guiadas pelos princípios da sustentabilidade ecológica e da valorização da diversidade cultural” (2006, p. 33).

Na visão de Sauvé (2005), a EA visa induzir dinâmicas sociais, de início na comunidade local, posteriormente em redes mais amplas de solidariedade, promovendo a abordagem colaborativa e crítica das realidades socioambientais, uma compreensão autônoma e criativa dos problemas que se apresentam e soluções possíveis para eles.

Nessa mesma linha, Loureiro (2006) reforça a ideia de uma EA crítica, transformadora, socioambiental e popular que, enquanto práxis social e processo de reflexão sobre a vida e a natureza, contribua com a transformação do modo como nos inserimos no mundo.

Já a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), define a EA como um conjunto de processos a partir dos quais os indivíduos e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências que permitam capacitá-los para participação na ativa defesa do meio ambiente.

Por último, a Lei 9.795, de 27 de abril de 1999 no artigo 1.º, define a EA “como os processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidade, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade”.

Assim como Leff (1995), apud Santos e Sato (2006), podemos sintetizar que educar ambientalmente implica na formação de um pensamento crítico, reflexivo, capaz de interpretar as complexas e dinâmicas relações da realidade natural e social, para atuar num meio ambiente que, entendido sob uma perspectiva global, seja diferenciado pelas diversas condições naturais e culturais que o determinam.

Do exposto, ressalta-se que a EA nesta pesquisa-ação, ao envolver uma intervenção no processo de ensino e aprendizagem no curso de Engenharia Civil da FURG, deve ser entendida como uma educação emergente do Pensamento Sistêmico que, amparada nos aportes da *pedagogia da complexidade ambiental*, busca aprendizagens significativas que construam conhecimentos que encaminhem uma nova racionalidade ambiental, propondo atitudes críticas, reflexivas, em todas as ações que envolvem a relação das pessoas entre elas, consigo mesmas e com o seu meio ambiente.

2.3.1 A pedagogia da complexidade ambiental e a EA

A educação ambiental, no seu projeto pedagógico, contemplando a elaboração da cultura e o desenvolvimento cognitivo de docentes e discentes, deve envolver uma aprendizagem crítica, reflexiva, criativa, democrática, que sugere um conhecimento articulado com a realidade, buscando as mudanças necessárias para reverter os profundos problemas socioambientais que a humanidade atualmente enfrenta. Isso nos leva a pensar a pedagogia crítica⁷ que, segundo Luzzi (2003), surge como resposta a uma educação que serviu de sustentação para os conflitos gerados por uma *racionalidade instrumental* dominante, problematizando e buscando a transformação da realidade, bem como das representações sociais que forjam os padrões culturais através de uma nova *racionalidade social*.

⁷ Segundo Libâneo (2010), a pedagogia crítica deriva de várias correntes educacionais, influenciadas pelo marxismo, cujo método se orienta pela razão crítica. Tomamos como exemplo dessas correntes: a Teoria Crítica elaborada pela Escola de Frankfurt, uma teoria implicitamente pedagógica, cuja práxis reforça a interação dialética entre teoria e prática ou pensamento e ação, e a Pedagogia Libertadora, de Paulo Freire, que buscava denunciar a escola como divulgadora da ideologia burguesa e reprodutora das relações de dominação do capitalismo.

Por sua vez, a pedagogia crítica, ao se orientar para as questões do meio ambiente, transforma-se numa pedagogia da complexidade ambiental que, tendo a EA como o seu objeto de estudo, resulta numa educação que caminha para sua ambientalização, modificando-se dinamicamente, tomando com referência a complexidade ambiental que envolve o intercâmbio dos saberes em todas as suas manifestações éticas, culturais, sociais, econômicas, políticas e tecnológicas.

Nesse sentido, segundo Leff (2007), a complexidade ambiental não é a ecologização do mundo. Para o autor, assim como para Morin (2003), a complexidade ambiental impõe o pensamento complexo (ver seção 3.2.5) que desborda da visão do movimento cibernético⁸ de uma realidade que se estrutura e evolui através de um conjunto de inter-relações e retroalimentações, propondo um processo de desenvolvimento que vai da auto-organização da matéria a ecologização do pensamento gerando “o inédito no encontro de outridades, enlaçamentos de diferenças, complexidade dos seres e diversificação de identidades” (LEFF, 2003, p. 38).

Com isso, segundo Leff, aprender a aprender a complexidade ambiental implica numa revolução do pensamento, numa mudança de mentalidade, numa transformação do conhecimento e das práticas educativas para construir um novo saber e uma nova racionalidade que, além de buscar um mundo sustentável, igualitário e democrático, nos permitam romper com a dicotomia entre sujeito e objeto do conhecimento para reconhecer as possibilidades da realidade e para incorporar valores e identidades no saber. (2003, p. 23; 2007, p. 205).

Nesse contexto, a EA, tendo como função social a construção e a materialização do conhecimento da SD ou, como entende Sauvé (2005), o desenvolvimento de sociedades responsáveis, propõe uma reconstrução da realidade, que exige a transformação de práticas docentes e discentes mediante reflexões sobre o aprender a ensinar e o aprender a aprender que envolve a habilidade da metacognição⁹ que tem no meio ambiente o sujeito e objeto de conhecimento. Sob essa perspectiva, a pedagogia da complexidade, propõe que a EA deva avançar na construção de um conhecimento significativo, integrado e global, que entenda a realidade a partir de metodologias interdisciplinares, propondo um saber que permite refletir e questionar os paradigmas do conhecimento, pensando o ensino e aprendizagem sob um sistema de ideias que envolvem a teoria com a prática sob um novo olhar, que sendo

⁸ Cibernética – de acordo com Kasper (apud ANDRADE et al., 2006), o movimento cibernético é responsável pelo advento de técnicas de computação, integrando os processos de observação e comunicação.

⁹ Metacognição – segundo Luzzi (2003), é a habilidade de pensar sobre o pensamento, no sentido de retornar aos próprios processos mentais, sendo cada um o próprio objeto de reflexão.

sistêmico, exige a interação e a mútua dependência dos elementos que o compõem, procurando torná-los hábeis usuários do conhecimento.

Assim, para Leff (2003), a complexidade ambiental prepara uma pedagogia da complexidade, em que é preciso investir em um tipo de racionalidade que significa a reapropriação do conhecimento do ser no mundo e do estar no mundo. Dessa maneira, segundo Luzzi (2003), podemos nos aproximar de uma EA que valorize, além dos aspectos éticos e subjetivos das ações humanas, os parâmetros culturais de bem-estar, podendo avaliar os efeitos do consumismo exacerbado, da possessão, dos poderes sobre os outros, da concorrência acirrada, das condutas predatórias, avançando sobre temas que valorizem o indivíduo, o grupo, a afetividade, a solidariedade, na busca do desenvolvimento de comportamentos proativos que dizem respeito ao meio ambiente.

Dessa forma, segundo Luzzi (2003), o saber ambiental poderá emergir da razão crítica, cujo conhecimento construído a partir dos *interesses constitutivos do saber*¹⁰ propostos por Habermas, exige a incorporação de processos de docência reflexivos que destacam o aspecto emancipatório resultante da prática com a teoria. Para tanto, deveremos ser acompanhados de inovações didático-pedagógicas que, permitindo o acesso à verdade, reorientem as realidades de nossas salas de aula, a análise endógena da mesma e os conteúdos programáticos sob a perspectiva da reflexão ambiental onde, segundo Leff (2003), a complexidade ambiental não possa ser entendida como uma aprendizagem do meio, mas como a compreensão do conhecimento sobre o mundo.

2.3.2 Aspectos éticos da EA

Pelo exposto, à luz do pensamento crítico, entendemos que a sociedade atual está instituída com base no aumento da produção de riquezas materiais que incentivam a reprodução e acumulação de capital, na utilização privada e desigual dos recursos naturais, na modificação de bens de uso em bens de consumo determinados por seu valor de troca, e na vulgarização da existência e mercantilização de tudo. É a sociedade consumista, que desperdiça e abandona os objetos de desejo num ritmo desmedido.

¹⁰ Segundo Siebeneichler (2003), para Habermas existem três diferentes interesses constitutivos do saber: o técnico associado ao saber instrumental (explicação causal) que gera as concepções das ciências naturais, o prático que diz respeito ao saber prático que gera as concepções das ciências hemenêuticas e o emancipatório que sendo reflexivo, gera as concepções das ciências críticas.

Desconhecer a complexidade de tal sociedade e apostar na solução dos problemas ambientais através de caminhos compartimentados, puramente éticos, somente educativos ou exclusivamente científicos, é dar sequência ao que existe e que compromete a própria vida.

Partindo da premissa de que a crise ambiental resulta de uma crise civilizatória que foi abreviada por uma crise ética, através da ausência de um sistema de valores, de uma tradição, que possam avaliar as ações humanas dentro de um contexto de maior interação com a natureza, entendemos como Loureiro (2006) que a postura ética passa a ser, entre os educadores, uma questão essencial, em que os modelos de desenvolvimento sustentáveis devem possuir valores que resgatem a indissociabilidade entre o social, ambiental e o econômico.

Logo, cabe à EA a responsabilidade de construir uma nova ética que, na visão de Loureiro (2006, p. 52), possa ser entendida como ecológica desde que se ampare nos seguintes pressupostos:

- o educador ambiental, ao programar processos interdisciplinares e ao trabalhar com temas geradores, não pode isolá-los da realidade complexa que os forma;
- os educadores ambientais devem saber se posicionar com a devida autonomia política e reflexiva, diante a finalidade e o alcance dos projetos junto às empresas privadas, realizando projetos de EA por meio de gestão de processos cujos impactos sobre a dinâmica de sistemas naturais são relevantes;
- o educador ambiental deve trabalhar efetivamente a EA, para que gere processos conscientes de ação política vinculados a modos de organização produtiva não capitalista e atitude individual coerente, redefinindo o conjunto das relações sociais da natureza.
- o educador ambiental deve evitar reduzir a educação à divulgação científica e a formação de hábitos;
- O educador ambiental devem saber explicar a baixa compreensão do significado de desenvolvimento e de progresso, dentre outras incongruências cotidianas.

É dentro desse cenário que o desafio da EA, em sua dimensão ética, está em busca da igualdade como condição de afirmação das diferenças no processo de definição de valores que sustentam uma perspectiva ambientalista da sociedade, o que implica desvelar a realidade em sua complexidade, pensar a utopia mediatizada pelas condições objetivas e históricas, agindo com a consciência de que se faz necessário reconstruir a própria consciência para modificarmos a realidade em que nos encontramos (LOUREIRO, 2006, p. 52).

2.3.3 Finalidades, objetivos e princípios básicos da EA

Diante dos fatos até aqui expostos e de acordo com as observações e críticas de Dias (2006) sobre a Conferência de Tbilisi, citamos as seguintes finalidades, objetivos e princípios básicos para a EA:

2.3.3.1 Finalidades da EA

As finalidades da EA envolvem:

- divulgar a compreensão da importância da interdependência econômica, social, política e ecológica (DIAS, 2006, p. 109);
- permitir às pessoas a aquisição dos conhecimentos, o sentido dos valores, o interesse ativo e as atitudes necessárias para promover a proteção e a melhoria do meio ambiente (op. cit., p. 110);
- induzir nos indivíduos e na sociedade novas formas de conduta na relação com o meio ambiente. (op. cit., p. 110);

2.3.3.2 Objetivos da EA

Os objetivos da EA estão interligados, tendo como característica a possibilidade de iniciarmos por qualquer um, pois todos levam a todos. Segundo Dias (2006), são eles:

- incentivar os indivíduos e a sociedade a tomar consciência da necessidade de sensibilizar-se para as questões do meio ambiente; (op. cit., p. 110);
- permitir, através da experiência, a compreensão dos problemas que envolvem o meio ambiente; (op. cit., p. 110);
- facilitar a mudança de comportamento no que diz respeito ao interesse de participar da proteção e melhoria do meio ambiente; (op. cit., p. 110);
- estimular as habilidades das pessoas quanto à necessidade de identificar e resolver os problemas ambientais; (op. cit., p. 110);
- criar possibilidades de participação dos indivíduos e grupos sociais nas tarefas que têm por objetivo resolver os problemas ambientais. (op. cit., p. 110);

2.3.3.3 Princípios da EA

Introduzir a EA através de uma abordagem sistêmica observando o meio ambiente em sua totalidade, as interações entre os aspectos naturais e os sistemas criados pelo homem. Para tanto tem como princípios:

- estimular um processo educativo contínuo e permanente no ensino formal e informal (op. cit., p. 110);
- promover a multidisciplinaridade, de modo que o conteúdo de cada disciplina seja parte de uma perspectiva global (op. cit., p. 110);
- permitir que os educandos, ao serem informados das questões ambientais locais, nacionais e internacionais, se identifiquem com as condições ambientais de outras regiões geográficas (op. cit., p. 110);
- concentrar os educandos nas questões ambientais atuais, dentro de uma perspectiva histórica dos problemas ambientais (op. cit., p. 110);
- valorizar a cooperação local, nacional e internacional na prevenção e resolução dos problemas ambientais (op. cit., p. 110);
- considerar claramente, nos planos de desenvolvimento e crescimento, os aspectos ambientais (op. cit., p. 110);
- procurar as causas concretas dos problemas ambientais (op. cit., p. 110);
- reafirmar a complexidade que envolve os problemas ambientais e a partir daí, desenvolver o senso crítico e as habilidades necessárias para resolução de tais problemas (op. cit., p. 110);
- utilizar dentro dos processos educativos, o maior número de métodos que permitam adquirir conhecimentos a respeito do meio ambiente, estimulando práticas e experiências pessoais do educador (op. cit., p. 110).

Para colocarmos em prática as atividades de EA anteriormente citadas, ilustramos através da figura 6 a importância do Pensamento Sistêmico aplicado para a compreensão do contexto socioeconômico-ambiental.

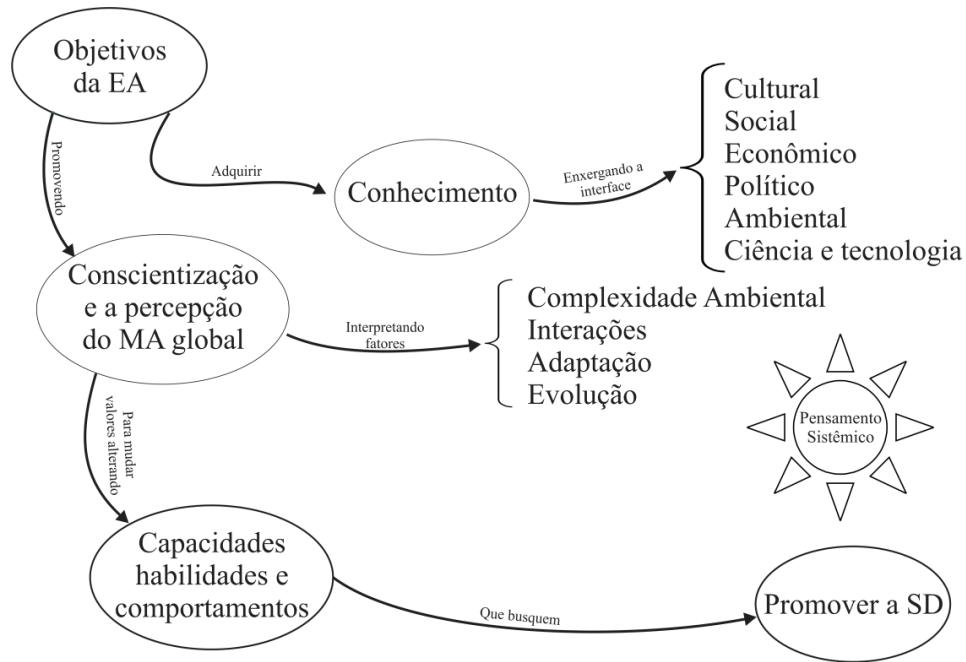


Figura 6 – Fundamentação da atividade de EA e a importância da visão sistêmica
Fonte: Adaptado de Dias, 2006.

2.3.4 Aspectos sociais e políticos da EA

Para nos aproximarmos dos aspectos políticos da EA, precisamos ter consciência de que a crise ambiental atual envolve não apenas o número de pessoas que necessitam esgotar recursos naturais para vestir, comer e morar, mas também o exagerado consumo desses recursos por uma pequena parte da humanidade, onde estão conectados o desperdício e a produção de produtos inúteis e nefastos à qualidade da vida humana. Então, não se trata apenas de garantir a preservação de determinadas espécies de animais e vegetais e dos recursos naturais. Segundo Reigota (2004, p. 10), “o que deve ser considerado prioritariamente são as relações econômicas e culturais entre a humanidade e a natureza e entre os homens”.

Assim, a EA deve ser entendida como uma educação política, que prepara o cidadão para o aprendizado da justiça social, cidadania nacional e mundial, autogestão e ao emprego dos aspectos éticos nas relações sociais e com o meio ambiente. É uma educação política que estimula a análise do “por que fazer” em vez do “como fazer”, tendo como objetivo, neste momento histórico de grandes mudanças, firmar-se como uma educação que é por princípio criativa, crítica e inovadora, dentro de um contexto em que o homem, ao se afastar da natureza, torna-se um simples espectador e explorador dessa mesma natureza.

Na visão de Reigota (2004), a EA deve ser orientada para a comunidade. O cidadão deve compartilhar da resolução dos problemas, não com a ambição de por si só solucionar os

complexos problemas ambientais, mas participar decisivamente desse processo, com uma proposta de atuação que envolve a expressão ambientalista: “Pensamento global e ação local, ação global e pensamento local”.

Com isso a EA, segundo Loureiro (2006), só poderá amadurecer, ou seja, colaborar politicamente para formação dos fundamentos de um autêntico desenvolvimento sustentável, introduzindo um método dialético em sua lógica de ação e reflexão. Para Reigota (2004), esse método seria o método marxista configurado, visto pela ótica do pensamento complexo de Morin, no qual a EA deverá ser embasada numa tradição teórica que, sendo emancipatória e transformadora, forneça conceitos fundamentais à ação, partindo de um campo filosófico, político, teórico-metodológico que construa uma linha básica para o saber ambiental. Dessa forma podemos conduzir um modo de agir e pensar onde, através da dialógica, possamos evidenciar argumentos e defender teses que envolvam os problemas do meio ambiente, tendo a EA com um instrumento inseparável do processo de modificação social e da inclusão do sujeito na sociedade e no mundo.

2.3.5 A EA na universidade

Sabemos que os problemas ambientais são complexos por sua natureza e não poderão ser resolvidos somente com medidas educativas. Entretanto, cabe à educação grande responsabilidade no enfrentamento de tal crise. Adotar novos modelos de educação se torna importante, pois, como dizem Santos e Sato (2006), “a formação de profissionais é um fator chave para vencermos a crise planetária”.

Embora a temática ambiental ganhe mais importância nos dias de hoje, as questões do meio ambiente na universidade continuam sendo tratadas de forma departamentalizada, onde as propostas interdisciplinares permanecem sendo rejeitadas, com as disciplinas ministradas de forma fragmentada e isolada num contexto que nos afasta do dinamismo da realidade.

Contudo, mesmo sob o impacto dessa compartimentalização do saber, vemos a introdução da EA na universidade, servindo como eixo norteador das diferentes disciplinas do currículo, podendo com isso trabalhar valores e conceitos onde professores e estudantes possam desenvolver uma postura crítica e participativa no que diz respeito às questões do meio ambiente.

Assim, segundo Novo, apud Guimarães e Tomazello,

a EA universitária coloca-se hoje, de forma prioritária, com o objetivo de revisar os modelos éticos, científicos e tecnológicos que regem as atuações humanas sobre o meio ambiente, a fim de contribuir com a reorientação das políticas de investigação e desenvolvimento, utilizando modelos baseados na sustentabilidade. (2003b, p. 58).

Para tanto, é necessário, de acordo com Santos e Sato (2006, p. 32), que o processo educacional possa incentivar a emergência de um sujeito mais crítico, historicamente situado, que possa transformar a realidade opressora.

Entretanto, fica evidente que os professores não podem trabalhar com ideias, conceitos, valores, habilidades, capacidades e atitudes para formação de uma sociedade responsável se eles não estiverem preparados para isso. Nesse sentido é necessário que eles recebam uma formação continuada incentivados pela Lei 9.795 que, no artigo 9.º, parágrafo único, citando a EA, impõe que professores em atividade devem receber formação complementar em sua área de atuação, com o propósito de atender adequadamente ao cumprimento dos princípios e objetivos da Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA).

Como mencionado anteriormente, talvez a EA por si só não possa resolver os problemas ambientais, mas, em médio prazo, é um importante instrumento para construção e implementação dos princípios da sustentabilidade na universidade, já que para ela, como pensa Leff (2003), confluem os princípios da complexidade e da interdisciplinaridade. Contudo, a implantação de tal processo educacional passa por uma reforma da universidade, que exige a adoção de um novo paradigma científico e uma reforma do pensamento que Morin expõe da seguinte maneira:

A reforma da Universidade implica a instauração de Departamentos ou Institutos dedicados às ciências que já operam uma reintegração polidisciplinar em torno de um núcleo organizado e sistêmico (ecologia, ciências da Terra, cosmologia); progride com a reintegração posterior das ciências biológicas e das ciências sociais e com elaboração de dispositivos que permitam a religação das ciências antropológicas e do conjunto das ciências da natureza. (2003, p. 23).

Assim, é preciso que o professor, seja qual for a sua área de atuação no ensino na universidade, tenha contato com as questões ambientais de uma forma ampla, para com isso, ao refletir sobre o assunto, encontrar uma forma pedagógica que encaminhe propostas de ação de modo a envolver a comunicação numa linguagem que estabeleça uma interface com outras áreas do saber, debatendo com profundidade temas que envolvam a construção da cidadania e melhor qualidade de vida para o planeta.

Na universidade, especialmente no curso de Engenharia Civil da FURG, tal procedimento se torna complexo, tendo em vista que as disciplinas a cargo de especialistas não mantêm vínculos entre si. Nesse contexto, a EA encontra-se num conflito, é vista com

bons olhos, mas não consegue efetivamente se institucionalizar, sendo inclusive acusada de ter teorias interessantes e não muito efetivas em sua divulgação. Assim, a implantação da EA e, conseqüentemente, da interdisciplinaridade, exige várias possibilidades que em nosso entender passam por uma prática pedagógica que difere da atual *educação bancária*, que Paulo Freire (1987) define como uma educação tecnocrática e conservadora, que, ao reproduzir a sociedade capitalista, impossibilita a superação das contradições nas relações sociais vigentes.

Com isso tratamos de uma proposta de educação que, segundo Loureiro (2006), para ser implantada, inicia com uma modificação social movida pelo diálogo, aprendizado da cidadania, no fortalecimento do sujeito, na superação das formas de dominação capitalista e no entendimento do mundo na sua complexidade e da vida na sua totalidade. Nessa direção, Garcia e Vergara (2000) recomendam alguns conceitos que podem ser trabalhados dentro da prática educativa adotada no ensino superior:

- implicações socioeconômicas e ideológicas da sustentabilidade;
- energia e entropia;
- sistemas complexos;
- fatores limitantes do crescimento;
- limitação da capacidade de recursos e impactos ambientais;
- princípios operativos da sustentabilidade;
- capital natural e capital humano;
- lei da oferta e da procura;
- valoração da natureza;
- impossibilidade de um crescimento contínuo.

Nesse processo, acreditamos que não existem rápidas soluções para a deterioração da qualidade do meio ambiente e da vida na Terra, no entanto entendemos que a universidade é um espaço privilegiado onde, através da EA e sua prática, poderemos encontrar maior eficácia na busca de ações profiláticas que venham a contribuir com as medidas que tanto se fazem necessárias.

2.3.6 EA e a Gestão Ambiental Sistêmica (GAS)

A crise ambiental, diante dos fatos até aqui expostos, requer soluções educacionais na engenharia que se configurem em mudanças de hábitos, valores e atitudes dos estudantes.

Assim, discussões sobre o meio ambiente e o conhecimento da SD nos direcionam a formar profissionais cuja prática incida de alguma maneira na qualidade do meio ambiente, o que, em última análise, vai resultar na melhoria da qualidade e experiência de vida da sociedade. Assim, é imprescindível que nos cursos técnicos, em especial nas engenharias, possamos refletir sobre o significado dos conceitos de sustentabilidade, podendo com isso integrar a EA em processos de gestão ambiental pertinente às atividades do Engenheiro Civil.

É dentro desse cenário que a EA também pode ser considerada um importante instrumento de gestão ambiental para materialização da visão da SD, uma vez que os ecossistemas antrópicos, como cita Seiffert (2007), apresentam um elevado nível de entropia (ver seção 3.2.4.2.2), e os impactos ambientais decorrentes dessa entropia vêm evidenciando, com o passar do tempo, um potencial muito elevado de comprometimento na qualidade de vida do homem, até mesmo ameaçando a sua sobrevivência.

Assim, torna-se importante que o estudante de engenharia possa repensar a sociedade no que diz respeito ao uso qualitativo e quantitativo que ela faz dos recursos naturais podendo, ao se educar ambientalmente, vir a colaborar com processos que aumentem a qualidade de vida da sociedade e que resultem, dentro do possível, ambientalmente positivos.

Nesse sentido, devemos buscar o conhecimento de processos de gestão ambiental que, sendo sistêmicos, substituam a ideia de crescimento econômico pela ideia do desenvolvimento de sociedades responsáveis, partindo da premissa que os problemas ambientais não são isolados e sim interligados, exigindo com isso a formação de engenheiros que considerem o meio ambiente na sua totalidade e complexidade.

Cabe ressaltar, que o ensino e treinamentos voltados à adequação das atividades produtivas do engenheiro no tocante ao meio ambiente, onde estão incluídos os programas de qualidade, têm sofrido severas críticas, por envolver performances que acabam se tornando reducionistas e imediatistas. Parece que tanto as iniciativas de ensino e de treinamento nesta área são tidas como uma EA para negócios que, na busca de adequação à regulamentação ambiental e o interesse pelas certificações ambientais, têm encontrado, na mesma linha do processo produtivo, “o adestramento ambiental”.

Como entende Ruscheinsky et al. (2007), a partir da inclusão de uma EA verdadeira é que ocorrerá a mudança do treinamento adestrador de recursos humanos para uma realidade de habilitação de pessoas que trabalham, em que as ações produtivas se tornarão economicamente viáveis, ambientalmente corretas e socialmente equitativas. Assim, é importante que a EA ganhe espaço no ensino de engenharia, aprimorando as técnicas de

gerenciamento, incorporando a estas a dimensão ambiental, social, cultural e de cidadania em suas disciplinas profissionalizantes.

Convém registrar que as técnicas que abrangem os instrumentos de comando e controle de um sistema de gestão ambiental (SGA) permitirão aos estudantes, em suas atividades profissionais, tanto na esfera pública, através dos licenciamentos ambientais e da avaliação de impactos ambientais, como na privada, em programas como os propostos pelas normas da série ISO 14000, que encerram uma proposta concreta de gestão ambiental, buscar melhores benefícios sócio-ambientais gerados através do desempenho de suas atividades. Importa ressaltar que a ISO 14001, uma das normas da série ISO 14000 que, segundo Braga et al. (2010), é uma norma que especifica os principais objetivos de um sistema de gestão ambiental (SGA), e tem como um dos seus mais importantes princípios o comprometimento com o estabelecimento de políticas que potencializem a conservação do meio ambiente.

2.4 Da Interdisciplinaridade à Transdisciplinaridade: um olhar esquemático

Segundo Luzzi e Philippi Jr. (2011), a interdisciplinaridade surgiu no final do século XX, com a finalidade de dar uma resposta à fragmentação do conhecimento, causada pela epistemologia de cunho positivista.

As ciências haviam se dividido em muitas disciplinas e a interdisciplinaridade restabelecia em parte um diálogo entre elas, embora não resgatasse ainda a unidade e a totalidade do saber. Contudo, é precisamente a partir do reconhecimento da complexidade que emergiram variadas perspectivas metodológicas e epistemológicas para tentar abordá-la.

Para Luzzi, apud Philippi Jr. e Silva Neto (2011), a interdisciplinaridade é uma perspectiva que supera as visões dicotômicas e as fronteiras disciplinares, transcendendo as visões baseadas na interação dos conteúdos curriculares, alcançando as fronteiras entre o sujeito e objeto, teoria e prática, planejamento e ensino, ensino e pesquisa, ensino e aprendizagem; e entre os métodos, contexto cultural e os conteúdos.

No tocante à interdisciplinaridade associada ao contexto disciplinar, Piaget e Jantsch afirmam que esta seria um caminho intermediário que nos levaria à transdisciplinaridade, um estágio onde não haveria mais fronteiras entre disciplinas.

Assim, a interdisciplinaridade é uma maneira de trabalhar o conhecimento visando à reintegração de dimensões isoladas pela monodisciplinaridade. Com essa visão, Jantsch, apud Alvarenga et al. (in PHILIPPI JR.; SILVA NETO, 2011), apresenta as matrizes clássicas no pensamento interdisciplinar.

1. Multidisciplinaridade (figura 7). Variedade de disciplinas que são propostas simultaneamente, mas sem a aparência explícita das relações que podem existir entre elas. O sistema possui um só nível e com objetivos múltiplos, sem nenhuma cooperação, de acordo com esquema representado por três blocos isolados.



Figura 7 – Três blocos isolados
Fonte: Jantsch, apud Alvarenga et al., 2011.

2. Pluridisciplinaridade (figura 8). Justaposição de disciplinas diversas, situadas geralmente no mesmo nível hierárquico, cujo agrupamento promove o destaque das relações que existem entre elas. O sistema possui um só nível e com objetivos múltiplos, com cooperação (mas sem coordenação), cujo esquema é idêntico ao anterior, mas agora evidenciando as conexões entre blocos e uma retroalimentação do primeiro bloco para o terceiro.

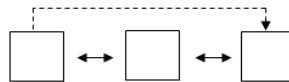


Figura 8 – Três blocos que interagem, com uma realimentação do primeiro para o terceiro
Fonte: Jantsch, apud Alvarenga et al., 2011.

3. Disciplinaridade cruzada (figura 9). Axiomática de uma só disciplina imposta a outras do mesmo nível hierárquico, o que cria uma polarização das disciplinas sobre a axiomática própria de uma disciplina. O sistema possui um só nível e com um só objetivo, sendo o controle rígido imposto pelo objetivo próprio de uma disciplina. O esquema ainda mantém os três blocos, mas agora a partir do terceiro partem elos independentes ligado ao segundo e ao primeiro.

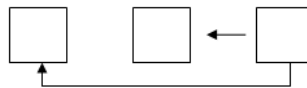


Figura 9 – Três blocos sendo que o terceiro interage com os outros dois.
Fonte: Jantsch, apud Alvarenga et al., 2011.

4. Interdisciplinaridade (figura 10). Axiomática comum de grupo de disciplinas conexas, definida em nível ou subnível hierárquico imediatamente superior, o que introduz uma noção de finalidade. O Sistema possui dois níveis e com objetivos múltiplos, com coordenação procedente do nível superior. Vale dizer, nesse sentido, que as disciplinas científicas são então coordenadas que tem em comum uma axiomática, um ponto de vista ou um objetivo. É,

portanto, de uma axiomática comum, e não de uma disciplina, a definição dessa coordenação. O esquema apresenta um bloco em um nível superior, vinculado com setas de interação nos dois sentidos ao esquema padrão dos blocos agora com interações entre elas. O bloco do topo interage com os três blocos do nível inferior.

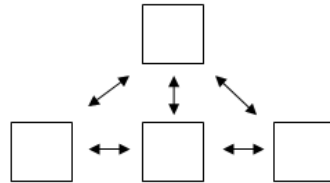


Figura 10 – Quatro blocos que interagem entre si
Fonte: Jantsch, apud Alvarenga et al., 2011.

5. Transdisciplinaridade (figura 11). Coordenação de todas as disciplinas e interdisciplinas do sistema de ensino-inovação sobre a base de uma axiomática geral (introduzida em todos os níveis a partir do nível dos objetivos). Aparição de um esquema epistemológico (*synepistemologique*). Sistemas com níveis e objetivos múltiplos e coordenação que visa a uma finalidade comum entre eles. O esquema agora é mais complexo e percebe-se um bloco no topo vinculado a subníveis de blocos com diversas interações entre eles.

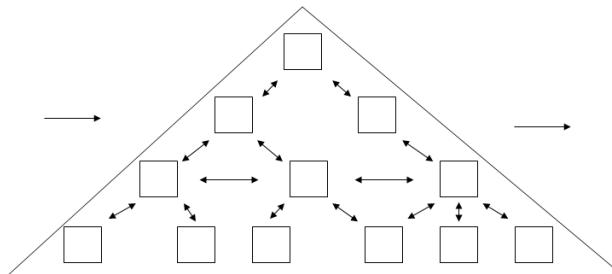


Figura 11 – Vários blocos interagindo entre si a partir do primeiro bloco
Fonte: Jantsch, apud Alvarenga et al., 2011.

Para Morin (2005), faz-se necessário enraizar o conhecimento físico, e igualmente o biológico, numa cultura, numa sociedade, numa história, numa humanidade. A partir daí cria-se a possibilidade de comunicação entre as ciências, e a ciência transdisciplinar é a que poderá desenvolver-se a partir dessas comunicações, dado que o antropossocial remete ao biológico, que remete ao físico, que remete ao antropossocial.

CAPÍTULO 3

Este capítulo tem como objetivo examinar os fundamentos, os princípios, as teorias, os métodos e as ferramentas que sendo sedimentadas, possibilitarão a emergência do Pensamento Sistêmico, encaminhando juntamente com a EA, uma nova maneira de perceber a realidade, vindo com isso a facilitar a abordagem dos complexos processos que dizem respeito aos sistemas de ensino e aprendizagem envolvidos nesta pesquisa-ação.

3.1 O velho paradigma da ciência

Segundo Japiassu (2007), o paradigma cartesiano, bem como a ciência moderna, tiveram sua origem histórica associada a Galileu Galilei que, ao introduzir a descrição matemática da natureza, reconhecendo a relevância das propriedades quantificáveis da matéria, influenciou Descartes a publicar o sua obra o “método”, cujos pressupostos, aliados às pesquisas de Newton, fundamentaram a ciência moderna. Tal encaminhamento histórico acabou por promover uma completa concepção mecanicista da natureza, onde o universo e o homem ao serem associados a uma máquina e divididos em compartimentos, só poderiam ser demonstrados e compreendidos pela razão.

Assim, o advento da ciência moderna acabou por instituir uma racionalidade científica que, promovendo o pensamento analítico, instituiu as bases da sociedade industrial amparada em princípios como:

- o reducionismo, fundamentado no pressuposto de que todas as coisas podem ser decompostas e reduzidas nos seus simples e indivisíveis elementos fundamentais;
- a análise, que propõe dividir o todo em partes mais simples e indivisíveis, explicando o todo através da simples agregação do estudo dessas partes. Nesse processo, a interação entre dois elementos parciais estudados é explicada por equações lineares em que são desprezadas as interações com os demais elementos.

- o determinismo, um princípio baseado no ensinamento de que todo fenômeno tem uma causa definida, originando com isso um fenômeno definido.
- o mecanicismo, baseado na ideia de que o universo é estruturado como uma grande máquina, tal qual o mecanismo de um relógio (um sistema fechado), que funciona como uma cadeia de eventos onde cada evento é o resultado do evento anterior.

Tal tendência tecnicista passa a ser valorizada nas universidades, em especial nos cursos de engenharia, tendo como finalidade maior objetivar a natureza seguindo os preceitos anteriormente citados que, juntamente com os apregoados no positivismo altruísta de Auguste Comte (1798-1857), baseado nos princípios das ciências exatas, vieram a fortalecer a preparação de profissionais que se distinguem pela formação utilitarista, técnica e científica.

Behrens (2008) entende que com o aprimoramento desse processo, incentivou-se a especialização de cada profissional, em que são valorizadas as especificidades de cada área, perdendo-se a consciência da complexidade ambiental e encaminhando o afastamento da realidade em toda a sua dimensão. Uma visão fragmentada que levou os professores e estudantes a processos didático-pedagógicos que se restringem à reprodução e cópia do conhecimento, reforçando-se a memorização dos conteúdos amparada no cumprimento de tarefas que, na maioria das vezes, não apresentam sentido ou significado para quem as realiza.

Para Santos (2006), este modelo de racionalidade que norteia a ciência moderna, estando amparado em grandes tradições filosóficas do conhecimento, é um modelo global, totalitário, na medida em que nega em seus pressupostos epistemológicos e regras metodológicas, a possibilidade de que os estudos da natureza interajam com o estudo da sociedade, se orientando pela quantificação da matemática e pela redução da complexidade.

3.2 Investigações a respeito do pensamento sistêmico

Contrariando a maneira de pensar analítica, emerge o Pensamento sistêmico, estimulando a verificação de que as partes de um sistema só podem ser entendidas dentro do contexto de um todo mais amplo. Para a forma de pensar analítica, a análise significa separar alguma coisa para entendê-la; para o Pensamento Sistêmico significa colocá-la num contexto de um todo mais amplo. Assim, para Andrade et al. (2006), o Pensamento Sistêmico surge como uma nova estrutura de referência conceitual ou metalinguagem em desenvolvimento, que questiona a estrutura conceitual clássica utilizada para explicar os complexos fenômenos da realidade.

Para Capra (1996), os antecedentes mais importantes do pensamento sistêmico surgiram de diversos estudos como os da Biologia orgânica, da Física quântica, da Psicologia da Gestalt e da Ecologia. Porém, são considerados os precursores imediatos do Pensamento Sistêmico os biólogos orgânicos que, procurando superar a perspectiva vitalista, afirmavam que, embora as leis da Física e da Química pudessem ser aplicadas nos estudos dos organismos vivos, a compreensão do fenômeno da vida se associava ao conceito de organização, onde suas interações eram padrões de relações imanentes na estrutura física. Segundo o autor, os biólogos orgânicos também enfatizavam que uma das características-chave dos organismos vivos é a sua natureza hierárquica: uma propriedade que todo ser vivo possui de formar estruturas multiniveladas de sistema dentro de sistemas, onde cada sistema forma um todo com relação às suas partes, enquanto este, ao mesmo tempo, é parte de um todo maior.

Tal interpretação se aproximava à dos pensadores sistêmicos da época que já distinguiam vários níveis de complexidade com diferentes leis operando em cada nível sistêmico. A tal situação chamavam de complexidade organizada, uma vez que as propriedades em cada nível estavam vinculadas a propriedades que não existiam no nível inferior. As *propriedades emergentes* que surgem em certo nível e não emergem em outro nível diferente.

3.2.1 Conceitos importantes para o Pensamento Sistêmico

Procurando colaborar para utilização adequada do termo *sistêmico*, abordaremos alguns conceitos e definições que possam facilitar o desenvolvimento dessa maneira de pensar, esclarecendo que a palavra sistema, numa perspectiva histórica, tem origem na Grécia antiga, na palavra “synhistanai”, que quer dizer “sintetizar” ou “colocar junto”.

Para Epstein (1996, p. 21) um sistema é um conjunto de objetos interligados. Esses objetos tanto podem ser físicos (por exemplo, o Sistema Solar, o conjunto de peças de uma máquina, o conjunto de órgãos do corpo humano ou o fluxo de veículos de uma cidade) como abstratos (por exemplo, uma equação matemática, os conceitos articulados de uma teoria científica ou de um sistema psicanalítico). Mas, tal como nos adverte esse autor, “a discriminação de um sistema tem carga de subjetividade”, já que os sistemas podem ser ubíquos. Dito em outras palavras, para uma determinada realidade, não é consensual (nem necessário) considerar que existe um sistema ou definir seus limites. Na prática, porém, pode ser proveitoso tratar um conjunto de objetos ou eventos como um sistema.

Kurtz dos Santos et al. (2002), com base no pensamento de Forrester e Bertalanffy, conclui que o conceito de sistema é algo de grande abrangência e de significado complexo, pois pode envolver inúmeros fatores, como seres vivos e partes físicas que formam um agrupamento de partes que operam juntas com um propósito comum.

Utilizando outras palavras, Deming (1990, p. 76) entende o sistema como uma rede de componentes interdependentes que trabalham em conjunto para tentar realizar seu objetivo. A interdependência resulta que quanto maior ela for, maior será a necessidade de comunicação e cooperação entre seus componentes.

Checkland (1981) entende o sistema como uma entidade estruturada com diferentes níveis e processos de comunicação e comando, que possui propriedades emergentes e que se ajusta a um ambiente de mudança.

Por sua vez, Capra (1996) explica que as ideias a respeito de sistema começaram a surgir frequentemente na ciência para responder a questões complexas que as concepções analíticas mecanicistas não atingiam.

Com isso analisa o conceito de sistemas ressaltando três aspectos constitutivos importantes:

- 1) Os elementos inter-relacionados de cada nível representam uma complexidade organizada concebida em termos de padrões de interação.
- 2) Os processos de comunicação e estruturação em níveis diferentes, partindo da experiência humana, compõem a organização sistêmica que envolve fluxos de atividades e o interrelacionamento de processos.
- 3) As propriedades emergentes são identificadas como interações do todo integral ou unidade complexa.

Assim, percebe-se que no conceito de sistema a noção de uma estrutura global organizada de inter-relações remete necessariamente a uma coerência interna entre os elementos que compõem os sistemas em geral. Tal coerência interna é condição fundamental para o funcionamento do sistema, seja ele físico, biológico ou social, pois todo sistema exerce funções, e estas só podem ocorrer através do entrosamento das partes que o compõem.

3.2.2 O simples, o complexo e a complexidade organizada

Para Borges (2006), a supremacia da descrição dos sistemas simples que dominou parte do século XX se viu ameaçada quando na fronteira entre a ordem e a desordem surgiram os sistemas complexos. Com isso a ciência tem buscado uma ferramenta teórica abrangente

que, além de descrever os fenômenos físicos típicos, envolva também um amplo conjunto de sistemas complexos, como, por exemplo, tornados e terremotos, aglomerados de estrelas, a bolsa de valores e outros associados às ciências da vida.

Logo, precisamos examinar dois termos aparentemente opostos: o simples e o complexo. Não é fácil conceituar “simples” e provavelmente não há um único conceito de complexidade que possa exprimir nossas posições intuitivas do que a palavra deve significar. A maioria dos conceitos filosóficos desses termos partiu da observação *física* de processos onde o comportamento macroscópico, ordenado do sistema, pode ser explicado por meio da análise do seu caótico comportamento microscópico. Um recipiente com café quente, quando observado macroscopicamente, é caracterizado por poucas variáveis como temperatura, pressão e volume. Do ponto de vista microscópico, o café é constituído por moléculas que se deslocam velozmente, vibrando, girando e se chocando entre si e com as paredes do recipiente, ou seja, é um sistema caótico (sobre caos, ver seção 3.2.4.2.1). Boltzman (apud RESNICK; HALLIDAY, 2011) mostrou através da mecânica estatística que um sistema ordenado resulta de movimentos desordenados e interligou os conceitos de ordem e caos. O que é desordenado sob uma ótica pode ser ordenado quando analisado sob outra perspectiva. Nesse caso, de acordo com Borges (2006, p. 44), apesar de diferentes, há algo de comum entre os comportamentos completamente ordenados e os completamente caóticos. *O comportamento coletivo (macroscópico) de ambos é o resultado da soma dos comportamentos individuais de seus constituintes.* Usualmente, sistemas que se comportam dessa forma são chamados “sistemas simples” (existem casos de sistemas completamente caóticos que não são simples, mas não vamos considerá-los aqui). Poderíamos utilizar o exemplo de um gás monoatômico, cujo estado de equilíbrio termodinâmico i possui uma energia interna U_i , definida pelas grandezas macroscópicas pressão, volume e temperatura. Num sistema simples, esse mesmo valor energético poderia ser comprovado por meio da análise microscópica do comportamento desordenado das moléculas desse mesmo gás, utilizando-se a mecânica estatística. Nesse caso, a soma das partes, ou seja, a soma do comportamento médio de cada molécula é igual ao comportamento médio do todo.

Porém, segundo Borges (2006), a existência de tipos específicos de interações não-lineares entre os elementos constituintes de um sistema pode originar comportamentos coletivos que não são apenas a soma dos comportamentos de suas partes. Nesses sistemas, como vimos na seção 3.2, surge propriedades ditas emergentes, próprias do conjunto. Esses sistemas são denominados “complexos”. É como se a soma do comportamento médio das moléculas, o todo, fosse diferente da simples soma do comportamento médio de cada uma das

partes. Estes sistemas são abertos a trocas de massa, energia e informação com o ambiente (condição necessária, mas não suficiente) e podem apresentar características peculiares, como:

- evoluem espontaneamente para um estado limiar entre a ordem e o caos (têm características tanto de ordem quanto de caos, mas não podem ser classificados com pertencentes a nenhuma dessas duas categorias);
- são estruturados em redes hierárquicas (redes nas quais o fluxo passa por alguns nós com muito mais frequência que em outros);
- apresentam propriedades holográficas, ou seja, uma estrutura que se repete quando observada em escalas cada vez menores.

Assim, um sistema complexo é formado por elementos que dão origem a comportamentos coletivos emergentes; uma vez que os sistemas simples não apresentam emergência, não possuem complexidade.

Contrasta com essas características o modelo reducionista proposto por Descartes, que consiste basicamente em decompor um dado problema em partes suficientemente simples a ponto de conhecermos como tratá-las e depois recompô-lo seguindo o caminho inverso.

Os sistemas complexos têm algo de holístico; de certo modo são indecomponíveis. Tal característica holística, embora não rompa inteiramente com o esquema reducionista proposto por Descartes, seguramente representa um novo paradigma para a ciência.

Já a expressão complexidade organizada como vimos, foi utilizada primeiramente pelos biólogos organísticos e adotada pelo movimento sistêmico, para caracterizar o conteúdo do conceito de sistema. Shannon e Weaver (1975) estabeleceram a complexidade organizada numa posição intermediária de um eixo em que num extremo estão os sistemas simples com poucas variáveis que interagem linearmente, e no outro, os sistemas que envolvem a complexidade desorganizada, com incontáveis variáveis com comportamento aleatório, ou seja, a complexidade organizada envolve as situações entre a ordem total e o acaso total, possuindo muitas variáveis que interagem não-linearmente.

3.2.3 A complexidade dos sistemas humanos ou de atividades humanas

Esta pesquisa-ação envolve aspectos do ensino e aprendizagem que dizem respeito à práxis da Engenharia Civil e seus efeitos no meio ambiente, ou seja, envolve organizações que em última análise são sistemas humanos ou de atividades humanas.

Com essa proposta, torna-se importante abordarmos a visão de Pidd (1998, p.121), que afirma que os “sistemas humanos envolvem ações de pessoas e isto é o que os difere de sistemas que são meramente biológicos ou construídos e projetados pelo homem”.

Logo, podemos definir os sistemas humanos como uma organização ou um conjunto de elementos e pessoas envolvidas por vínculos de natureza distinta que, estando aberto e em inter-relação permanente, tendem para um objetivo mantendo o sistema em equilíbrio (tendência homeostática). Nesse sistema as pessoas têm a liberdade para agir e estas ações têm algum significado para elas.

De acordo com Checkland (1981), quando se trata de problemas que envolvem o ser humano, ou seja, nos fenômenos sociais onde o fator humano é um dos elementos envolvidos na investigação, torna-se imprópria a aplicação do método analítico, uma vez que os indivíduos, sendo dotados de autoconsciência, possuem a liberdade de escolha gerando uma grande variedade de perspectivas, que, podendo ser adotadas, ampliam em muito o número de interpretações possíveis. Checkland (1981) ressalta um aspecto importante dos sistemas de atividades humanas. É necessário que a pessoa que esteja descrevendo ou definindo tal sistema, esteja consciente disso, pois qualquer descrição do sistema dependerá do ponto de vista do observador, uma vez que existem muitas maneiras de enxergar e descrever a mesma situação.

3.2.4 Em busca de um paradigma sistêmico

Segundo Checkland (1981), a aplicação das visões sistêmicas a uma grande multiplicidade de conteúdos, a partir de distintos pontos de vista, promoveu diversos resultados teóricos e práticos, conectados pelas respostas encontradas para esclarecer distintos fenômenos sistêmicos. Entretanto, o objetivo de manter as noções e princípios básicos para a aquisição do conhecimento em distintas áreas da atividade intelectual humana confere ao paradigma sistêmico a independência de um conteúdo disciplinar exclusivo, uma vez que este não é uma teoria geral que se distingue por aspectos epistemológicos como os do pensamento analítico.

Então, na falta de uma teoria geral, de uma reunião de princípios gerais que conduzam o processo de aplicação na construção do conhecimento e de uma definição acordada dos conceitos e interações do pensamento sistêmico, buscando um olhar amplo e integrado dos conteúdos que encaminham a fundamentação do paradigma sistêmico, elaboramos a rede sistêmica (ver seção 1.7) da figura 12 que, ao reunir as diferentes teorias sistêmicas, permitiu

o encontro com teorias, princípios, conceitos e outros aspectos teóricos, articulando-os num todo coerente, trazendo com isso os embasamentos necessários para a constituição de um novo quadro de referência conceitual para a construção do conhecimento e suas aplicações em situações que envolvem a complexidade dos fenômenos da realidade. Para tanto, orientado pelos pressupostos de Kasper (2000), entendemos que as diferentes abordagens sistêmicas da rede da figura 12 podem ser apresentadas em torno de três enfoques:

- Abordagens sistêmicas gerais: são aquelas que estão na origem do pensamento sistêmico e se referem aos princípios básicos do Pensamento Sistêmico.
- Abordagens sistêmicas aplicadas a conteúdos científicos específicos: são aquelas que validam a importância do Pensamento Sistêmico como um quadro de referência para o progresso do conhecimento em geral.
- Abordagens sistêmicas aplicadas em sistemas organizados: são as concepções voltadas para as questões e problemas relacionados com organizações que envolvem o fator humano. (KASPER, 2000).

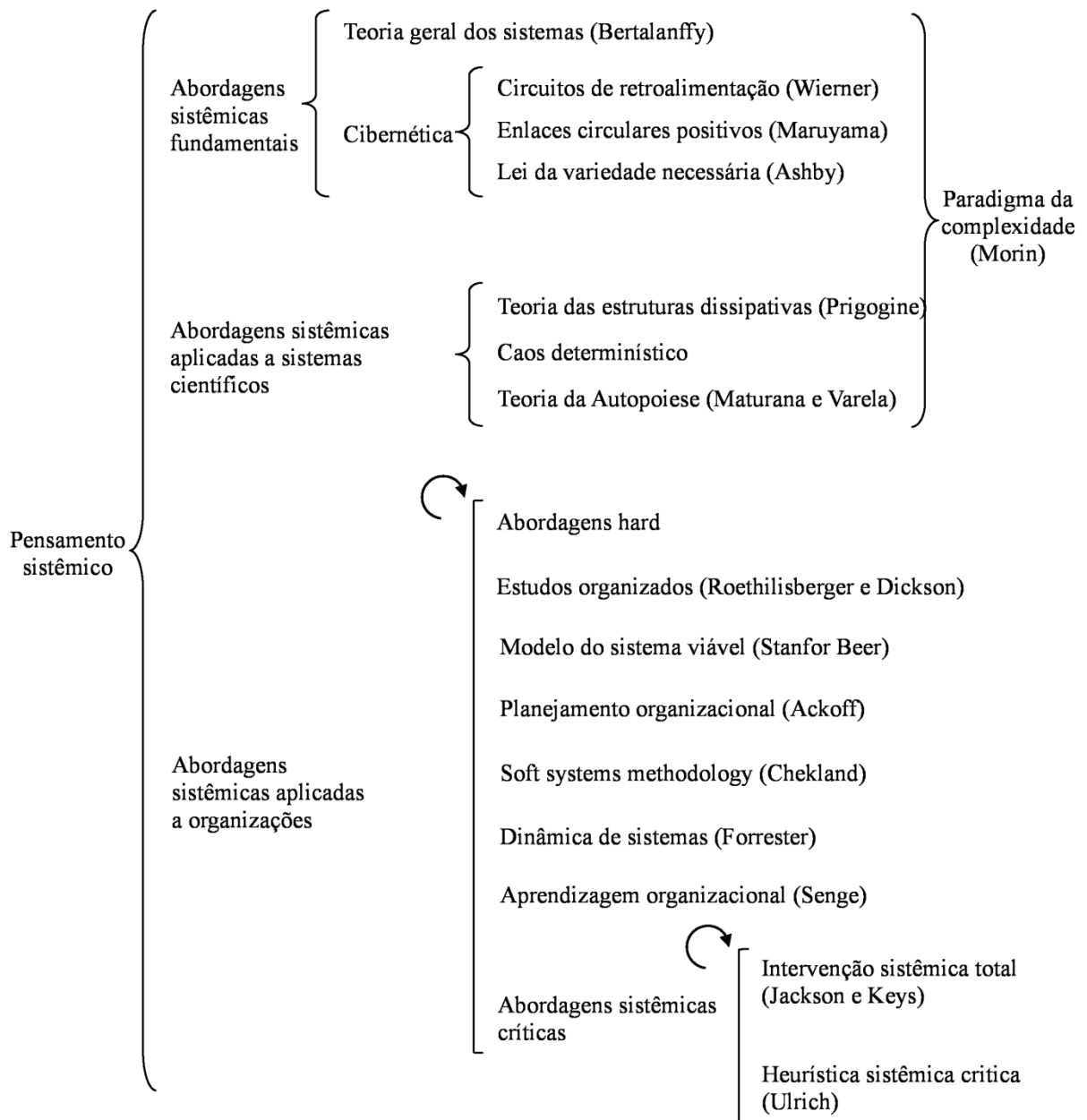


Figura 12 – Rede sistêmica do Pensamento Sistêmico
 Fonte: Autoria própria, 2015.

3.2.4.1 Abordagens sistêmicas gerais

Segundo Kasper, in Andrade et al. (2006), historicamente o movimento sistêmico se amparou nas seguintes abordagens sistêmicas gerais: a Teoria Geral dos Sistemas de Ludwig von Bertalanffy e as concepções cibernéticas de Norbert Wiener, Magoroh Maruyama e Ross Ashby.

3.2.4.1.1 Alguns aspectos da Teoria Geral dos Sistemas (TGS)

A Teoria Geral dos Sistemas foi elaborada pelo biólogo e filósofo alemão Ludwig von Bertalanffy, durante os anos 40, como um modelo operatório necessário para a compreensão de alguns fenômenos que não eram explicados pelas teorias reducionistas da ciência clássica.

Essa teoria buscava generalizar o pensamento científico para mencionar qualquer tipo de *todo*, amparado no argumento de que havia uma grande diferença entre os sistemas físicos e os biológicos. Bertalanffy (1977) entendia que os organismos vivos eram sistemas abertos a trocas de energia e informação com o meio ambiente, e que possuíam um comportamento auto-organizado não explicado pela termodinâmica clássica. Para Bertalanffy (1977), estes sistemas vivos seriam uma máquina alimentada por um combustível que se consome continuamente conservando a si própria, enquanto os sistemas físicos, não-vivos, considerados fechados, possuíam componentes internos que, ao atingir um estado de equilíbrio, seguiriam um caminho em direção a uma desordem crescente, de acordo com os preceitos da Segunda Lei da Termodinâmica.

Um dos aspectos mais importantes da TGS é a situação associada fisicamente às interações não-lineares dos componentes do sistema de natureza ordenada e organizada, que, embora realize trocas com o meio, estas interações não são funções desses intercâmbios de materiais e energia. Assim o comportamento de um elemento é dado por suas relações internas que podem ser representadas matematicamente mediante equações diferenciais de primeira ordem, onde o sistema pode produzir novas propriedades ou emergências, devido à ação simultânea entre as partes.

Com isso Bertalanffy (1977) explica o que é um sistema, suas medidas, suas ordens, suas hierarquias e sua coerência, partindo da ideia de um sistema aberto que possui um conjunto de unidades que interagem entre si e que incluem simultaneamente estrutura e função.

Conforme Pinheiro e Urbano (1994), outro aspecto da Teoria Geral dos Sistemas (TGS) está associado ao acúmulo de conhecimento da humanidade. Como sabemos o conhecimento cresceu exponencialmente, diversificando-se, especializando-se e complexificando-se de tal maneira que criou um antagonismo: o seu crescimento acelerado começou a provocar desorganização e caos. Era necessário organizar esse excesso de conhecimento, que, tendo seu apogeu com a matematização e com o método de dissecação e redução proposto pela ciência moderna, gradativamente se tornava mais especializado, mais compartimentado. Com isso, a Teoria Geral dos Sistemas nasce também com dois propósitos:

- integrar coerentemente as inúmeras parcelas do conhecimento;
- superar o método científico de dissecação analítica e de reconstrução sintética, que se mostra cada vez mais ineficiente à medida que surge o interesse por sistemas mais complexos.

Sendo uma teoria interdisciplinar, a TGS pretende transcender os problemas exclusivos de cada ciência ou ramo do saber, e proporcionar princípios e modelos gerais para todas as ciências envolvidas num processo. É uma teoria fundamentalmente totalizante, que propõe a aliança das diferentes disciplinas, suas conexões e isomorfismos, buscando maior aproximação entre as suas fronteiras e o preenchimento dos espaços de suas interseções, baseando-se na compreensão da dependência recíproca entre elas.

Um princípio que, segundo Pinheiro e Urbano (1994), a Teoria Geral dos Sistemas ressalta é a teleologia, no qual a causa é a condição necessária, mas nem sempre suficiente, para que surja o efeito. Dito em outras palavras, a relação causa-efeito não é uma relação determinística ou mecanicista, mas simplesmente probabilística, por conseguinte a causalidade deixa de ser vista como linear e passa a ser vista como circular: causas e efeitos não estão próximos no tempo e no espaço. Com isso, a teleologia pode observar o comportamento, com que finalidade se pretende alcançar objetivos.

3.2.4.1.2 Aportes cibernéticos de Norbert Wiener – *feedback*

A noção de sistema aberto mantém estreitas conexões com outra noção extremamente importante: a informação sobre os efeitos que as suas ações produzem no seu meio ambiente (ou ecossistema). Trata-se da noção de *feedback*, trazida dos estudos da cibernética¹¹ realizados por Wiener e da visão sistêmica de Bertalanffy. Tal noção, a retroação, a realimentação ou a retroalimentação, efetua um rompimento com a causalidade linear cujo efeito repercute sobre a causa modificando-a, nos apresentando a causalidade circular.

Wiener (1970) chegou à conclusão fundamental de que, para que haja controle de uma ação com um objetivo final, a informação necessária para o controle, precisará fechar um laço ou circuito fechado, de modo que os efeitos das ações ou performances do passado e do presente sejam a referência para o ajuste da conduta futura. Então, qualquer comportamento auto-regulador depende do processo de troca de informação, via realimentação ou *feedback* negativo. Nas causalidades retroativas, permitimo-nos conceber a constituição de uma causalidade interna ou endocausalidade, que, de certo modo, emancipa o organismo das

¹¹ Cibernética: termo inicialmente proposto por Wiener cujo significado original tem origem na palavra grega *kybernetes* cuja tradução significa “timoneiro” ou “homem-guia.

causalidades externas, porque, embora sofra seus efeitos, acaba se adaptando a ele. Segundo Wiener (1970), a realimentação de informação está presente em todos os processos sistêmicos de controle, cuja regulação se dá com base no comportamento efetivo e não no desempenho previsto. Afirma que os processos circulares, baseados na realimentação da informação, estão no cerne de todas as formas organizadas, tanto na natureza como na sociedade. O autor entende que as retroações são o fundamento de todos os processos organizacionais que caminham no sentido oposto da tendência ao aumento geral da entropia sugerido pelo segundo princípio da termodinâmica.

Em termos genéricos a retroação constitui, conforme mostra a figura 13, uma parte da saída do sistema (*output*) que, sob a forma de energia ou informação, volta à entrada (*input*).

Ficou convencionado que a retroação é negativa quando a sua ação é de sinal contrário ao do desvio, tendendo, portanto, a compensá-la, mantendo o sistema em equilíbrio.

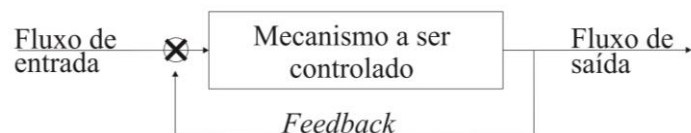


Figura 13 – Elo de retroalimentação ou *feedback*
 Fonte: Adaptado de Pidd, 1998, p. 167.

3.2.4.1.3 Aportes cibernéticos de Maruyama – a retroação positiva e os diagramas de enlace causal

Maruyama (1963) comprovou que os procedimentos de ampliação de desvios, ou as retroações positivas, são importantes para o entendimento dos fenômenos associados à realidade, especialmente quando as situações envolvem mudança e a geração de novas estruturas. Para Maruyama (1963), a propriedade fundamental envolvida na retroação positiva é a particularidade de reforçar um “chute inicial” no processo, gerando processos cumulativos de modificações que darão origem a novas formas e estruturas conforme a figura 14.

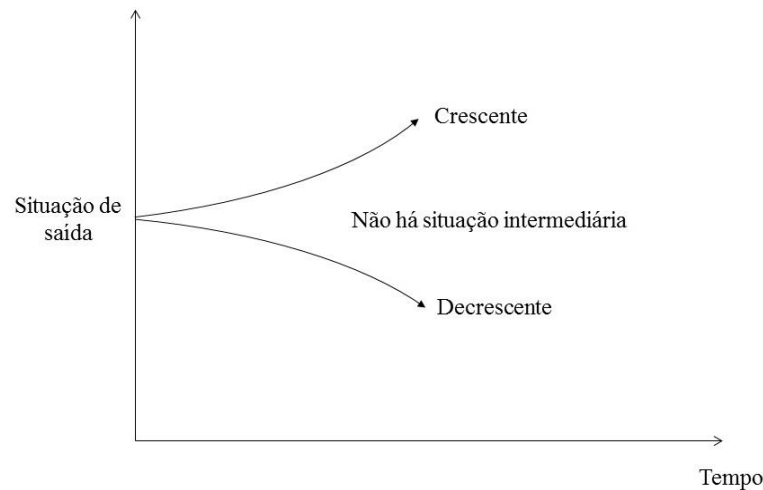


Figura 14 – Retroação positiva – aumento da divergência
 Fonte: Adaptado de Pinheiro; Urbano, 1994.

Muitos autores apresentam suas interpretações a respeito do tema. Para Kurtz dos Santos et al. (1995), o sistema de retroalimentação é positivo quando gera um processo de crescimento no qual a ação constrói um resultado que gera ainda maior ação. As informações facilitam a ação no mesmo sentido dos resultados precedentes, a retroação é positiva. Ou seja, a sua ação é de sinal igual ao do desvio e os efeitos são, por conseguinte, acumulativos ou autoamplificadores. A retroação positiva produz, pois, um comportamento divergente: a resposta é sempre a mesma, quer no sentido crescente, quer no decrescente.

Segundo Pinheiro e Urbano (1994), num ou noutro caso, uma retroação positiva descontrolada não pode conduzir senão à destruição do sistema, por explosão ou por cessação de todas as suas atividades.

Outra importante contribuição de Maruyama (1963) para o pensamento sistêmico foi a criação dos diagramas causais (ver figura 30) como uma linguagem utilizada para descrever os comportamentos dos sistemas complexos, indicando que a mudança de um elemento atua sobre ele mesmo através dos outros elementos. Ou seja, são interações de causalidade mútua.

Maruyama (1963) definiu nos diagramas causais que envolvem vários elementos e vários laços um significado para o número de sinais negativos. Se o total de sinais negativos por laço for par, trata-se de um processo de ampliação de desvios, a retroação positiva; se o número de sinais negativos for ímpar, trata-se de um processo de neutralização dos desvios, a retroação negativa.

Os processos naturais sempre envolvem vários tipos de laços positivos e negativos e o sistema será ampliador ou neutralizador de acordo com a força dos seus laços. Assim, um

processo que tem ampliação do desvio equivale a um aumento da informação obtida pelo sistema e equivale a um aumento da complexidade ou da organização sistêmica.

Outro aspecto abordado por Maruyama (1963) foram os sinais. Adotou o sinal + para indicar que a modificação no elemento que está na extremidade da seta acarreta uma variação no mesmo sentido do elemento que está na origem da seta. O sinal – indica o inverso; uma modificação no elemento que está na extremidade da seta acarreta uma variação contrária no elemento que está na extremidade da seta.

3.2.4.1.4 Aportes cibernéticos de W. R. Ashby – A Lei da Variedade Indispensável

Ashby (1970) realizou uma série de trabalhos que conduzem a auto-organização sistêmica, os quais estão divididos em três momentos. O primeiro momento diz respeito à utilização do conceito de realimentação negativa de informação proposto por Wiener, tomando-o como imprescindível para tratar situações que envolvem a estabilidade de sistemas dinâmicos, admitindo as características dos sistemas complexos como similares às capacidades adaptativas dos sistemas vivos. Num segundo momento, o trabalho de Ashby (1970) diz respeito à regulação e controle de um sistema exposto ao meio ambiente, fonte de agressões e perturbações aleatórias. A regulação nesse caso consiste em escolher, entre as respostas possíveis, aquelas que coloquem o sistema num estado que resista a essas agressões. Entende Ashby (1970) que os sistemas extremamente complexos devem ser estudados como uma caixa preta, onde o observador poderá desvendar as regras de operação estudando as entradas e as saídas do sistema, encaminhando com isso a introdução do conceito de *variedade*. Para Ashby (1970), a variedade é definida como o número de situações possíveis que o sistema pode mostrar em função da finalidade pela qual é examinado, ou seja, a complexidade do sistema passa a estar associada às saídas de interesse do observador. A lei da Variedade Indispensável, proposta por Ashby (1970), constitui uma relação entre a variedade das perturbações, das respostas e dos estados aceitáveis. Em outras palavras, uma ampla variedade nas respostas disponíveis é indispensável para garantir uma regulação de um sistema que tenda a mantê-lo num número muito limitado de estados, embora ele seja submetido a uma grande variedade de agressões do meio. Para Ashby (1970), dentro de um ambiente onde o sistema está sujeito a uma grande variedade de agressões imprevisíveis, a variedade na estrutura e nas funções do sistema é um fator primordial de autonomia. É importante ressaltar que, para Ashby (1970), os sistemas demasiadamente complexos, como os sistemas biológicos, evoluem e continuam a viver por terem mecanismos de regulação capazes de tolher a variedade originária dos distúrbios ambientais. Num terceiro momento a

contribuição de Ashby (1970) diz respeito à construção do conhecimento, ressaltando o papel fundamental do observador na descrição dos métodos sistêmicos. Ashby (1970), rejeitando o pensamento analítico de que a complexidade seja algo integral, próprio do objeto, entende que a complexidade do sistema sempre diz respeito ao observador, mesmo nos sistemas entendidos como quantitativos. A admissão do observador e a diferenciação entre objeto e sistema criam a necessidade de inserir a referência e/ou explicação das intenções de quem estuda o sistema.

3.2.4.2 Abordagens e teorias sistêmicas aplicadas a conteúdos científicos específicos

Estas abordagens descrevem sucintamente os processos de mudanças e transformações estruturais em sistemas naturais e sociais, envolvendo o fenômeno da organização e auto-organização em sistemas afastados do equilíbrio.

3.2.4.2.1 Alguns aspectos sobre Caos

Até o século XIX o universo era entendido como um imenso sistema mecânico que trabalhava de acordo com as leis de Newton, onde todos os fenômenos tinham uma causa determinada e davam origem a um efeito determinado. Com isso as interpretações da maioria dos fenômenos, inclusive os complexos, eram feitas por equações “linearizadas” e o destino de qualquer parte do sistema poderia ser determinada teoricamente, desde que as variáveis em qualquer instante fossem inteiramente conhecidas.

A partir dos meados do século XX surge a teoria dos sistemas dinâmicos, uma matemática associada à complexidade dos sistemas não-lineares, cujas soluções, normalmente impossíveis, traziam ordem ao caos, determinando importantes previsões sobre seus comportamentos. Para Capra (1996), enquanto que no paradigma mecanicista tudo que sucedia nos sistemas era definido quantitativamente, através das interações lineares de causa e efeito, nos sistemas complexos através da teoria dos sistemas dinâmicos, a análise dos fenômenos explorando as interações não lineares, provocava uma mudança de ênfase da análise quantitativa para a qualitativa. Com isso a teoria do caos determinístico pretende trabalhar com comportamentos complexos não lineares que determinam a maior parte dos fenômenos da realidade, onde os sistemas aparentemente caóticos podem originar estruturas ordenadas e padrões bem determinados.

Os primeiros estudos a respeito do assunto foram realizados por Lorentz em fenômenos físicos que, frequentemente resultavam de processos de retroalimentação de auto-reforço, as conhecidas interações circulares. Nesses sistemas, pequenas mudanças poderiam

ser amplificadas repetidamente por retroalimentação e subitamente podiam acarretar grandes efeitos, de onde emergiam novas formas de ordem. Assim os comportamentos complexos aparentemente caóticos, passaram a dar origem matematicamente a estruturas ordenadas e a uma ordem padronizada sob as mais distintas formas, indicando que poderia haver ordem sob o caos aparente.

Capra (1996), explica que a matemática aplicada a dinâmica desses sistemas complexos e caóticos utiliza os espaços de fase¹², analisando o movimento de um único ponto que descreve completamente o estado de todo o sistema. Esse movimento apresenta trajetórias chamadas de atratores e que são representadas por curvas, onde o ponto é “atraído” para uma determinada direção no espaço de fase. Segundo Capra (1996), nesses sistemas podem existir três tipos básicos de atratores: os atratores puntiformes associados a sistemas que atingem o equilíbrio estável, os atratores periódicos correspondentes a oscilações periódicas e os atratores estranhos que correspondem aos estados caóticos. Nos atratores estranhos o sistema jamais se repete de maneira que cada ciclo no espaço de fase cobre uma nova região. Observamos que todas as trajetórias que começam em certa região desviarão os atratores futuramente para uma região usualmente chamada de *bacia de atração*, sendo que determinados sistemas podem mostrar várias bacias de atração, proporcionando padrões que quase se reproduzem (ver figura 15), onde cada uma abriga seu atrator em separado.

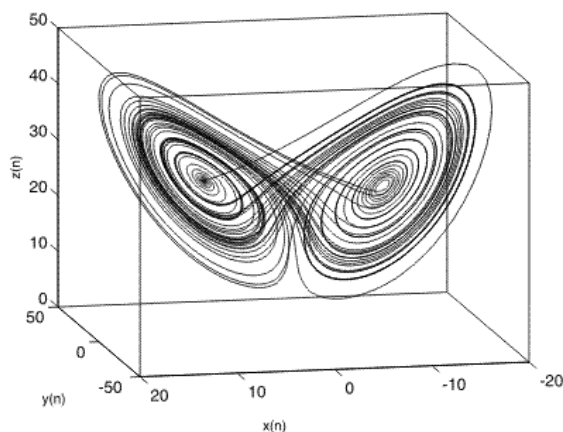


Figura 15 – Atrator de Lorenz
Fonte: Lorenz, 1963.

A figura 15 apresenta um movimento aparentemente errático, onde os pontos do espaço de fase não estão distribuídos aleatoriamente e juntos eles formam um padrão

¹² Espaço de fase é uma técnica que representa as N variáveis de um sistema num único ponto que, sendo abstrato, pode ter topologicamente de N dimensões. Neste espaço a trajetória desse ponto descreve o comportamento de todo o sistema (CAPRA, 1996, p.113).

complexo, altamente organizado. Segundo Capra (1996), os comportamento caóticos, embora sendo deterministas e padronizados, são totalmente diferentes dos movimentos aleatórios, já que possuem atratores que permitem transformar os dados aparentemente fortuitos em formas visíveis distintas. Embora seja impossível determinar por que ponto do espaço de fase a trajetória do *atrator* passará num certo instante, mesmo que o sistema esteja associado a equações deterministas, ainda assim podemos fazer previsões associadas às características qualitativas do sistema e não aos valores precisos de suas variáveis num determinado instante. Assim enquanto nos sistemas deterministas a matemática lida com quantidades e fórmulas, nos sistemas complexos ela lida com qualidades e padrões. Segundo Capra (1996), a análise qualitativa dos atratores e das bacias de atração, com a sua posterior classificação de acordo com suas características topológicas, resulta numa figura dinâmica de todo o sistema denominada *retrato de fase*. Em alguns sistemas não-lineares caóticos, pequenas modificações em certos parâmetros podem produzir drásticas mudanças nas características básicas do seu retrato de fase. Esses sistemas, sendo estruturalmente instáveis, possuem pontos críticos de *instabilidade*, denominados de “pontos de bifurcação”. Nesses pontos de evolução do sistema aparece subitamente uma ramificação (forqueamento) e o sistema evolui em uma nova direção. Kurtz dos Santos (2002, p.129) nos convida a refletir sobre o comportamento de sistemas caóticos utilizando a modelagem computacional para visualizar os estudos de Robert May (1976) que, trabalhando com modelos de crescimento populacional extremamente simples (não-lineares), comprovou que eles podiam ter um comportamento dinâmico muito complexo, o que permitiu a exploração do caos através de equação logística. Para tanto, Kurtz dos Santos (2002), apresenta a equação $p_{pró} = kp(1 - p)$ que é a equação de diferença logística, onde k representa uma taxa de crescimento. Nesse modelo abstrato, a “população” é expressa como uma fração entre zero e um, sendo que zero representa a extinção e um a maior população concebida. O parâmetro k representa a quantidade de não-linearidade. Caos aparece à medida que encontrarmos um valor de k onde as oscilações passam a assumir valores totalmente distintos. A figura 16 mostra o comportamento das oscilações da população em função do k . Nessa situação podemos observar as diferentes bifurcações que precedem o comportamento caótico da equação logística.

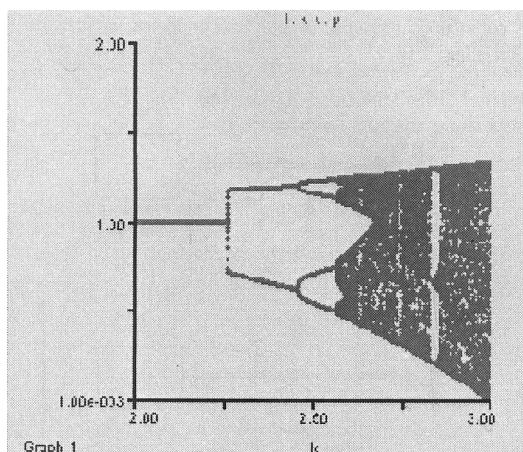


Figura 16 – Diagrama de $p \times k$ tradicionalmente encontrado na bibliografia sobre caos
 Fonte: Adaptado de Kurtz dos Santos, 2002.

Com isso podemos verificar a presença de caos uma vez que em condições iniciais quase idênticas o sistema evolui, com o passar do tempo, para resultados completamente diferentes. Esses aspectos da complexidade nos levam para uma nova visão da realidade e apontam para um novo princípio da ordem na ciência.

3.2.4.2.2 Aportes de Ilya Prigogine – auto-organização e complexidade

Partindo da premissa de que os sistemas biológicos são abertos, Ilya Prigogine, em meados da década de 40, procurando explicar o comportamento dos sistemas afastados do equilíbrio (regime não-linear), formulou a teoria das *estruturas dissipativas*. Para tanto ampliou os estudos da termodinâmica que explicava apenas o comportamento dos sistemas que buscavam atingir o equilíbrio térmico, aumentando a sua entropia¹³ até perderem a capacidade de realizar trabalho. Para tanto, Prigogine estudou processos em sistemas vivos que, sendo considerados abertos, se caracterizavam por possuir mudanças contínuas no seu metabolismo, envolvendo milhares de reações químicas que os mantinham afastados do equilíbrio.

Prigogine (1996) percebeu que nesses sistemas abertos, à medida que se afastavam do equilíbrio e embora existisse um aumento da sua entropia, estes não tendiam para um estado de energia mínima, uma vez que recebendo energia do meio podiam manter a sua estrutura constante e até mesmo aumentar a sua organização desenvolvendo complexidades sempre crescentes. Partindo desta observação desenvolveu um tratamento matemático geral para

¹³ Entropia é um princípio da Termodinâmica que afirma que todos os *sistemas* tendem para um estado de maior desordem com o passar do tempo, uma vez que estes perdem a energia capaz de realizar trabalho. Logo, o conceito de entropia nos comprova a assimetria da natureza, cuja tendência dos seus processos é ir em direção ao caos e à dispersão de energia.

sistemas fora do equilíbrio, percebendo que o não-equilíbrio pode ser uma fonte de ordem, desde que o fluxo de entropia negativa de fora compense de certa forma a produção interna de entropia. Logo, perto do equilíbrio termodinâmico, a destruição da ordem prevaleceria, porém à medida que o sistema se afasta do equilíbrio, haveria a criação de uma nova ordem, desde que o sistema obedecesse a leis não-lineares, aumentando a complexidade e o grau de não linearidade das equações matemáticas que descrevem as suas interações.

Uma situação crucial deste estudo está relacionada com o aumento do fluxo energético e com o afastamento do equilíbrio termodinâmico que Prigogine (1996) denominou pontos de bifurcação. Nessa situação, como vimos no caos, novas estruturas dissipativas mais complexas pode emergir e, não se sujeitando as equações determinísticas anteriores, induziria o sistema a seguir caminhos diferentes, escolhendo entre várias novas ramificações que resultando em diferentes processos internos, modificariam o seu padrão anterior.

Segundo Capra, a modificação conceitual subentendida na teoria de Prigogine abrange várias ideias que estão profundamente relacionadas. Para o autor,

a descrição das *estruturas dissipativas* exige um formalismo matemático não linear, capaz de modelar múltiplos laços de realimentação interligados. Nos organismos vivos esses laços catalíticos (isto é, processos químicos irreversíveis) levam a instabilidades por meio da realimentação de auto-amplificação repetida. Quando uma *estrutura dissipativa* atinge um ponto de instabilidade ou uma bifurcação, o comportamento do sistema é totalmente imprevisível e novas estruturas de ordem e complexidade mais altas podem emergir espontaneamente. Desse modo, a auto-organização, a emergência espontânea de ordem, resulta de efeitos combinados do não equilíbrio, da irreversibilidade, dos laços de realimentação e da instabilidade. (CAPRA, 1996, p. 157).

Logo, temos a ordem por flutuação que nos fala a respeito da história do sistema, já que somente uma transformação da estrutura possibilitará visualizar o caminho percorrido pelo sistema com o passar do tempo e se esse foi o melhor caminho que o mesmo poderia ter percorrido. Como afirma Prigogine (1996), é preciso existir flutuação, pois um sistema em equilíbrio não possui e nem pode ter história.

A importância da instabilidade como elemento principal expressa que, embora se reconheçam as condições iniciais do processo, o futuro continuará imprevisível. Daí percebe-se que o sistema é composto de subsistemas que, dentro do seu grau de autonomia, através das interações entre seus elementos, poderá dar início à criação e a novidade, partindo de um estado inicial, passando por bifurcações, até alcançar um novo estado de ordem.

Nessa nova percepção das estruturas dissipativas, a ordem e a desordem estariam intimamente ligadas, e não haveria uma contradição à segunda Lei da Termodinâmica. A entropia total continua crescendo, uma vez que o sistema mantém ou aumenta a sua ordem

provocando uma maior desordem do meio. Nesse caso, o sistema retira do meio a energia de ordem mais alta e entrega para este meio, energia na forma de estruturas de ordem mais baixa.

3.2.4.2.3 Aportes de Maturana e Varela – *Autopoiese*

A *autopoiese* é uma teoria desenvolvida por Maturana e Varela (2005) com o propósito de estudar as propriedades que diferenciam um sistema vivo de um sistema não-vivo. Nesse caso, os autores estudaram as interações celulares de auto-organização, procurando respostas para questões relacionadas ao sistema nervoso, linguagem e processos cognitivos, sendo que estas foram posteriormente utilizadas por outros autores na tentativa de esclarecer o comportamento dos sistemas sociais. Para tanto acreditavam que o sucesso de uma teoria dos sistemas vivos residia em três descrições:

A *organização*, entendida como a conformação de relações entre os elementos de um sistema que produzem as características fundamentais desse sistema.

A *estrutura*, definida como a inclusão física do padrão de organização real de um sistema. Envolve os elementos da organização e as interações físicas entre estes.

O *processo*, que é explicado a partir do entendimento de que um mesmo padrão de organização pode ser agregado em diferentes estruturas. No caso específico da autopoiese, o processo é a atividade envolvida na continuada inclusão do padrão da vida na estrutura de um ser vivo. Ou seja, o processo é a ligação de padrão com estrutura.

Maturana e Varela (2005) apoiaram sua teoria nos estudos de uma organização *autopoiética* definida como uma rede viva que produz a si mesma continuamente, mediante um modelo específico de organização que possui a inseparabilidade do ser e do fazer. Em suas pesquisas, partindo da estrutura de uma célula, estudaram as interações entre os seus elementos que, para os autores, repercutem os mecanismos básicos da *autopoiese* de uma forma muito elaborada. Notaram que a complexidade amplia vertiginosamente quando procuramos imaginar tais elementos interligados em rede, abarcando milhares de processos metabólicos pertinentes a um conjunto de reações dinâmicas realizadas por vários elos de retroalimentação, numa organização circular onde cada elemento contribui para produzir e transformar outros elementos do sistema. Para Maturana e Varela (2005), tal processo ocorre num contexto organizacionalmente fechado, uma vez que a organização e o comportamento dos sistemas vivos não são impostos pelo meio ambiente e sim estabelecidos pelo próprio sistema.

Em seus estudos, os autores abordaram aspectos dos sistemas vivos como o sistema nervoso, o acoplamento estrutural e a cognição.

Estudando a organização do sistema nervoso, Maturana e Varela (2005) afirmam que o mesmo é uma clausura operacional (sistema fechado), constituído de maneira que quaisquer que sejam suas modificações, elas geram outras modificações dentro dele próprio, uma vez que este sistema não possui entradas nem saídas. Todos os processos que ocorrem no sistema nervoso são dinâmicas internas a ele próprio, fruto das alterações de estado dos neurônios que organizando uma rede fechada, não percebem o que está dentro e fora do sistema. Assim, Maturana e Varela (2005) definem a organização da vida a partir de uma rede *autopoiética* cuja ênfase principal está no fechamento organizacional deste padrão.

Um conceito fundamental que explica o processo anterior é o de *acoplamento estrutural*. Maturana e Varela (2005) entendem que uma unidade *autopoiética* tem plasticidade estrutural que pode modificar acoplada as mudanças do meio permanecendo a sua *organização* inalterada. Nesse caso, embora o observador perceba as mudanças estruturais que acontecem em vários pontos de acoplamento estrutural com o meio, ninguém pode dirigir nem especificar quais as perturbações que vão ser as escolhidas. Quem identifica isso é o próprio sistema *autopoiético*, realizando contínuas mudanças estruturais que dizem respeito a sua dinâmica interna, determinando como estabelecer a sua história e seu próprio mundo. Embora um observador enxergue a mudança estrutural do sistema devido ao acoplamento com o meio, estas irão ocorrer unicamente a cargo da sua dinâmica interna. Nada do ambiente determina o que vai acontecer na estrutura de um sistema vivo, no seu comportamento. O ambiente apenas catalisa processos, e o que ocorre depende da estrutura do sujeito em sua relação com o objeto.

Quanto aos aspectos da cognição, os autores entendem este processo como aquele que garante a autogeração e a autopropetuação dos seres vivos. A conservação da vida diz respeito a processos que integram continuamente um padrão de organização *autopoiético*, numa estrutura que utiliza a cognição como um processo de conhecer. Maturana e Varela (2005) entendem a cognição como a capacidade que os sistemas *autopoiéticos* possuem de, através do seu acoplamento estrutural, detectar as alterações no meio ambiente mediante a emoção, uma ação que no domínio humano abrange o pensamento, a linguagem e a consciência sendo que a linguagem deve ser entendida como um acoplamento estrutural especial. Nesse caso a coerência e a estabilização da sociedade como unidade ocorre mediante mecanismos que tornam reais e se ampliam através da linguagem. Assim, podemos imaginar que cada ser vivo em seu acoplamento estrutural com o meio, promove suas convenientes mudanças estruturais sendo que cada uma delas obedece a um ato cognitivo que, sendo autônomo do sistema

nervoso, está coligado ao seu processo de aprendizado e desenvolvimento. Essa nova coerência operacional é o que experimentamos como consciência e como nossa mente.

Capra (1996) entende que enquanto Maturana e Varela descrevem o padrão da vida através de uma rede *autopoietica* onde é enfatizado o fechamento organizacional, Prigogine descreve a estrutura de um sistema vivo como uma estrutura dissipativa, enfatizando a abertura dessa estrutura para o fluxo de matéria e energia. Com isso, um sistema vivo é, ao mesmo tempo, aberto e fechado – estruturalmente aberto, mas organizacionalmente fechado.

3.2.4.3 O Pensamento Sistêmico aplicado a organizações

Tendo como base os aspectos da rede sistêmica da figura 12, apresentaremos primeiramente, norteados por Andrade et al. (2006), um resumo das seis abordagens das concepções sistêmicas que dizem respeito ao crescimento da complexidade nas organizações humanas. Num segundo momento, apresentaremos de forma mais detalhada as abordagens da Dinâmica de Sistemas e das Cinco Disciplinas, uma vez que estas são teorias sistêmicas que fundamentam metodologicamente esta tese.

3.2.4.3.1 Abordagens *Hard*

De acordo com Kasper (in ANDRADE et al., 2006), precedendo as abordagens do Pensamento Sistêmico na administração de organizações humanas, existiam alguns estudos que buscavam, através da prática da engenharia operar, projetar e otimizar a complexidade nas organizações. Essas abordagens, conhecidas como as abordagens *hard*, originaram-se, primordialmente, de estudos voltados para operações militares e envolviam questões estratégicas e táticas operacionais apoiadas em métodos quantitativos, entre as quais podemos citar a Engenharia de Sistemas, a Análise de Sistemas e a Pesquisa Operacional. Essas abordagens têm como similaridade a presunção de que os problemas de maneira geral podem ter solução, desde que se estabeleça um objetivo, e que se descubra, entre várias hipóteses, aquela que irá satisfazer plenamente o objetivo adotado. Essas teorias podem ser aplicáveis naquelas situações em que existe confluência de opiniões sobre determinada realidade e consenso naquilo que foi deliberado. Outro aspecto que caracteriza a metodologia *hard* está ligado à incapacidade destas em lidar com a presença humana, já que é um processo seletivo que, ao desconsiderar os aspectos qualitativos e investir na racionalidade da engenharia, força uma quantificação que venha a se adaptar aos objetivos do modelo. Assim, embora estas abordagens envolvam aspectos sistêmicos, são desprovidas de teorias que possam contribuir para o desenvolvimento do Pensamento Sistêmico.

3.2.4.3.2 A organização como sistema aberto

Nestes estudos, Katz e Kahn, amparados em teorias que analisavam o comportamento administrativo, passam a conceber as organizações como sistemas abertos, fazendo uma analogia com organismos e ressaltando a importância do meio ambiente nos diferentes processos. Nesse caso ratificam a importância dos processos de importação, transformação e exportação de energia inter-relacionada a produtos e serviços como fonte de continuidade das organizações. O fundamento dessa teoria é que a organização tem objetivos arrolados com a função que desempenha no ambiente e conecta os resultados dos seus processos internos circulares de transformação com a restauração do seu fluxo energético central. Ou seja, a saída se manifesta como a energia que reativa o padrão do sistema.

3.2.4.3.3 Abordagem sistêmica para o planejamento organizacional

Essa abordagem teve como seu criador Russel Ackoff, e propõe uma mudança de visão da realidade onde o gestor do sistema deverá se deparar com a forma tradicional de “resolução de problemas” de uma maneira diferente, enfrentando os “sistemas de problemas”. Para o autor os “problemas” inseridos em “todos problemáticos” não podem ser tratados isoladamente. Ackoff entende que a maneira mais adequada de enfrentar problemas organizacionais é o tratamento sistêmico, sendo este uma propriedade fundamental do planejamento.

3.2.4.3.4 A Metodologia *Soft Systems* (SSM)

Foi desenvolvida por Peter Checkland na Universidade de Lancaster nos anos 70, tendo como objetivo a interferência em problemas que envolvem as atividades humanas previamente estipuladas envolvidas com a administração de organizações sociais, onde prevalecem aspectos de explicação subjetiva. Essa abordagem surge como uma alternativa *soft* às abordagens tradicionais derivadas da engenharia (abordagens *Hard*) que admitem problemas objetivamente estruturados. Trabalha com situações onde a dificuldade de demarcação de objetivos existe e onde as medidas de desempenhos possíveis são em grande parte de natureza qualitativa envolvendo resoluções com alto grau de incerteza.

Segundo Andrade et al. (2006), quatro ideias amparam a SSM: o conceito de atividades humanas, a visão de mundo dos envolvidos com o problema, a concepção do processo de aprendizado contínuo e o modelo do sistema de atividades humanas dando suporte a sistemas de informação. A principal aplicação da SSM é aprimorar as condições humanas problemáticas, estimulando a construção de conhecimentos, através da aprendizagem contínua.

3.2.4.3.5 Modelo do Sistema Viável (MSV)

O MSV, desenvolvido por Stanford Beer, embasado nos estudos de Ashby, parte do pressuposto de que o controle e a regulação de sistemas organizacionais envolvem o planejar, organizar, comandar e controlar através do *feedback* de informações, levando em consideração os lapsos de tempo característicos da retroalimentação. Nessa abordagem, o sistema usa a metáfora de um organismo e que possui um cérebro como seu regulador. Para o autor, um sistema só se viabiliza se estiver apto a responder às modificações do seu meio, mesmo que estas não tenham sido percebidas. Nesse caso, os sistemas somente serão capazes de responder ao seu meio se tiverem a capacidade de reunir tanta variedade quanto for preciso para se deparar com as ameaças a sua sobrevivência. Com isso, uma organização deve ser construída presumindo em sua estrutura interna, processos que mantenham o sistema social constantemente atualizado no que diz respeito às possíveis ações que venham a se defrontar com as prováveis modificações no ambiente.

3.2.4.3.6 Pensamento Sistêmico Crítico

O Pensamento Sistêmico Crítico é uma tendência contemporânea a ser adotada pelas organizações humanas, visando incorporar conceitos e princípios que, embasados em fundamentos como os da Teoria Crítica proposta por Habermas e outros, permitam dar uma maior amplitude nas aplicações do Pensamento Sistêmico em sistemas complexos da sociedade. Para tanto envolve diferentes pontos de vista de diversos indivíduos, podendo com isso construir uma fundamentação sociológica aos processos que envolvem a aplicação do Pensamento Sistêmico em organizações. Para tanto, Jackson e Keys elaboraram um sistema de metodologias sistêmicas, entendendo que diferentes métodos aplicados para solução de problemas não disputam pelas mesmas situações problemáticas. Esses pressupostos deram origem a formulações que levaram a uma abordagem geral de diversas metodologias como a Intervenção Sistêmica Total (TSI) e também a outra metodologia importante, a Heurística Sistêmica Crítica proposta por Ulrich, que foca a visão crítica que deve ser adotada na elaboração e implantação de projetos em sistemas sociais.

3.2.4.3.7 A Dinâmica de Sistemas

O principal mentor das ideias da Dinâmica de Sistemas foi Jay Forrester, com o livro *Industrial Dynamics* (1961), que, num primeiro momento, voltado para a gestão de sistemas industriais complexos, pretendeu colaborar com os gerentes e tomadores de decisão a verem os resultados de suas ações através de modelos quantitativos, uma vez que entendia a

dificuldade da mente humana em construir e analisar modelos dinâmicos. Assim, seus estudos passaram a ser aplicados em diferentes áreas que envolviam a modelagem de sistemas complexos, inclusive os modelos da estrutura de um sistema humano.

Para tanto, Forrester (1990) desenvolveu um conjunto de ferramentas que, envolvendo modelos de simulações, se tornaram conhecidas como a Dinâmica de Sistemas que pode ser abordada das seguintes maneiras. A primeira abordagem provê uma das formas de visualizar sistemas humanos, ressaltando a importância de certas características estruturais do sistema, tais como a *retroação*. A segunda abordagem é utilizar as características estruturais para desenvolver um modelo de simulação dos sistemas complexos. Na última abordagem, podemos utilizar os modelos de simulação para auxiliar na busca das melhores formas de operar os sistemas demonstrando as suas consequências.

Numa análise mais ampla, a proposta da Dinâmica de Sistemas é utilizar os modelos como ferramentas do Pensamento Sistêmico, partindo do pressuposto de que o comportamento dinâmico dos sistemas complexos resulta de enlaces entre estruturas causais, constituídos de retroalimentações positivas e negativas que ocorrem através de fluxos de energia e informações.

Para a Dinâmica dos Sistemas, a complexidade de um sistema envolve três aspectos a considerar: o número de estados (níveis), o número de ciclos de retroalimentação e a natureza não-linear das interações entre os ciclos de retroalimentação.

Assim, o objetivo principal dos modelos da dinâmica de sistemas é colaborar com os processos mentais, tornando explícitos seus pressupostos, facilitando a comunicação ao fornecer formulações concretas que tornam menos nebulosa a imagem mental ao lidarmos com os comportamentos dos dinâmicos e complexos fenômenos que envolvem a realidade.

Forrester (1990) descreve a estrutura dos sistemas complexos constituída pelos seguintes aspectos:

- fronteira fechada no contorno do sistema, definida pelo padrão dos ciclos de retroalimentação que interagem;
- ciclos de retroalimentação que, como estrutura básica, causam o desempenho dinâmico do sistema;
- variável de nível representando a integração que varia em função dos fluxos de entrada e saída determinadas pelas taxas;
- variável de taxa associada às equações de movimento das variáveis que levam os níveis a aumentar, diminuir ou permanecer constantes;

- estudo da equação associada às taxas, que exige a análise de objetivos determinados, das situações observadas, das diferenças entre as situações observadas e objetivos, que juntas devem fundamentar as próximas ações a serem tomadas.

Segundo Kurtz dos Santos (1995, p. 61), Forrester (1990) considera os níveis (estados) e as taxas (ações) os dois tipos fundamentais de variáveis suficientes para representar um elo de retroalimentação. Por sua vez as variáveis de nível acumulam os fluxos descritos pelas variáveis de taxa, sendo que as equações de nível realizam o processo de integração. Nesse processo as variáveis de taxa dizem quão rápidas as variáveis de nível estão mudando, ou seja, a sua variação por unidade de tempo.

Segundo Forrester (1990), as equações de taxa expressam uma maneira de descrever a ação num sistema. Nenhuma taxa pode ser função de outras taxas no mesmo momento, ou seja, taxas não atuam diretamente em outras taxas. Por consequência, o valor de uma taxa seria dependente unicamente de constantes e dos valores das variáveis de nível naquele momento.

Forrester, apud Kurtz dos Santos (1995), conclui que a classificação de um sistema aberto não é intrínseca ao conjunto particular das partes, mas depende da ótica do observador em definir o propósito do sistema e entende as vantagens de representar os modelos na forma de diagramas de fluxo e equações matemáticas de simulação da seguinte maneira:

- permite definir os modelos em torno da sua proposta, fixando conteúdos e testando os pressupostos adotados e a sua coerência com o comportamento observado;
- elicia pressupostos presentes num modelo mental;
- torna menos nebuloso o modelo mental, facilitando a sua comunicação;
- quando se trata de modelos dinâmicos, facilita a sua manipulação, impedindo que sejam tiradas conclusões a partir de análises passadas, incoerentes com os pressupostos referentes à estrutura do sistema.

Quanto ao diagrama de fluxo este é obtido da transformação do diagrama causal do sistema (ver apêndice 2), tendo como objetivo principal representar os relacionamentos entre níveis e taxas que formam um modelo dinâmico. Como a Dinâmica de Sistemas trabalha com uma metáfora de fluxos de fluidos, isso é enfatizado pelos símbolos usados que mostram os níveis das acumulações dentro de sistemas representados por tanques e fluxos e taxas controlados por uma torneira ou válvula.

Ao desenvolver a Dinâmica de Sistemas, Forrester pretendia que o modelador construísse o diagrama de fluxo e utilizasse esse processo no desenvolvimento de um conjunto de equações que pudessem simular o sistema. O diagrama de fluxo com os símbolos

principais sugeridos por Forrester (1990) tanques para os níveis, torneiras para as taxas e círculos para os conversores, bem como o comportamento gráfico resultante do elo de retroalimentação positivo são apresentados na figura 17.

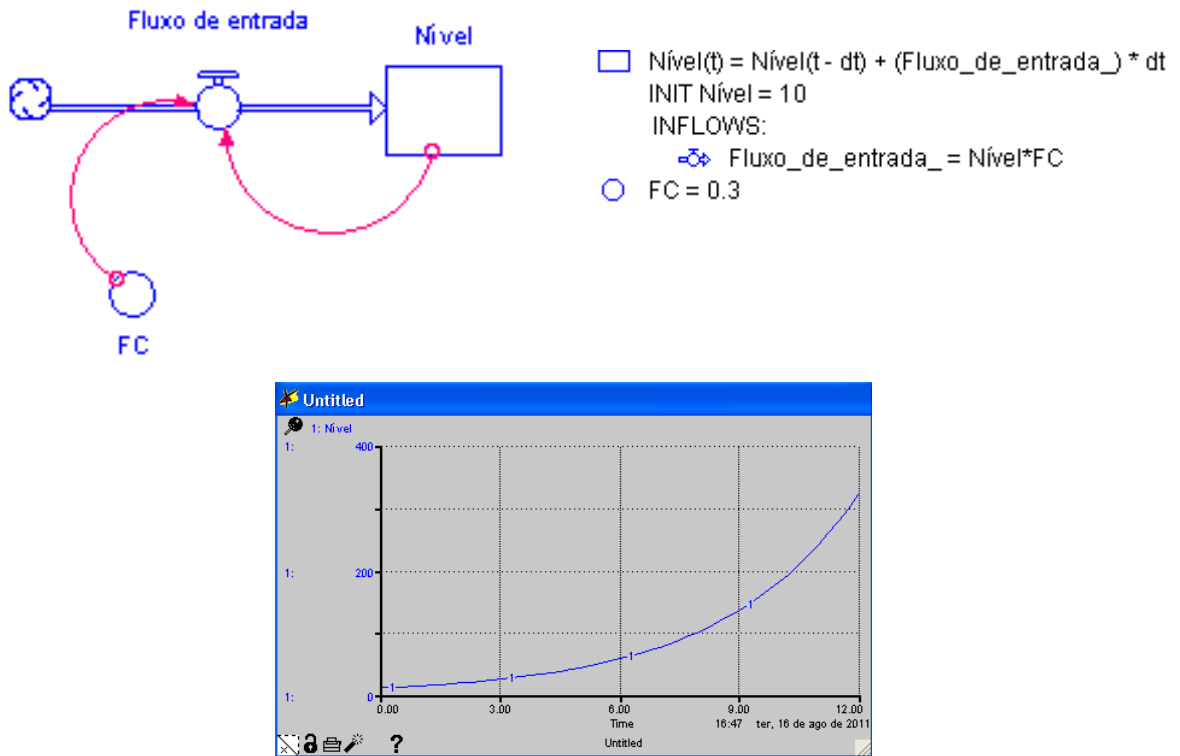


Figura 17 – Estrutura STELLA para crescimento exponencial
Fonte: Autoria própria, 2015.

Na figura 17, para representar o diagrama de fluxo proposto por Forrester, realizamos a transformação da modelagem qualitativa em modelagem computadorizada, utilizando o *software* STELLA que automatiza o desenho do sistema na tela de um computador e o coloca um passo adiante, via interface gráfica com o usuário.

Nessa situação entendemos que a avaliação do sucesso dos modelos passa pela capacidade que estes possuem em esclarecer o conhecimento e intuições que temos sobre os sistemas. No caso da dinâmica de sistemas, quando um diagrama causal é transformado num diagrama de fluxo e equações matemáticas, onde seja possível determinar o comportamento e os padrões temporais das variáveis envolvidas em um determinado processo, de maneira que os seus resultados obtidos possam ser estudados e comparados com modelos mentais de outros agentes dentro de uma realidade estudada, podemos confiar nos resultados obtidos com esse modelo.

3.2.4.3.8 O Pensamento Sistêmico e a Aprendizagem Organizacional

Atualmente o tecnicismo que domina o ensino de Engenharia acaba por transmitir, para diferentes organizações, uma dificuldade de percepção que só vêm a reforçar as crises ecológicas, sociais, psicológicas e espirituais que vivenciamos. Como as origens dessas crises são crenças profundamente arraigadas, acreditam Senge et al. (1995) que estes não são simplesmente problemas a serem resolvidos, e sim padrões de pensamento que precisam ser modificados. Senge et al. (1995) entendem que não é fácil modificar o padrão de pensamento analítico e desenvolver modificações nesses padrões, requer uma nova maneira de pensar, sentir e ser. Ou seja, modificar padrões de pensamento demanda aprimorar a maneira como as pessoas pensam e interagem, formulando processos que testam continuamente suas experiências, convertendo essa experiência em conhecimentos que permitem a todos no sistema chegarem ao um propósito maior previamente estabelecido. Senge et al. (2005) apresentam uma teoria de base que propõe pensar e aprender, através da ativação dos ciclos de aprendizagem apresentados na figura 18.

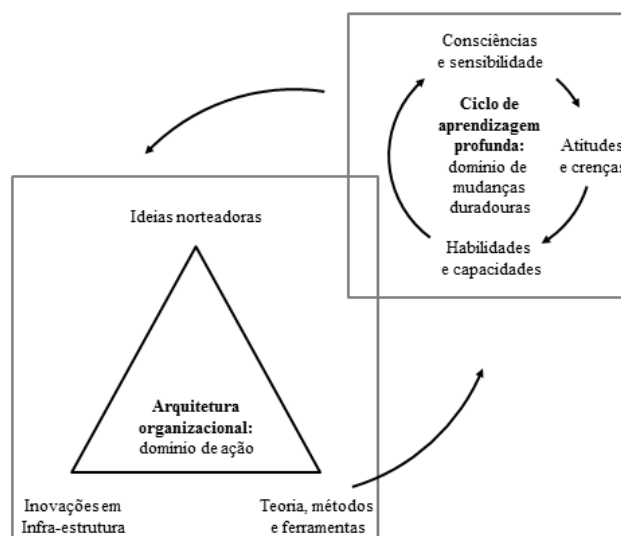


Figura 18 – Ciclo do aprendizado profundo
Fonte: Adaptado de Senge et al., 2005.

Segundo Senge et al. (2005, p. 28), no “ciclo de aprendizagem profunda” encontramos a capacidade inter-relacionada para mudança em indivíduos e mudanças coletivas. Neste ciclo, para que ocorra a aprendizagem profunda é necessário o surgimento de novas habilidades e capacidades, novas consciências e sensibilidades e novas atitudes e crenças de maneira que estas reforcem umas às outras. No processo, quando são desenvolvidas as habilidades e capacidades, as pessoas modificam as suas maneiras de fazer e compreender, e à

medida que vão sendo desenvolvidas, constroem novas maneiras de perceber e sentir o mundo gerando modificações que encaminharão novas atitudes e crenças. Mudanças no ciclo da aprendizagem podem ser intensas, mas são difíceis de iniciar. Segundo Senge et al. (2005), esta é a razão da existência do domínio de ação, ou seja, estimular o processo de aprendizagem profunda.

No domínio da ação, primeiramente é necessário motivar o indivíduo a se dedicar ao aprofundamento que interessa e se comprometer com esta causa. A partir desse momento devem ser feitas as reflexões a respeito do padrão de comportamento que se quer modificar, para então lançar mão de conceituações com a finalidade de tornar explícitas as forças sistêmicas que interagem no processo. Para tanto, o grupo aprendente e o professor, em qualquer nível, podem agir articulando ideias norteadoras, criando inovações em infraestrutura e instituindo práticas regulares através de novos métodos e técnicas, embasados num conjunto consistente de teorias subjacentes sobre as capacidades humanas.

A respeito dos elementos da arquitetura organizacional, Senge et al. (1995) apresentam algumas considerações que seguem:

1) Ideias norteadoras: um princípio ou conjunto de princípios que consideramos significativos como fonte filosófica de orientação e direcionamento dentro do contexto do sistema que aprende. Podem ser os valores, a missão e o propósito, que inspiram e norteiam as ações da organização. A seguir apresentamos três conceitos norteadores, que sendo oriundas da filosofia sistêmica, devem orientar uma organização que aprende.

a) A prioridade do todo: enfatiza que o comportamento de um sistema não depende das ações de cada parte, mas de como esta interage com as demais, tendo consciência de que cada sistema pertence a sistemas maiores.

b) O caráter comunitário: lembra que o sujeito é fruto de uma sociedade, de uma cultura e dos demais sujeitos com suas interações passadas e presentes.

c) A linguagem como processo gerador: estabelece que a realidade se integre a nossa linguagem e ações onde deve ser valorizado o papel gerador da tradição e da cultura.

2) Teorias, métodos e ferramentas: para ensinar uma nova maneira de pensar, não podemos ensinar no sentido tradicional, mas sim fornecendo ferramentas que permitam ao aprendiz desenvolver habilidades e capacidades que encaminharão novos pensamentos. Nesse sentido, as cinco disciplinas da aprendizagem colaboram com esta proposta.

3) Inovações em infraestrutura: são as maneiras pelas quais a organização que aprende oferece recursos para amparar as pessoas no trabalho, dando credibilidade e suporte crítico para alcançar o objetivo maior que é a aprendizagem, disponibilizando aquilo que a organização que aprende

já possui, evitando o consumo de recursos desnecessários ou tempo dos indivíduos.

Resumindo, as experiências dentro de um contexto podem mudar as crenças e as atitudes de alguém, desde que haja um espaço onde sejam apresentadas as ideias norteadoras, que, amparadas por teorias, métodos e ferramentas, encaminham novas habilidades e capacidades para desenvolver estas experiências. Senge et al. (1995) explicam que o foco fundamental de atividade está no triângulo, mas o núcleo de mudança sustentável está no círculo, uma vez que estes círculos realimentam-se mutuamente. Nesse caso, as Cinco Disciplinas fornecem as teorias, métodos e ferramentas que ativam os ciclos, estimulando capacidades e habilidades que fornecem dinâmicas aos elementos que estruturam o duplo enlace de retroalimentação, fomentando a realização das mudanças exigidas pela aprendizagem sistêmica.

3.2.4.3.8.1 As Cinco Disciplinas

Senge et al. (2005) entendem que, para um determinado sistema poder aprender, é necessário ultrapassar as dificuldades de aprendizagem, desenvolvendo novas capacidades e modificações de mentalidade individual e coletiva. Para tanto, é preciso dominar uma série de teorias, métodos e ferramentas que acionem e conservem o ciclo do aprendizado profundo, fundamentados em alguma teoria ou entendimento do mundo e que, quando colocados em prática, construirão o aprendizado. Nesse sentido, o trabalho com as Cinco Disciplinas desempenha esse papel. Segundo Andrade et al. (2006, p. 36), Senge usa o significado do termo disciplina em dois sentidos: “o primeiro é como um conjunto de conhecimentos sistematizados úteis para algum propósito. O segundo é o de disciplina como habilidades que se desenvolvem pela prática”.

Assim, uma disciplina é uma possibilidade de desenvolvimento para o alcance de determinadas habilidades ou capacidades. Sendo disciplinas pessoais, cada uma diz respeito a nossa forma de pensar, ao que verdadeiramente desejamos, e como nos inter-relacionamos e aprendemos uns com os outros.

Segundo Senge (2005), as Cinco Disciplinas são um sistema ideal para promover a aprendizagem. Muito embora as disciplinas sejam estudadas individualmente, cada uma delas será de fundamental importância para a aplicação das outras quatro no desenvolvimento de sistemas que podem realmente aprender. Sucintamente apresentamos como Senge define as Cinco Disciplinas:

O pensamento sistêmico parte da premissa de que as organizações e os outros feitos humanos também são sistemas. Estão igualmente conectados por fios invisíveis de ações inter-relacionadas, que muitas vezes levam anos para manifestar seus efeitos

umas sobre as outras. Como nós mesmos fazemos parte desse tecido, é duplamente difícil ver o padrão de mudança como um todo. Ao contrário, tendemos a nos concentrar em fotografias de partes isoladas do sistema, perguntando-nos por que nossos problemas mais profundos parecem nunca se resolver. O pensamento sistêmico é um quadro de referência conceitual, um conjunto de conhecimentos e ferramentas desenvolvido ao longo dos últimos cinquenta anos para esclarecer os padrões como um todo e ajudar-nos a ver como modificá-los efetivamente. [...]

O domínio pessoal é a disciplina de continuamente esclarecer e aprofundar nossa visão pessoal, de concentrar nossas energias, de desenvolver paciência e de ver a realidade objetivamente. Como tal, é uma pedra de toque essencial para a organização que aprende — lugar onde as pessoas descubrem continuamente como criam sua realidade. A capacidade e o comprometimento de uma organização em aprender não podem ser maiores que a dos seus integrantes. (2005, p. 41).

[...]

Modelos mentais são pressupostos profundamente arraigados, generalizações ou mesmo imagens que influenciam nossa forma de ver o mundo e de agir. Muitas vezes, não estamos conscientes de nossos modelos mentais ou de seus efeitos sobre o nosso comportamento. O trabalho com modelos mentais começa por virar o espelho para dentro; aprender a desenterrar nossas imagens internas do mundo, a levá-las à superfície e mantê-las sob rigorosa análise. Inclui também a capacidade de realizar conversas ricas em aprendizados, que equilibrem indagação e argumentação, em que as pessoas exponham de forma eficaz seus próprios pensamentos e estejam abertas à influência dos outros. (2005, p. 42).

[...]

A disciplina da visão compartilhada é a capacidade de ter uma imagem compartilhada do futuro que buscamos criar. É difícil pensar em alguma organização que tenha se mantido em uma posição de grandeza na ausência de metas, valores e missões profundamente compartilhados na organização. Quando existe uma visão genuína (em oposição à famosa “declaração de missão”), as pessoas dão tudo de si e aprendem, não porque são obrigadas, mas porque querem. (2005, p. 43).

[...]

A prática da visão compartilhada envolve as habilidades de descobrir “imagens de futuro” compartilhadas que estimulem o compromisso genuíno e o envolvimento, em lugar da mera aceitação. Ao dominar essa disciplina, os líderes aprendem como é contraproducente tentar ditar uma visão, por melhores que sejam as suas intenções. Uma visão é realmente compartilhada quando você e eu temos a mesma imagem e assumimos o comprometimento mútuo em manter essa visão, não só individualmente, mas em conjunto. (2005, p. 43).

[...]

A disciplina da aprendizagem em equipe começa pelo “diálogo”, a capacidade dos membros de deixarem de lado as idéias preconcebidas e participarem de um verdadeiro “pensar em conjunto”. A disciplina do diálogo envolve também o reconhecimento dos padrões de interação que dificultam a aprendizagem nas equipes. Os padrões de defesa freqüentemente são profundamente enraizados na forma de operação da equipe. Se não forem detectados, minam a aprendizagem. Se percebidos, e trazidos à tona de forma criativa, podem realmente acelerar a aprendizagem. A aprendizagem em equipe é vital, pois as equipes, e não os indivíduos, são a unidade de aprendizagem fundamental nas organizações modernas. Esse é um ponto crucial: se as equipes não tiverem capacidade de aprender, a organização não a terá. (2005, p. 44).

As Cinco Disciplinas devem ser entendidas como um corpo de teorias e técnicas, onde cada uma deve ser estudada e dominada para ser colocada em prática.

O núcleo do aprendizado proposto por Senge (2005), através das Cinco Disciplinas, testa e examina os modelos mentais de grupos e indivíduos voltados, para a aprendizagem individual e para o aprendizado em grupo, mediante a construção de visões e objetivos

comuns, desde que o ciclo da aprendizagem profunda seja fomentado. Nesse processo, novas capacidades e habilidades, como as de aspiração, reflexão e conversação e conceituação, deverão moldar a forma como as pessoas no nível individual e coletivo vêem o mundo, pois elas interferem na maneira de entender e executar ações. Isso encaminha novas percepções e sensibilidades, que por fim levarão a mudanças profundas no nível cultural, o que originará novas atitudes e crenças, mais bem elaboradas e testadas coletivamente. Andrade et al. (2006) apresentam as Cinco Disciplinas como corpos de conhecimentos capazes de fomentar as habilidades e capacidades de acordo com o quadro 1.

Quadro 1 – Habilidades e capacidades desenvolvidas pelas Cinco Disciplinas

	Individual	Coletivo
Aspiração	Domínio pessoal	Visão compartilhada
Reflexão e conversação	Modelos mentais	Aprendizagem em grupo
Conceituação	Pensamento Sistêmico	

Fonte: Adaptado de Andrade et al., 2006.

Nessa situação, o Pensamento Sistêmico integra o modelo, embora seja interdependente das outras disciplinas.

3.2.4.3.8.2 A disciplina do Pensamento Sistêmico

Senge (2005) salienta que o Pensamento Sistêmico diz respeito a processos que procuram esclarecer a complexidade envolvendo aspectos como a prática, a essência e os princípios. Todos esses aspectos devem ser considerados concomitantemente, ou seja, um conjunto de processos com seus métodos e ferramentas para examinar e testar modelos mentais de grupos e indivíduos. O pensamento sistêmico é também o encontro de princípios teóricos que colaboram para a aprendizagem individual e em grupo. Senge (2005) entende que o Pensamento Sistêmico se estrutura através de um linguajar que envolve os arquétipos que comunicam o funcionamento da maioria dos sistemas e também através do desenvolvimento da habilidade de conceituação que está ligada à necessidade de enxergar as forças que estão em jogo na complexa realidade, nos permitindo construir descrições coerentes do todo. Senge (2005) afirma que as pessoas, através dos seus modelos mentais, percebem o mundo através da sua articulação na linguagem, e entende que os arquétipos, padrões sistêmicos que têm por objetivo simplificar a comunicação dos modelos sistêmicos, podem facilitar a utilização das ideias sistêmicas. Estes arquétipos, ao transmitir informações em grupos que aprendem e a identificação das estruturas que estão em ação, colaboram com as

alavancagens que podem modificar os padrões destas estruturas. Atualmente, segundo Senge (2005), os pesquisadores já identificaram 12 tipos de arquétipos de sistema os quais compõem os alicerces básicos de um sistema, sendo os arquétipos de reforço e de equilíbrio e defasagem os principais. A figura 19 apresenta o arquétipo do processo de equilíbrio e defasagem.

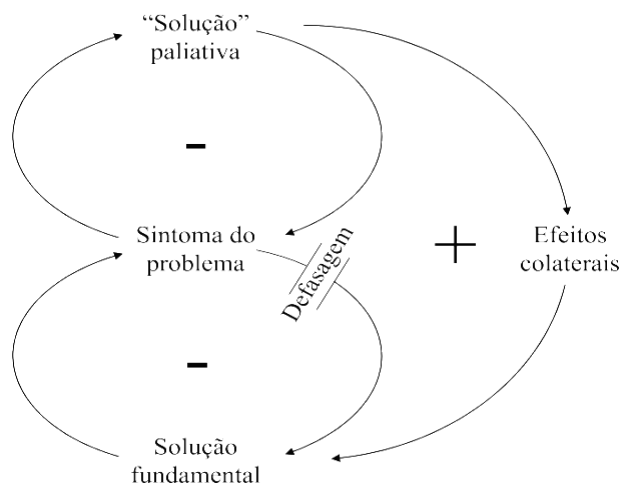


Figura 19 – Arquétipo do processo de equilíbrio e defasagem
Fonte: Adaptado de Senge, 2005.

É importante ter em mente que cada prática educacional é um sistema e a disciplina do Pensamento Sistêmico pode estudar a estrutura e o comportamento desse sistema, enriquecida por um conjunto de ferramentas e técnicas desenvolvidas para tanto, lembrando que as ideias básicas da linguagem sistêmica e os fundamentos teóricos do Pensamento Sistêmico foram apresentados no transcórre deste capítulo, podendo ser analisadas sucintamente no material instrucional dos apêndices 2, 3 e 4.

3.2.4.3.8.3 A metodologia sistêmica

O método sistêmico é um instrumento construído ao longo da história do pensamento sistêmico em organizações e que se ampara na Dinâmica de Sistemas e outras teorias que a ele se associam. Sob essa ótica, Senge et al. (1995) referem-se à caracterização de níveis diferenciados de percepção para uma determinada situação complexa da realidade que, na prática, de acordo com a figura 20, apresentam-se como a metáfora do *iceberg*.



Figura 20 – Níveis diferenciados de percepção da realidade (metáfora do *iceberg*)
 Fonte: Adaptado de Andrade et al., 2006.

Estes níveis que atuam em conjunto evidenciam os seguintes comportamentos:

- No primeiro nível, os eventos estão acontecendo e as pessoas envolvidas percebendo os fatos. Nesse nível, os indivíduos, ao perceberem determinadas situações, as explicam reativamente, de maneira automática. A ação reativa pode acarretar problemas, pois devido ao fato do mundo ser altamente dinâmico e complexamente interconectado, quando reagimos a um evento crítico podemos fazê-lo tarde demais. Nesse caso, a percepção do evento é normalmente fragmentada e resulta de uma visão compartimentada da realidade.
- No segundo nível, estão as evidências do padrão de comportamento dos elementos envolvidos com a realidade. Pode se perceber nesse nível que os eventos são evidências de variações de comportamentos mais profundos do sistema, onde se faz necessário observar o seu passado e as suas tendências futuras. Nessa situação, um nível crítico já foi ultrapassado e percebemos a existência dos problemas. Para ultrapassar o nível de eventos é preciso identificar os padrões recorrentes de comportamento, onde surgem as primeiras evidências de como melhorar o comportamento futuro do sistema estudado.
- O terceiro nível ressalta a compreensão estrutural da situação que indica a causa dos padrões de comportamento. Nesse nível buscamos entender como as variáveis se influenciam mutuamente em relações de causa e efeito. Esse nível permite enxergar as situações e as intervenções que permitam alavancar as mudanças, ou seja, alterar as causas daquele comportamento, conscientes de que a estrutura influencia o comportamento do sistema.
- O quarto nível diz respeito aos modelos mentais que geram as estruturas sistêmicas sociais. Estes são responsáveis por ações onde os seres humanos constroem estruturas

sistêmicas da realidade, orientados por suas crenças, atitudes e visão de mundo. É necessário primeiramente observar como os modelos mentais geram ou interferem nas estruturas analisadas, para então compreendê-las e modificá-las.

Assim, de acordo com Senge (2005), através do diálogo entre os componentes de um sistema humano, mergulhando nos níveis descritos, pode-se introduzir um método alternativo que permita compreender a realidade e nela intervir, observando três princípios sistêmicos:

- 1) A estrutura influencia o comportamento – Nos sistemas humanos, pessoas distintas, na mesma estrutura, tendem a produzir resultados qualitativamente similares.
- 2) A alavancagem vem de novas formas de pensar – Nos sistemas humanos as pessoas quase sempre possuem potenciais de alavancagem. Entretanto elas não a praticam, porque focam unicamente em suas próprias decisões, desconhecendo como estas comprometem os outros.
- 3) A estrutura dos sistemas humanos é sutil – A estrutura¹⁴ dos sistemas vivos complexos, como a estrutura dos vários sistemas no corpo humano, “representa as inter-relações básicas que controlam o sistema” (SENGE, 2005, p. 73). Nos sistemas humanos, a estrutura é analisada pelo modo como as pessoas tomam suas decisões (percepções, metas, regras e normas em ações).

No capítulo 5, que diz respeito à metodologia adotada nesta pesquisa-ação, apresentamos um roteiro para prática do Pensamento Sistêmico observando que Senge (2005) propõe uma flexibilização que pode ser a combinação ou utilização de técnicas alternativas, pensando o “princípio da alavancagem” como um dos principais resultados práticos desse pensamento. Tal princípio se caracteriza pela

identificação de onde as ações e mudanças nas estruturas podem levar a melhorias significativas e duradouras. Muitas vezes, a alavancagem segue o princípio da economia dos meios: os melhores resultados provêm não de esforços em larga escala, mas sim de pequenas ações bem focalizadas. (SENGE, 2005, p. 143).

Conforme entendem Senge et al. (1995), é complicado trabalhar todas as Cinco Disciplinas ao mesmo tempo. Sendo assim, optamos por trabalhar com a disciplina do Pensamento Sistêmico tendo em vista que esta, quando necessário, utiliza os conceitos e práticas das outras disciplinas, fazendo com que a prática de uma torne a prática das outras mais eficientes e também porque o emprego da disciplina do Pensamento Sistêmico permite visualizar os problemas e os objetivos, não como eventos isolados, mas como elementos de uma estrutura mais ampla. Assim a disciplina do Pensamento Sistêmico enriqueceu nosso trabalho não somente orientando o método utilizado para a coleta de dados (ver seção 5.2),

¹⁴ Estrutura sistêmica - Para Senge (2005) a estrutura sistêmica diz respeito às inter-relações mais importantes que influenciam o comportamento ao longo do tempo.

mas também integrando as ferramentas, métodos e teorias que, utilizadas como alavancagem, permitiram a realização de ações e mudanças na estrutura do sistema analisado, modificando os modelos mentais de seus componentes, e alcançando as aprendizagens significativas que encaminharam os objetivos desta pesquisa-ação.

3.2.5 O novo paradigma da complexidade

Como sabemos, a educação vivencia uma crise que advém da racionalidade imposta pela própria ciência. Uma crise paradigmática, na qual o pensamento newtoniano-cartesiano precisa ser superado. Nesse caso não se trata de destruir, derrubar, anular, o que já foi construído, pois a história segue seu curso amparada em fatos que foram acontecendo um a um, num processo contínuo e irreversível. E vivemos um momento histórico que exige a busca da superação desse paradigma. Uma superação, como propõe Behrens apud Cardoso,

no sentido dialético estabelecido por Hegel; para quem superar não é fazer desaparecer, mas progredir qualitativamente, conservando o que há de verdadeiro no momento anterior e levando-o a um complemento, segundo as novas exigências históricas. (1995, p. 45).

Nesse sentido, Morin (2013) entende que o conceito de sistema é a base do novo paradigma do conhecimento, onde os objetos são substituídos por sistemas, as essências e as substâncias são substituídas por organização, as unidades simples e elementares por complexas, e em lugar de agregados formando corpos, olhamos para os sistemas de sistemas.

3.2.5.1 Paradigma da complexidade sob a ótica de Edgar Morin

Para Morin (2005), é preciso pensar a complexidade ressaltando duas dimensões:

- a complexidade como um tecido (*complexus*: o que é tecido em conjunto) de constituintes heterogêneos inseparavelmente associados, colocando o paradoxo do uno e do múltiplo;
- a complexidade como efetivamente um tecido de acontecimentos, ações, interações, retroações, determinações, acasos, que constituem o nosso mundo fenomenal, apresentando-se a complexidade com os traços inquietantes do inextricável, da desordem, da ambiguidade, da incerteza.

Assim, podemos olhar para a complexidade como decorrência de um paradigma sistêmico insimplificável, tendo como medida a dificuldade de construir algo a partir de suas

partes elementares, estabelecendo uma conjunção necessária entre as noções classicamente distintas de sistema, organização, interações, existência e ser.

Segundo Morin (2013), essa noção paradigmática deverá estabelecer uma noção de conceito de sistema como uma proposta mais ampla para construção do conhecimento nos mais variados campos, não devendo ser concebido aprisionado a nenhuma teoria geral, uma vez que deverá envolver apenas noções, princípios e relações para a construção de um novo conhecimento. Morin (2005) apresenta o conceito de sistema através dos três aspectos da figura 21, onde:

- Sistema (que exprime a unidade complexa e o caráter fenomenal do todo, assim como complexo das relações entre o todo e as partes).
- Interação (que exprime o conjunto de relações, ações e retroações que se efetuam e se tecem num sistema).
- Organização (aquilo que forma, mantém, protege, regula, rege, regenera-se e que forma a ideia de sistema e sua coluna vertebral).

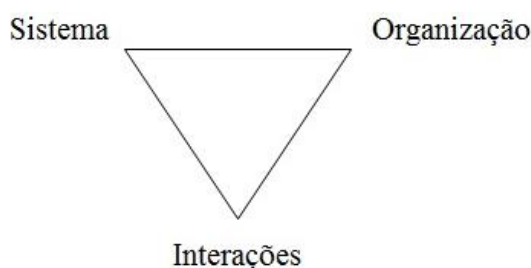


Figura 21 – Aspectos do conceito de sistema
Fonte: Adaptado de Morin, 2005.

Nessa situação, o sistema como um fenômeno é originário de interações, cuja configuração é a sua organização. Por sua vez, a organização é inseparável da noção de sistema, tendo em vista que é ela quem liga e transforma os elementos num sistema e também produz e mantém esse sistema. A organização é uma noção com características dinâmicas associadas a processos que se automantêm em sistemas naturais ou que são mantidos por sistemas construídos pelo homem, devendo “ser concebida como a organização de sua própria organização, o que quer dizer também que ela se encerra em si mesma e encerra o sistema com relação ao seu meio ambiente”. (MORIN, 2013, p.169).

A organização na perspectiva sistêmica envolve os seguintes pressupostos:

- a organização é permanente em todos os sistemas físicos e biológicos e diz respeito a absorção, distribuição, controle e consumo de energia;

- a organização produz simultaneamente entropia (degradação) e neguentropia (regeneração). A esse pressuposto associamos a criação da ordem, que, estando associada a desordem, são ambas responsáveis pelas zonas de incerteza e os antagonismos do sistema;
- a organização, ao assumir a forma auto-organizadora, gera as características “ser” e “existência”.
- a organização permanente de si, do ser vivo menos complexo até as sociedades humanas organizadas, mediante uma organização genética e fenotípica, propõe uma abertura e fechamento no que diz respeito a trocas com o meio ambiente.

Ainda a respeito da organização sistêmica, Morin (2005) ressalta a importância do princípio autorregulador da cibernética, as retroações (ver seções 3.2.4.1.2 e 3.2.4.1.3), propondo o rompimento com a causalidade linear e adotando a causalidade complexa, que pressupõe dois aspectos:

- A causalidade complexa: ao discordar das determinações externas, a lógica causal interna desenvolve recursos que, na busca ou manutenção de um objetivo, sustentam e resguardam as características de identidade do sistema podendo, se necessário, vir a modificá-las com o transcorrer do tempo.
- A causalidade generativa: o sistema, ao manter uma relação com as causas externas através de fluxos de energia, matéria e informação, institui uma separação entre a lógica causal e essas causas, através de processos circulares internos. Com isso o sistema gera e mantém graus de autonomia organizacional em relação ao meio externo que se traduzem no desenvolvimento de estratégias e decisões.

Dessa forma, Morin (2005) concebe as relações nos sistemas complexos a partir:

- da interação circular em que o todo é explicado pelas partes e as partes são explicadas em função do todo (ver figura 22); nessa situação a complexidade deve ser vista como um processo *explicativo*.

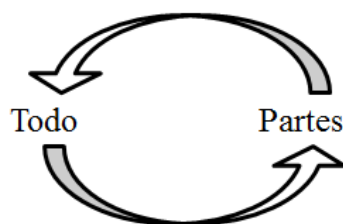


Figura 22 – Interação circular entre parte e todo
Fonte: Adaptado de Morin, 2005.

- da interação circular entre a unidade¹⁵ e diversidade, em que as unidades complexas são *descritas* a partir da diversidade e a diversidade é descrita a partir da unidade complexa (ver figura 23). As partes possuem dupla identidade: uma individual não redutível ao sistema e outra identidade comum como cidadã do sistema.

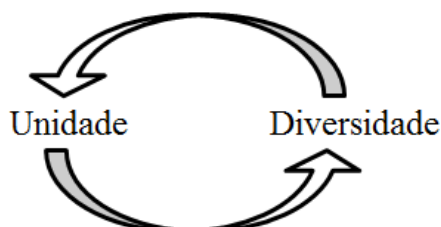


Figura 23 – Interação circular entre unidade e diversidade
Fonte: Adaptado de Morin, 2005.

Sendo assim, para Morin,

a ideia de complexidade adquire densidade se presentirmos que não podemos reduzir nem o todo a partes nem as partes ao todo, nem o uno ao múltiplo, nem o múltiplo ao uno, mas que precisamos tentar conceber em conjunto, de modo complementar e antagônico, as noções de todo e de partes, de um e de diversos. (2013, p. 136).

Quanto à concepção de sistema, superando o paradigma da simplificação, Morin exige o entendimento do seu caráter psicofísico, ou seja, o sistema é um conceito com dupla entrada (MORIN, 2005, p. 269):

- A entrada física: pelas suas condições de formação e de existência (interações, conjuntura ecológica, condições e operações energéticas e termodinâmicas). Mesmo um sistema de ideias tem um componente físico (fenômenos bioquímico-físicos ligados à atividade cerebral, necessidade de um cérebro).
- A entrada psíquica (processo cognitivo): pelas suas condições de distinção ou de isolamento realizadas pelo observador que opera as abstrações, escolhendo o conceito-foco (sistema, subsistema, suprassistema, ecossistema).

A simultaneidade do psíquico e do físico encaminha a perspectiva epistemológica da indissociabilidade da relação sujeito observador-objeto observado, ou seja, “a necessidade de incluir, não de excluir, o observador na observação” (MORIN, 2005, p. 270). Com isso um modelo sistêmico mesmo dizendo respeito a uma entidade de natureza exclusivamente física,

¹⁵ A unidade sistêmica deve ser vista como uma manifestação global da complexidade, não tendo o significado da unidade simples, redutível e elementar.

a sua descrição envolve interesses, a subjetividade e os valores culturais de quem descreve o sistema.

Morin (2005) adianta sete diretivas para um pensamento que une, sendo estes complementares e interdependentes:

- 1) O princípio sistêmico ou organizacional: o conhecimento das partes só é possível após o entendimento do todo.
- 2) O princípio holográfico: põe em evidência o aparente paradoxo das organizações complexas, em que não apenas a parte está no todo, como o todo está na parte.
- 3) O princípio do circuito retroativo que rompe com o princípio da causalidade linear: a causa age sobre o efeito, e o efeito age sobre a causa.
- 4) O princípio do circuito recursivo: ultrapassa a noção de regulação com as de autoprodução e auto-organização. É um circuito gerador em que os produtos e os efeitos são, eles mesmos, produtores e causadores daquilo que os produz.
- 5) O princípio da autonomia-dependência (auto-organização): os seres vivos são seres auto-organizadores, que não param de se autoproduzir e, por isso mesmo, dependem energia para manter sua autonomia. Como têm necessidade de retirar energia, informação e organização de seu meio ambiente, sua autonomia é inseparável dessa dependência. É por isso que precisam ser concebidos como seres auto-eco-organizadores.
- 6) O princípio dialógico: é a união de dois princípios ou noções que deviam excluir-se reciprocamente, mas são indissociáveis em uma mesma realidade. Dialogicamente, só podemos compreender um extremo quando o outro extremo também se faz presente. Por exemplo, alto/baixo, ordem/desordem, belo/feio e assim sucessivamente.
- 7) O princípio da reintrodução do conhecimento em todo conhecimento: esse princípio opera a restauração do sujeito e revela o problema cognitivo central. Da percepção à teoria científica, todo conhecimento é uma reconstrução/tradução feita por uma mente/cérebro, em uma cultura e época determinadas. Ou seja, o conhecimento é sempre histórico e assim pede que seja sempre revisitado.

Com esta proposta, orientado pelo pensamento de Morin (2005), devemos compreender o meio ambiente como um macrossistema complexo, constituído de vários subsistemas interdependentes, onde ocorrem múltiplos e dinâmicos fenômenos que envolvem as complexas realidades naturais, sejam elas físicas ou sociais. Nesta visão, o todo não é mais importante que as partes ou reduzido à simples soma das mesmas, e muito menos as partes são mais importantes que o todo.

Para Morin, a complexidade admite a imperfeição, uma vez que aceita a incerteza e o reconhece o irredutível unindo os

processos de simplificação que são a seleção, a hierarquização, a separação, a redução, com outros contraprocessos que são a comunicação, que são a articulação do que está dissociado e distinguido; é o escapar à alternativa entre o pensamento redutor que só vê os elementos e o pensamento globalista que apenas vê o todo. (2003, p. 148)

Assim, a complexidade está justamente no cerne da relação do simples com o complexo por que tal relação é, ao mesmo tempo, antagônica e complementar.

3.2.6 Considerações finais sobre o Pensamento Sistêmico

As ideias apresentadas no decorrer deste capítulo caracterizam o Pensamento Sistêmico como um novo paradigma, traduzido pelo conhecimento de múltiplas abordagens e modelos teóricos que, aplicados para o entendimento dos fenômenos complexos, contrariam a ênfase dada ao pensamento analítico. Nesse sentido, de acordo com Andrade et al. (2006) e outros autores, pensar sistemicamente exige que nos fundamentemos nas seguintes abordagens:

- Um sistema é um todo integrado e dinâmico cujas propriedades fundamentais surgem das relações entre suas partes. Este pensamento também sugere propriedades essenciais do todo que nenhuma das partes elementares possui.
- O sistema não pode ser analisado em termos das propriedades de suas partes, pois estas só podem ser entendidas dentro de um contexto maior (o seu meio ambiente). Com isso o processo de observação e de conhecimento, deixa de ser objetivo e passa a ser contextual e epistêmico.
- Os sistemas vivos apresentam diferentes níveis sistêmicos com distintas complexidades, o que sugere complexidade organizada. Em cada nível aparecem propriedades emergentes que não existem em níveis inferiores.
- Num sistema a configuração e a relação entre os elementos que o integram são dois aspectos da organização sistêmica que, unificados, passam a ser uma concepção de padrão, ou seja, o conceito de organização sistêmica passa a ser entendido como um padrão ou uma configuração de relações ordenadas onde não há partes ou objetos em absoluto.

- O Pensamento Sistêmico exige a compreensão de um fenômeno dentro de um contexto processual onde toda a estrutura materializada é vista como uma manifestação de processos subjacentes que estabelecem padrões de organização.
- Pensar a complexidade num mundo complexo exige um conjunto quantitativo e qualitativo superior de metáforas, modelos e ponto de vista.
- No Pensamento Sistêmico, as propriedades são dependentes de contextos, relações, formas e padrões cujas mensurações necessitam ser contextualizadas numa teia maior de relacionamentos. Como estas são de difícil visualização isto implica numa maneira de pensar que, sendo mais qualitativa do que quantitativa, acaba por envolver aspectos importantes como a visualização e o mapeamento.
- O Pensamento Sistêmico busca um entendimento da realidade por meio de fluxos circulares (elos de retroalimentação), em detrimento a forma de pensar apenas por meio de relações circulares de causa e efeito.

Senge et al. (2005) entendem que existe um contínuo viável de práticas de Pensamento Sistêmico, todas com diferentes graus de rigor, diferentes abordagens e diferentes visões da natureza de um sistema. Por exemplo, o Pensamento Sistêmico voltado para entender um sistema em termos de seus *inputs* e *outputs*, interações e limites, desenvolvido por Bertalanffy, Ackoff e outros.

O pensamento processual, proposto por pesquisadores como Deming e outros, que enxergam uma organização como um conjunto de fluxos de informação, onde o realinhamento das estruturas de comunicação irá modificar os padrões de comportamento da organização.

O Pensamento Sistêmico vivo que envolve várias formas de teorias da complexidade e do caos. Nesse caso temos os estudos de Prigogine, Maturana e Varela e outros, que sugerem a existência de sistemas emergentes, ou sistemas vivos onde os padrões de ordem se desenvolvem a partir do caos.

O Pensamento Sistêmico proposto pelos ciberneticistas e que está relacionado com *feedbacks* ou dinâmicas de sistemas. Nesse caso é trabalhada uma variedade de técnicas e ferramentas que se desenvolveram a partir do entendimento dos processos de *feedbacks* dinâmicos (ciclos de reforço e equilíbrio), onde estão incluídas simulações, ciclos causais, arquétipos de sistemas e discussões sobre *feedbacks*.

A Dinâmica de Sistemas, desenvolvida por Forrester, na qual as interações de *feedbacks* são apresentadas por equações matemáticas não-lineares. Como essas equações são

geralmente complexas demais para as pessoas manipularem além do nível rudimentar, a Dinâmica de Sistemas depende da modelagem e simulação computadorizada.

Considerando que todas essas formas de Pensamento Sistêmico são apropriadas para diferentes propósitos em diferentes circunstâncias, entendem os autores que o uso regular de uma ou de todas elas irá construir a capacidade do Pensamento Sistêmico, enxergando uma maneira mais clara para aplicar uma força eficaz para alcançar seus propósitos. Nesta tese, além de utilizarmos para sua organização o Pensamento Sistêmico processual, utilizamos também o Pensamento no âmbito do sistema, estudando a estrutura e o comportamento do sistema laboratório de aprendizagem, buscando com isso produzir mudanças em toda a organização (ver seção 1.5).

CAPÍTULO 4

Neste capítulo procuramos descrever como a construção do conhecimento se integra ao processo de ensino e aprendizagem, orientados pelos pressupostos da MP.

4.1 Conhecimentos e conceitos

Os aspectos que dizem respeito à formação do conhecimento são apresentados a seguir de forma sintetizada, seguindo os pressupostos de alguns autores, como Novak (1990), que entendem o conhecimento como uma construção humana que resulta de interações complexas entre sujeitos e entre sujeitos e objetos, nas quais nem sujeito nem objeto têm uma predominância epistemológica, ou seja, a visão do construtivismo humano.

Schirato (1990) afirma que o homem, na condição de sujeito, procurando refletir e conhecer a realidade do objeto adentra seu espaço, removendo dele significados, trazendo imaterialmente para dentro de si todas as características possíveis a serem estudadas sobre esse objeto. Nesse processo o objeto é essencial para o conhecimento, uma vez que o conhecimento sempre procura mostrar sua identificação com o objeto que o produziu. Segundo Schirato (1990), tal processo ocorre na mente da pessoa, desde que esta tenha consciência de si, e que saiba que está participando de uma operação mental, associada a uma determinada realidade onde é criada a relação entre ambos.

Para Schirato (1990) o sujeito, a partir do conhecimento adquirido após invadir a esfera de um objeto, retorna a sua própria esfera com uma “imagem” que a autora entende como *conceito*.

Segundo Camargo (2004), os tipos de conhecimento são o intuitivo, o mitológico, o teológico, o filosófico, o senso comum e o científico sendo que este, no sistema de ensino aprendizagem, é o comumente valorizado. Porém, mediante a visão sistêmica, por razões metodológicas, devemos nos afastar do pensar reducionista que enxerga os diferentes conhecimentos como algo que possa ser adquirido separadamente.

Evidenciamos que para construirmos o conhecimento necessário para implantarmos a SD, é importante ter consciência de que os conhecimentos científicos por si sós, não são suficientes para resolvermos os problemas ambientais que envolvem o futuro do planeta e da espécie humana, uma vez que não é absoluto e imutável. O conhecimento necessário para tal objetivo, sendo o planeta visto como um todo, exige mais do que o conhecimento científico. Exige conhecimentos que, começando pelo entendimento da totalidade do meio ambiente, motivam as pessoas a avaliar além das situações entrópicas apresentadas pela natureza, também aquelas que dizem respeito às características do próprio indivíduo, sua cultura, seus aspectos ontológicos, sua sociedade.

Assim, para que ocorra uma verdadeira EA que permita nos depararmos com a crise ambiental aí instalada, não basta à apropriação de um tipo de conhecimento especializado. Faz-se necessário a apropriação de um tipo de conhecimento que, em concordância com os estudos de Bloom (1972), além de envolver a aprendizagem cognitiva, envolva também as aprendizagens afetivas e psicomotoras do indivíduo.

Assim o conhecimento deve ser uma síntese que tem origem nas informações oriundas dos objetos, apropriadas no decorrer da vida de quem aprende e que quando reunidas com novas informações, se organizem de maneira que o mesmo consiga construir algo novo.

Sendo assim, definimos a seguir alguns tipos de conhecimentos que predominam nesta pesquisa, sendo sabedores de que todos ocorrem simultaneamente, podendo somar-se e/ou influenciar-se mutuamente.

Camargo (2004) define o conhecimento intuitivo como

a forma de captar os objetos sem meios ou intermediários, reduzindo-se a um único ato de experiência, sendo essencialmente subjetivo. A primeira intuição é a sensorial, pois os sentidos não analisam, não comparam, não julgam (2004, p. 42).

Por sua vez, a definição de conhecimento científico passa num primeiro momento pelo entendimento do significado da palavra ciência. Nesse sentido, a maioria dos autores concorda que seu objetivo maior é consolidar os estudos científicos de maneira geral, concretizando uma associação acumulada de conhecimentos que, sendo comprováveis, possibilitem compreender, explicar e prever o fenômeno analisado em uma área específica de estudo.

De maneira geral, o conhecimento científico também pode ser definido como a organização de conhecimentos alcançados por estudos sistemáticos e instituídos por

princípios gerais do paradigma científico vigente e que podem ser modificados por uma revolução científica (KUHN, 2005).

Já o senso comum ou o conhecimento prévio é uma definição que aproxima o estudante, a escola e o professor através do pensamento que estes trazem para a sala de aula, utilizando seus próprios conceitos, científicos ou não, cujos significados diferem na maioria das vezes dos aceitos por determinada ciência. Segundo Minguet (1998), este conhecimento está associado a situações e acontecimentos que dizem respeito à influência do meio ambiente, sendo normalmente aceitos como evidentes, tendo acontecido num certo período da vida de alguém, possuindo suas origens no período da infância. É um conhecimento variado, resultante das interações da vida familiar, profissional, religiosa e social, e diz respeito ao tipo de informação que a pessoa passa a internalizar. Camargo (2004) resume o senso comum como o conhecimento que é construído através da superposição de experiências que vão acontecendo no decorrer da vida das pessoas, ou seja, um conhecimento natural que grande parte dos indivíduos constrói com suas tradições e/ou no convívio social.

4.2 Concepções

Esta pesquisa-ação, na área da EA, tendo envolvido estudantes de Engenharia Civil da FURG, teve como um de seus objetivos a gestão de metodologias e conhecimentos que, em sinergia pudessem colaborar para a visualização das consequências de suas práxis na interação com o meio ambiente. Neste cenário é preciso estar inteirado dos processos que envolvem as diferentes formas de relacionamento do homem com o homem e também do homem com a natureza, que exigem a construção de diferentes formas de conhecimentos, habilidades, capacidades e atitudes.

Sendo assim, vinculamos este conhecimento às *concepções* dos estudantes e do pesquisador que, sendo uma maneira de pensar prática, comum, cotidiana, científica ou não, permitiria aos mesmos, a partir de ideias gerais, encaminharem suas ações naquele momento de vida. Para a maioria dos estudiosos é um tipo de conhecimento muito próprio, não imediatamente explicável, de difícil formalização, entendimento e transmissão. Nesta pesquisa, quando nos reportamos a esse tipo de conhecimento envolvendo pesquisador e alunos, estamos nos referindo às suas *concepções*.

Para Cunha (2000), as concepções servem como agentes que fundamentam a nossa interpretação e descrição do mundo no qual estamos inseridos, sendo estas adquiridas e/ou modificadas durante a nossa existência através do ensino formal e/ou pelas experiências do

dia a dia, sendo bastante estáveis e resistentes a mudanças, que poderão ser científicos ou não, sendo na maioria das vezes diferentes daqueles acolhidos por determinada ciência. Esse conhecimento, ao envolver determinado fenômeno, poderá levar em consideração as leis mais gerais que o esclareçam, gerando com isso certezas intuitivas e pré-críticas, das quais poderá emergir uma conclusão que permita ao estudante realizar uma ação.

Logo, quando citamos o termo concepção do estudante, buscamos um tipo de conhecimento que, podendo ou não ser intuitivo, se ampara em conhecimentos prévios nos quais estão envolvidas suas atitudes, valores, comportamentos, habilidades, capacidades e normatizações que poderão ou não ir ao encontro da comunidade científica, mesmo que estejam fundamentados em diferentes conceitos que entendemos ser científicos.

É importante ressaltar, de acordo com Driver, Guesne e Tiberghien (1985), que no transcorrer desta pesquisa-ação, desenvolvemos nossa metodologia com a pretensão de que ocorressem mudanças significativas nas concepções dos estudantes, podendo estas, em parte, ainda permanecer em desacordo com a ciência normal, situação que os autores classificam como concepções alternativas que, embora pudessem ser compartilhadas, ainda assim poderiam se aproximar de teorias superadas e também resistentes a mudanças.

Essas concepções alternativas foram de grande importância para o trabalho, já que serviram de referencial para a construção e avaliação do aprendizado ocorrido (ver seção 5.2.6.5), tendo em vista que os estudantes partiram de conhecimentos que na sua maioria não são aceitos pela ciência normal, buscando referenciá-los aos conhecimentos científicos que amparam o novo paradigma da ciência. Ou seja, buscou-se fazer uma ponte de ligação entre o velho e o novo conhecimento, seguindo os preceitos da aprendizagem significativa proposta por Ausubel (1968), que entende esta aprendizagem como aquela que acontece no domínio cognitivo dos seres humanos, através da interação entre o novo conteúdo e o já adquirido.

Nesse contexto nos apoiamos em Erickson (1979), que considera as concepções sobre um determinado assunto como o alicerce do conhecimento concreto para o desenvolvimento do currículo e de estratégias de ensino.

4.3 Aportes referentes à Psicologia da Aprendizagem

Aprender não é só apropriar-se de algo que se armazena ou deposita. Aprender, para Camargo (2004), é uma ação de interação com o mundo exterior através de um contíguo de experiências apropriadas na interação com o meio ambiente que gera, auxilia e orienta de fora a assimilação anteriormente citada. Então a

aprendizagem é um contínuo situar-se no tempo e no espaço exigindo auto-reorganização, reestruturação, reidentificação da pessoa com a realidade em que ela vive, pois vai adquirir uma visão nova, diferente, ampliada desta realidade. (CAMARGO, 2004, p. 19).

Nesta pesquisa-ação tivemos como um dos objetivos específicos, desenvolver uma metodologia de ensino e aprendizagem que se distanciasse do modelo mecanicista adotada pelo curso de Engenharia Civil, podendo com esta ação ter contribuído com a produção de conhecimentos interdisciplinares que, inseridos na realidade do aprendiz, tivessem significado ao se integrarem com conceitos preexistentes em sua estrutura cognitiva, fruto das experiências anteriormente vivenciadas. Ou seja, um aprendizado significativo, resultante de interações complexas entre sujeitos e sujeitos, e sujeitos e objetos onde nem sujeito nem objeto tivessem predominância epistemológica de um sobre o outro, orientado também pelos pressupostos de Vigotsky (1993), que ressalta o aprendizado associado ao uso das ferramentas e do trabalho humano, uma vez que este possibilita ao homem mudar a natureza e consequentemente a si mesmo.

Seguindo esta orientação, convém lembrar que amparamos nossa metodologia didático-pedagógica enxergando a sala de aula como um sistema aprendente, cujos processos de comunicação e apropriação do conhecimento envolvem a interação com o meio ambiente resultando numa aprendizagem organizacional, que necessariamente passa pela aprendizagem individual entendendo, como Kim (1993), a aprendizagem organizacional como algo maior que a simples soma das aprendizagens individuais.

Com esta convicção, apresentaremos sucintamente os aportes de alguns pesquisadores da psicologia que colaboraram para observar os resultados de aprendizagem nos domínios cognitivo, afetivo e psicomotor, que foram e que poderão ser posteriormente transformados em ações humanas.

4.3.1 Aprendizagem significativa

David Ausubel, teórico da psicologia da aprendizagem, aprofundou uma perspectiva de aplicação didático-pedagógica, reforçando a compreensão em oposição à memorização e à repetição, características do ensino tecnicista, ressaltando a ideia de que a estrutura, a integração e a expressão dos pensamentos ocorrem através de estratégias cognitivas que estão aportadas em referenciais teóricos mais profundos.

A Teoria de Ausubel, voltada para a aprendizagem significativa, é uma teoria cognitivista, porque procura analisar o que ocorre quando o indivíduo se localiza e organiza seu mundo. Nessa teoria, sujeito e objeto, em sua intenção, não possuem hegemonia epistemológica de um sobre o outro, podendo envolver uma educação que constrói significados compartilhados, facilitados por professores preparados, em que o indivíduo encaminha uma aprendizagem autônoma e criativa (NOVAK, 1990). É uma teoria que entende o conhecimento como um processo construtivo e valoriza em muito o papel da estrutura cognitiva prévia de quem aprende (VALADARES, 2011, p. 53), uma vez que abrange a interação da nova informação com uma estrutura de conhecimento específica que Ausubel denominou conceitos subsunçores¹⁶. A teoria da Ausubel envolve dois aspectos: a forma como o estudante aprende mecânica ou significativamente e a forma como o estudante é apresentado ao assunto, que pode ser por descoberta orientada ou descoberta.

A *aprendizagem significativa* acontece quando uma nova informação se agrega a conceitos importantes já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Nesse processo de fixação da nova informação, o subsunçor auxilia para a modificação do conceito, podendo haver na mente do indivíduo uma variedade de subsunçores que variam dos mais abrangentes aos mais limitados, dependendo da frequência com que acontece a aprendizagem significativa.

Para um melhor entendimento da Teoria de Ausubel, faz-se importante ressaltar o contraste, a antítese da aprendizagem significativa, a *aprendizagem mecânica*.

Ausubel (1968) define a *aprendizagem mecânica ou memorística* como a aprendizagem de novas informações onde há pouco ou nenhum vínculo com conceitos relevantes previamente existentes na estrutura cognitiva de quem aprende. Nesse tipo de aprendizagem, a nova informação é armazenada de forma eventual, não havendo interação entre a nova e a informação previamente existente, de maneira que o conhecimento alcançado não se fixa a nenhum conceito subsunçor específico já existente na estrutura cognitiva, ou porque este não existe, ou também porque o estudante não quis despender esforço para interagir o subsunçor com a informação adquirida.

Ausubel (1968) não estabelece uma dicotomia entre o aprendizado significativo e o aprendizado mecânico, e os entende como sendo um a continuidade do outro. Para o autor, a aprendizagem mecânica é sempre necessária quando o indivíduo adquire um conhecimento

¹⁶ A palavra “subsunçor” não existe em português; seria uma tentativa de aporuguesar a palavra inglesa *subsumer*, podendo ser entendida em equivalência a: inseridor, facilitador ou subordinador (cf. MOREIRA; BUCHWEITZ, 1993). Também pode ser derivada do verbo *subsumir*, que, na filosofia kantiana, significa a incorporação de um indivíduo numa espécie (VALADARES, 2011).

numa área totalmente nova para ele. À medida que o aprendizado começa a ser significativo, as informações do aprendizado mecânico passam a servir como subsunçores e estes vão ficando cada vez mais elaborados e mais capazes de agregar novas informações.

Uma questão levantada por Ausubel (1968) diz respeito à inexistência ou a elaboração dos subsunçores. A aprendizagem mecânica, como vimos, pode se tornar significativa à medida que os subsunçores vão ficando mais elaborados e mais aptos a fixar novas informações. Para abreviar esse processo, Ausubel pressupõe a existência dos organizadores prévios, conceitos introdutórios apresentados antes do conceito a ser aprendido em si. Ou seja, são âncoras utilizadas com a finalidade de manipular a estrutura cognitiva do indivíduo, que interligam conceitos aparentemente não relacionáveis através de níveis superiores de abstração e generalidades. Com isso podemos entender os organizadores prévios como conhecimentos introdutórios que são apresentados antes daquele conhecimento que queremos construir, e que possuem a capacidade de fazer a ponte cognitiva entre aquele conceito que o indivíduo já aprendeu com aquele que ele desconhece e deve aprender significativamente.

Para que ocorra uma aprendizagem significativa, segundo Ausubel, é necessário que:

- o material a ser assimilado seja potencialmente significativo, ou seja, não conceitualmente coerente e relacionável com qualquer estrutura apropriada, portanto não seja arbitrário. Mesmo materiais não arbitrários podem se tornar significativos através de organizadores prévios;
- ocorra um conteúdo mínimo na estrutura cognitiva do indivíduo, com subsunçores adequados em suficiência para suprimir as necessidades relacionais;
- o aprendiz apresente uma disposição para o relacionamento, estando psicologicamente motivado e não simplesmente para memorizá-lo mecanicamente, muitas vezes até simulando uma associação.

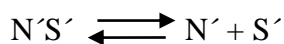
Quanto ao processo de subsunção para aquisição de significados na estrutura cognitiva, Moreira e Buchweitz (1993) descrevem o processo que Ausubel chamou de princípio da assimilação da seguinte maneira:

- N = Nova informação potencialmente significativa;
- S = Conceito de subsunçor presente na estrutura cognitiva do aprendiz;
- N'S' = Resultado relacionado que também altera o subsunçor. Informação assimilada.

Nesse processo, a assimilação ocorre quando um conceito ou proposição N, potencialmente significativo, é introjetado através de uma ideia ou conceito mais inclusivo que o previamente existente na estrutura cognitiva do aprendiz, como um exemplo ou uma

qualificação desse conceito. Nesta situação não só a informação, como também o conceito subsunçor S, com o qual ele se relaciona, são modificados pela interação.

Após esse estágio da aprendizagem, surge o conceito recém assimilado N'S' um subsunçor modificado que, por um período de tempo, pode ser dissociado em N' e S' uma vez que são os co-participantes da nova unidade N'S' e que ainda podem ser reprodutíveis individualmente como entidades mais elaboradas.



Num segundo momento, na aprendizagem significativa começa a chamada de *assimilação obliteradora*, onde as novas informações tornam-se espontâneas e progressivamente menos dissociáveis de seus subsunçores âncoras não podendo mais ser reproduzidos com entidades autônomas, atingindo dissociabilidade nula. Nesse estágio N'S' transforma-se puramente em N' que é o membro mais estável do produto N'S', o que não significa que o subsunçor voltou à situação original, já que é um subsunçor que está modificado.

Nesse processo, segundo Moreira e Buchweitz (1993), a nova informação adquire um novo significado mediante a interação entre subsunçores e pode refletir uma *aprendizagem subordinada*, quando “nova interação adquire significado através da interação com subsunçores, refletindo uma relação de subordinação do novo material em relação à estrutura cognitiva preexistente” (MOREIRA; BUCHWEITZ, 1993, p. 24).

Também nesse processo de aprendizagem significativa pode ocorrer a associação entre conceitos, ou seja, uma *aprendizagem superordenada* que se dá quando “a formação de um conceito ou proposição, mais geral e inclusivo do que as ideias ou conceitos já estabelecidos na estrutura cognitiva do aprendiz, é obtida a partir destes e passa a assimilá-los” (MOREIRA; BUCHWEITZ, 1993, p. 24).

Na aprendizagem subordinada, o conceito subsunçor se modifica no processo, adquirindo novos significados, e quando esse processo acontece uma ou mais vezes em conjunção com determinado subsunçor, temos uma *diferenciação progressiva*, já que os subsunçores vão progressivamente assimilando mais conceitos, ampliando seu âmbito, estando constantemente modificados, especificados e progressivamente adquirindo novos significados.

Na aprendizagem significativa superordenada que ocorre simultaneamente, as ideias estabelecidas na estrutura cognitiva, no transcorrer de novas aprendizagens, tanto podem ser reconhecidas como também relacionadas. Encontram-se cada vez mais relações entre conceitos, precisamente por estarem diferenciados e enriquecidos. Dessa maneira, o aprendiz,

ao adquirir novas informações, faz com que os elementos existentes na estrutura cognitiva possam se reorganizar e adquirir novos significados. A recombinação de conceitos anteriormente separados, que resultam em conceitos mais gerais, mais abrangentes do que aqueles que se relacionaram, chamamos de conceitos supeordenados e o processo que conduz a estes conceitos mais gerais Ausubel chamou de *reconciliação integrativa*. Moreira e Buchweitz (1993, p. 25) resumem o exposto por Ausubel da seguinte maneira:

a aprendizagem significativa pode ser ora subordinada, ora superordenada; a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa são processos dinâmicos que ocorrem no decurso da aquisição ou mudança de significado de um conceito.

Com isso Moreira (2000) entende que a aprendizagem significativa acontece mediante a conjunção sistemática destes dois mecanismos: a diferenciação progressiva de conceitos mais gerais e abrangentes que vão se diferenciando e especificando cada vez mais, e a reconciliação integradora entre conceitos já suficientemente diferenciados e especificados para originar conceitos mais gerais.

Assim, segundo Ausubel, na aprendizagem significativa, a organização do conteúdo cognitivo, que envolve a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa, em determinada área do conhecimento, tem uma tendência a organizar uma estrutura hierárquica, onde as ideias mais inclusivas se estabelecem no alto dessa estrutura e abarcam progressivamente proposições, conceitos e dados factuais menos inclusivos e mais diferenciados, resultantes dos processos dinâmicos da estrutura cognitiva.

Segundo Moreira e Buchweitz (1993), esse processo não é como parece, exclusivamente unidirecional, de cima para baixo, ou do geral para o particular. É fato que se sugere começar com o geral e progressivamente ir revisando os conceitos subordinados a eles associados, e por último introduzir-se os mais específicos, devendo retornar, através de exemplificações, ao de ordem mais geral. Realmente é importante iniciar pelo geral e chegar ao particular, mas também é importante que *se deve fazer referências ao geral para não perder a visão do todo e elaborar cada vez mais o geral*. Com isso, no entendimento de Ausubel, estamos paralelamente promovendo a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa.

Na aprendizagem significativa, segundo Moreira e Buchweitz (1993), podemos utilizar como recurso de ensino, os mapas conceituais que explanam uma estrutura conceitual embasada nos princípios ausubelianos da diferenciação progressiva e reconciliação integrativa. Esta técnica pode ser utilizada em qualquer área do conhecimento, para enfatizar a construção de conceitos claros, estáveis e diferenciados como fato preponderante na

aprendizagem subsequente. Os mapas são diagramas hierárquicos que buscam refletir a organização dos conceitos bem como as relações entre estes.

Moreira e Buchweitz (1993) ilustram a dimensão vertical do mapa conceitual, com o seu grau de generalidade ou abrangência. Na figura 34, podemos observar o mapa conceitual, onde os conceitos mais abrangentes ou gerais da disciplina LAIEC I estão colocados no topo do mapa. À medida que se desce vão-se encontrando conceitos intermediários, menos subordinados. Na parte inferior do mapa aparecem os conceitos mais específicos. As linhas que ligam os conceitos sugerem relações entre estes. O fato de vários conceitos diferentes aparecerem na mesma posição vertical dá ao mapa a sua dimensão horizontal.

4.3.2 O Movimento Institucionalista

Para alcançarmos nossas metas, nos aproximamos do Movimento Institucionalista, que é definido por Baremblytt (1992) como uma série de teorias, práticas e experiências que tem como premissa a autogestão e autoanálise que nos permitem *desenvolver habilidades de reflexão e indagação gerenciando modelos mentais nos nível pessoal e interpessoal*, podendo ser o resultado de situações que se dão de forma articulada e simultânea, objetivando impulsionar experiências coletivas, criadoras de novos saberes, podendo se valer para tanto de todo e qualquer recurso, seja do tipo artístico, cenográfico, dramático, procedimentos ativistas, políticos, montagem de tipo propriamente científico, experimental, lógico, sociológico, antropológico.

Nessa direção, o Movimento Institucionalista entende como autoanálise a situação

em que as comunidades mesmas, como protagonistas de seus problemas, necessidades, interesses, desejos e demandas, possam enunciar, compreender, adquirir ou readquirir um pensamento e um vocabulário próprio que lhes permita saber acerca de sua vida, ou seja, não se trata de alguém que venha de fora ou de cima para dizer-lhes que são, o que podem, o que sabem, o que devem pedir e o que podem ou não conseguir. Este processo deve ocorrer simultâneo ao processo de autoorganização, em que a comunidade se articula, se institucionaliza para construir os recursos de que precisa para construir dispositivos necessários para produzir ela mesma ou para conseguir recursos de que precisa para a manutenção e ou melhoramento da vida sobre a terra. (BAREMBLYTT, 1992, p.17).

Ainda, dentro do Movimento Institucionalista, Guattari (1998, p. 8) entende que a resposta à crise ecológica somente aconteceria com uma profunda mudança política, social e cultural que reorientaria os objetivos da produção de bens materiais e imateriais. Para tanto, o autor propõe o exercício da *ecosofia*, ou seja, a articulação ético-política entre os três registros ecológicos:

- a ecosofia social, que se constitui a partir de práticas específicas que modifiquem e reinventem maneiras de sermos no que diz respeito à família, ao casal, ao trabalho, a universidade etc.;
- a ecologia mental, que, por sua vez, será levada a reinventar a relação do sujeito com o corpo, com o seu fantasma ou o seu inconsciente, com o tempo que passa, com os mistérios da vida e da morte;
- a ecologia ambiental, que fica estabelecida entre a social e a mental. A natureza não pode ser separada da cultura. É preciso pensar transversalmente as relações existentes entre o social, o individual e os diversos ambientes.

Para Guattari (1998), essas modificações no meio ambiente não estão somente associadas às relações de forças visíveis em grande escala, mas também aos domínios moleculares de sensibilidade, de inteligência e de desejo. Com isso, a subjetividade do homem deve se apropriar dos desenvolvimentos técnico-científicos com potencial de resolver e reequilibrar os problemas ecológicos. Ou seja, o encontro com a produção de uma subjetividade, que vá ao encontro de uma re-singularização individual e/ou coletiva; tudo que concorre para a produção em “si”, um modo de existir, um estilo de existência.

Numa definição mais refinada, a subjetividade é

produzida por agenciamentos de enunciação. Os processos de subjetivação, de semiotização – ou seja, toda a produção de sentido, de eficiência semiótica – não são centrados em agentes individuais (no funcionamento de instâncias intrapsíquicas, egoicas, microssociais), nem em agentes grupais. Esses processos são duplamente descentrados. Implicam o funcionamento de máquinas de expressão que podem ser tanto de natureza extrapessoal, extra-individual (sistemas maquínicos, econômicos, sociais, tecnológicos, icônicos, ecológicos e etológicos de mídia, enfim sistemas que não são mais imediatamente antropológicos), quanto de natureza infra-humana, infrapsíquica, intrapessoal (sistemas de percepção, de sensibilidade, de afeto, de desejo, de representação, de imagens, de valor, modos de memorização e produção de ideia, sistemas de inibição e de automatismos, sistemas corporais, orgânicos, biológicos, fisiológicos, etc.). (GUATTARI; ROLNIK, 1996, p.31)

Assim, para desenvolver esta pesquisa-ação, foi necessário estimular no grupo sujeito processos de re-singularização que pudessem vencer seus bloqueios motivacionais, inconscientes ou não, que, segundo Seiffert (2007), estão presentes principalmente quando o indivíduo não tem suas necessidades básicas atendidas ou quando, em sua cultura, o individualismo e o imediatismo prevalecem.

Assim, a construção de novas interpretações da relação homem natureza, passa pela compreensão da subjetividade humana, ou seja, pela busca por novos padrões cognitivos e também por outras dimensões que abarquem comportamentos, afetos, habilidades, valores,

etc. É importante considerar, nestes padrões, os fatores que induzem o indivíduo a compreender sua relação com o meio que o cerca, tendo em vista ser isto, essencial para que ele modifique suas posturas como profissional e como cidadão.

Com esta convicção, entendemos que o Movimento Institucionalista, através da *ecosofia* proposta por Guattari (1998), oferece subsídios muito interessantes para que possamos analisar, em conjunto com os estudantes, determinadas práticas pedagógicas que venham a motivá-los a interagir de forma construtiva com o meio ambiente, já que este movimento, ao forjar um paradigma ético-estético, possibilitando a criação do novo, poderá motivar a aproximação dos estudantes com a EA.

Entretanto, os conhecimentos da psicologia afirmam que o que está instituído tende a resistir às mudanças, permanecendo estático e imutável, conservando os estados que já foram de fato modificados. Porém, nossa responsabilidade social como educador nos autoriza, como afirma Guattari (1998), a intervir nessas instâncias psíquicas e coletivas através das diversas áreas de atuação e do conhecimento, através de micro intervenção que levassem estes mesmos estudantes a uma re-singularização que encaminhasse uma nova maneira de pensar e agir de forma inovadora e criativa, no que diz respeito às suas relações consigo mesmos, com os outros e com o meio ambiente.

Durante essa ação, podem ser ressaltados os aspectos que dizem respeito à compreensão de como as determinações alienantes de sistemas responsáveis pela dominação, pela exploração e pela mistificação de processos tecnológicos estão presentes em “cada uma das nossas atividades vitais, afetivas, sentimentais, econômicas, políticas, artísticas e, principalmente, nas relações com os outros e as relações conosco mesmo” (BAREMBLITT, 2002, p. 84).

Com isso, amparado por Baremlitt (2002), acreditando que pequenas intervenções podem realizar transformações localizadas, ou desvios chamados *Klinamens*, nos propusemos, como afirma Guattari (1998), intervir nas instâncias psíquicas dos componentes do grupo, propondo um processo criativo que viesse a motivar os estudantes de engenharia a desenvolver sua própria autonomia (do consciente sobre o inconsciente) e, mediante a autoanálise e a autogestão, fazer emergir a consciência *ecosófica* no que diz respeito a uma nova maneira de interpretar as questões ambientais. Os resultados dessa microintervenção realizada com o grupo experimental foram apresentados na seção 5.2.9.1, que diz respeito à metodologia utilizada nesta tese.

4.3.3 Aportes sobre o *aprender a aprender*

Para Senge et al. (2005) os indivíduos aprendem em ciclos, movendo-se entre a ação e a reflexão, entre a atividade e o repouso, procurando aperfeiçoar o que praticamos. Na aprendizagem de ciclo único observamos nossas ações passadas, refletimos e utilizamos essa observação para decidir como modificar a nossa próxima ação, buscando melhorar nossos comportamentos ou o do sistema ao qual estamos integrados. Estes ciclos únicos de aprendizagem são úteis para analisarmos os sistemas simples e insuficientes para serem utilizados em sistemas complexos. Uma das maneiras mais eficazes de modificar a aprendizagem de ciclo único é modificar o seu ritmo deliberadamente, aumentando o tempo não somente de reflexão, mas para que surjam diferentes tipos de pensamento e discussões coletivas na sala de aula, escolas e comunidades. Nesse processo, segundo Abbad e Borges-Andrade (2004), é preciso enxergar a sala de aula como um sistema organizado onde se promove a criação de processos que propiciem a aprendizagem contínua e coletiva, mediante o compartilhamento de valores, conhecimentos, habilidades e atitudes, através de uma dinâmica que aumente a eficácia da difusão e transferência de conhecimentos do nível individual para o coletivo.

Senge (2005) salienta que nos processos de ensino onde são construídos os conhecimentos em organizações, podemos focalizar nas aprendizagens individuais convictos de que nesses processos, o fenômeno da aprendizagem em grupo pode emergir como algo maior do que a soma das aprendizagens individuais, desde que seja exercitado continuamente o *aprender a aprender*. Nesse caso, quando os modelos mentais deixam de pertencer apenas ao indivíduo e passam a ser compartilhados pelos elementos da organização ou sistema de ensino, podemos admitir ter havido aprendizagem no nível sistêmico.

Quanto ao processo do *aprender a aprender*, podemos entendê-lo como a aprendizagem de ciclo duplo, que Argyris e Schön (1978) identificam como um aprendizado reformador, cuja finalidade é colaborar para que as pessoas possam fazer escolhas mais conscientes sobre as ações que projetam e praticam. Argyris e Schön (1978) afirmam que nesse caso, é preciso estar conscientes que as “teorias aplicadas” (regras que governam o comportamento real das pessoas) normalmente não são congruentes com suas “teorias assumidas” (regras nas quais as pessoas acreditam que seu comportamento está baseado e que são usadas para explicá-lo). Ou seja, para tornar suas ações mais conscientes, as pessoas deveriam revisar suas teorias de ação, que nas suas estruturas cognitivas aparecem na forma de mapas tácitos. Na realidade são poucos os indivíduos que têm consciência de que os

mapas utilizados para agir (teoria aplicada), não são os mesmos que eles explicitamente praticam ou aquilo que dizem (teoria assumida). Os autores acreditam que para fazer escolhas de ações mais conscientes, é imprescindível revisar as regras instituídas pelas teorias aplicadas, uma vez que estas são desenvolvidas através da implementação de variáveis governantes, que são valores aceitos pelo indivíduo e que determinam as suas estratégias de ação, produzindo consequências que realimentam o julgamento das estratégias de ação, caracterizando um aprendizado de circuito simples, onde estas variáveis permanecem inalteradas.

Para que possamos rever as regras de comportamento que governam e retroalimentam as ações do indivíduo, Argyris e Schön (1978) propõem um conceito de aprendizagem diretamente vinculado ao postulado na cibernética, uma vez que sistemas cibernéticos mais complexos, como o cérebro humano ou computadores avançados, têm a capacidade da retroação que é a capacidade de detectar e corrigir erros em normas operacionais, e assim influenciar os padrões que guiam as operações detalhadas.

Morgan (2011), baseado nos estudos de Argyris e Schön, sugere que existe uma diferença essencial entre o aprendizado de “circuito único” e de “circuito duplo” conforme mostramos nas figuras 24 e 25. O aprendizado de circuito único baseia-se na capacidade de detectar e corrigir erros, em relação a um dado conjunto de normas operacionais conforme mostra a figura 24.

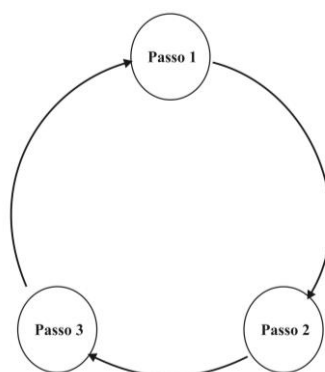


Figura 24 – Aprendizado de circuito único
Fonte: Adaptado de Morgan, 2011.

Já o aprendizado de circuito duplo depende da capacidade de “examinar de novo” a situação, questionando a relevância das normas operacionais, de acordo com a figura 25.

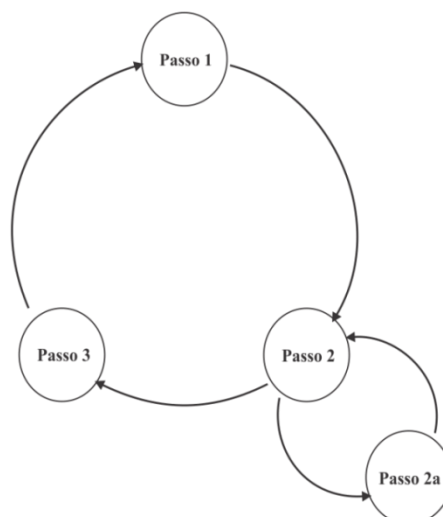


Figura 25 – Aprendizado de circuito duplo
Fonte: Adaptado de Morgan, 2011.

Morgan (2011) explica os passos nos dois processos da seguinte maneira:

Passo 1 = o processo de sentir, perscrutar e monitorar o ambiente.

Passo 2 = a comparação desta informação contra as normas operacionais.

Passo 2a = o processo de questionar se as normas em vigor são adequadas.

Passo 3 = o processo de iniciar ação adequada.

Orientado por estes passos, no processo de aprendizagem de um único circuito o aprender está associado à identificação e ação reformulativa de determinado erro, onde o sistema permanece com suas políticas costumeiras, onde é muito comum a criação de padrões fragmentados de pensamento e ação, cujas informações e o conhecimento dificilmente transitam livremente. Neste caso os processos de avaliação são fundamentados na recompensa ou na punição, levando o estudante a comportamentos defensivos para se proteger, escondendo questões ou problemas que os deixariam em má situação, procurando se mostrar melhores do que são. Assim o comportamento defensivo resultante do erro, torna-se parte importante na cultura do sistema simples, determinando normas e padrões de conformidade que impossibilitam o estudante, de se envolver com os aspectos importantes da realidade a que estão submetidos.

Entretanto, quando um erro é percebido (no passo 2a) e corrigido de forma a promover modificação em normas políticas e objetivos fundamentais (padrão) do sistema envolvido, ocorre um aprendizado de laço duplo sendo este o processo de *aprender a aprender*. Nesse caso o sistema aprendente irá verificar seus princípios e articular as mudanças necessárias para reunir os novos conceitos aprendidos, fomentando a capacidade de autoquestionamento inerente aos sistemas capazes de se auto-organizar.

Argyris e Schon (1978) buscaram a materialização dessa visão quando pesquisaram modelos mentais (ver seção 6.2.2) que permitissem às pessoas trazerem à tona e discutir produtivamente suas diferentes formas de ver o mundo. Através da teoria da ação desenvolveram um corpo de hipóteses e métodos para a reflexão e indagação sobre o raciocínio que subjaz nossas ações e que nos levam a pensar sobre a forma como pensamos.

Senge (2005) apresenta um resumo dos estudos de Argyris e Schon a respeito do método empregado para *aprender a aprender* e que podem colaborar com as habilidades do gerenciamento dos modelos mentais dos elementos num sistema de aprendizagem. Para tanto devem ser desenvolvidas

as habilidades de reflexão [que se referem] à desaceleração dos nossos próprios processos de pensamento, podendo com isso aumentar o nível de consciência de como criamos nossos modelos mentais e as formas como eles influenciam nossas ações. (SENGE, 2005, p. 218). [...]

A *habilidade de indagação* diz respeito aos mecanismos através dos quais nos comportamos em interações diretas com outras pessoas, especialmente quando lidamos com questões complexas e conflitantes. (SENGE, 2005, p. 219).

As habilidades de reflexão iniciam pelo reconhecimento dos “saltos de abstração”. Para tanto, é necessário ter consciência de que nossas mentes se movimentam em velocidades muito elevadas, processo que normalmente retarda a nossa aprendizagem. Saltamos de maneira tão veloz para as generalizações que normalmente nunca pensamos em testá-las. A mente consciente não está bem organizada para trabalhar com um grande número de detalhes concretos e procuramos focalizar num número restrito de variáveis isoladas de cada vez. Com isso estando nossa mente facilmente propensa a abstrair, iniciando com informações concretas, e substituindo muitos detalhes por conceitos simples, saltamos velozmente para as generalizações sem nunca refletir em testá-las.

Outro aspecto importante é que o raciocínio conceitual abstrato também restringe nossa aprendizagem por não possuímos consciência desses nossos saltos de conceitos particulares para conceitos gerais. Segundo Senge

os saltos de abstração ocorrem quando passamos de observações diretas (“dados” concretos) para generalizações sem testá-las. Os saltos de abstração impedem a aprendizagem, pois tornam-se axiomas. O que antes era tratado como pressuposto passa a ser tratado como fato (2005, p. 220).

Senge (2005) se pergunta como é possível reconhecer um salto de abstração e responde a essa indagação, incentivando o questionamento de como funciona o mundo, a natureza da organização, as pessoas de modo geral e indivíduos específicos. Na maioria das

vezes isso encaminhará indagações sobre as razões subjacentes às ações de outras pessoas e esta postura exige habilidades que serão discutidas a seguir: o processo que Argyris chama de equilíbrio entre indagação e argumentação.

Segundo o autor é preciso combinar argumentação e indagação para originar a aprendizagem cooperativa, pois à medida que cada parte protege racionalmente e calmamente seu ponto de vista com crescente energia, as posições se tornam cada vez mais intransigentes. Na verdade existe um arquétipo de sistemas que descreve o que acontece em seguida, chamada a “escalada” que repete o efeito bola de neve ou a retroação positiva. O questionamento pode ser fundamental para romper a retroação de reforço da argumentação, mas enquanto não se aprende a acordar argumentação com indagação, as habilidades de aprendizagem são muito limitadas. Uma agente que limita a indagação pura é o ponto de vista arraigado. Normalmente nós temos um ponto de vista, independentemente de confiarmos ou não se esse ponto de vista é o único verdadeiro. Quando há uma moderação entre indagação e argumentação, além de eu averiguar o raciocínio subjacente aos pontos de vista de outras pessoas, eu revelaria os meus pontos de vista de forma a divulgar minhas próprias premissas e meu entendimento, incentivando as pessoas a investigá-los. Quando as pessoas se tornam flexíveis a indagação de seus próprios pontos de vista, facilitam as descobertas de novos pontos de vista.

Resumindo, Senge (2005) entende que praticar a indagação e argumentação significa estar à mercê das restrições do seu próprio pensamento – ter a consciência da possibilidade de estar errado. Essa proposta pode dar aos outros a segurança para atuar da mesma forma.

Quanto à operacionalização do modelo, este deve apresentar os conteúdos dos dados, ou fatores a serem observados de maneira direta trazendo à superfície as visões conflitantes, bem como a sua avaliação pública. As consequências da aplicação do processo são: esvaziar as relações defensivas, aumento da liberdade de escolha e grandes possibilidades de acontecer o aprendizado em duplo circuito.

4.4 A Metodologia de Projetos (MP)

Segundo Camargo (2004), o ensino é uma ação antropocêntrica que norteia o progresso das pessoas com o intuito de alcançarem seus objetivos de vida. Envolve uma relação intrapessoal entre educador e educando onde é transmitida a cultura socializável ou socializada. Neste contexto o sistema de ensino deve selecionar seus processos no que diz respeito a interações entre educando e educadores, objetivando a aprendizagem de acordo com o tipo de egresso que se pretende formar, tendo consciência que nesta pesquisa-ação

ensinar é um ato político de opções que diz respeito à complexidade do meio ambiente. Sendo assim o estudante deve ser preparado para entender as diferenças, o contraditório dentro de um contexto que favoreça o espírito crítico e reflexivo, desprezando a quantificação de informações. Entretanto, no sistema de ensino da engenharia, o conhecimento tem sido tratado como uma coisa, objetificado, desconectado de outras formas de conhecimento e do indivíduo, orientado pela tão difundida *educação bancária*, que Paulo Freire (1992) denunciava como o modelo dominante de ensino e aprendizagem contemporâneo, onde o professor tem a obrigação de inserir fichas de conhecimento codificado e fragmentos discretos de informações nas mentes dos estudantes. Para nos desprendermos deste tipo de educação e desenvolver um novo processo de ensino é necessário nos afastarmos do velho paradigma newtoniano-cartesiano e nos aproximarmos do novo paradigma da ciência que, ao propor uma forma de pensar sistêmica, procura superar os conteúdos fragmentados, dispersos, confusos, irrelevantes e muitas vezes sem coerência que tentam transmitir a maioria das instituições educativas contemporâneas.

4.4.1 O novo paradigma da complexidade e a Metodologia de Projetos

A teoria da complexidade propõe a reaproximação das partes no todo, e a Metodologia de Projetos, segundo Behrens (2008), apropria-se dessa nova visão para desencadear atitudes epistemológicas centrada na interdependência sujeito/objeto de investigação, propondo um modelo de ensino em função de competências, habilidades, valores, ética que tenta responder aos desafios da educação na atual conjuntura socioeconômica e cultural do país e do mundo.

Embora o termo projeto tenha várias definições, no atual sistema de ensino, aparece caracterizado pela realização de uma prática pedagógica crítica, reflexiva e problematizadora. Para Silva (2003), o termo projeto pode ser definido de acordo com como um plano de trabalho a ser concretizado. Uma imagem que formamos quando desejamos concretizar alguma coisa, uma finalidade de alcançar algo previamente estabelecido, mediante um plano. Se refletirmos na dimensão educacional, podemos dizer que projeto é um delineamento introdutório, inicial ou provisório de um texto, de um trabalho a ser concretizado, apresentado ou implementado, ou ainda, um planejamento institucional ou curricular e também um planejamento que os docentes executam para ministrar suas aulas (SILVA, 2003, p. 1).

Hernández (2000) chama de projeto de trabalho a situação integradora em que se constrói o conhecimento, divergindo do formato da educação tradicional que incentiva a transmissão de saberes compartimentados e selecionados pelo professor, afirmando que o

projeto não é uma metodologia, e sim uma maneira de refletir sobre a escola e sua função, onde a aprendizagem e o ensino percorrem uma trajetória não fixa em busca de um objetivo, sendo esta necessariamente modificada em cada contexto, mantendo uma especificidade própria que nos permite repensar o discurso sobre o saber, repensando o que deve ser ensinado e de que maneira devemos fazê-lo através de metas que devem ser cumpridas. Entende o autor que neste processo, a função da aprendizagem como desenvolvimento do conhecimento se edifica a partir do diálogo e negociação com os estudantes, vinculando a teoria com a prática na busca de uma produção ativa de significados e da percepção do objeto que pesquisam, onde é necessário observar as diferentes situações, procurando explicações, formulando hipóteses, comparando os dados e realizando uma série de ações que comprovem a compreensão, que encaminhem uma interpretação do tema e concomitantemente permitam um avanço sobre o mesmo.

Para Behrens (2011), um ensino apoiado em projetos estimula uma aprendizagem diversificada, admitindo articulações entre as criações de cada estudante integrado ao processo, estimulando em paralelo o ensino com pesquisa, mediante uma abordagem crítica e questionadora, vindo com isso a incentivar a investigação individual ou coletiva onde é incentivado o acesso às diferentes maneiras de *aprender a aprender*. Assim o projeto é um instrumento facilitador que permite ao estudante vivenciar o ato criador, ao não indicar certezas absolutas e nem respostas programadas, instituindo possibilidades e expondo variações que permitam aos estudantes manifestarem seus posicionamentos.

4.4.2 A Metodologia de Projetos sob a perspectiva de Behrens (2011)

Para Behrens (2011), a Metodologia de Projetos é uma prática educativa fundamentada em princípios como a complexidade, a visão da totalidade, a conexão de diversas áreas do conhecimento, o espírito crítico reflexivo, buscando a formação para a cidadania e a recuperação da postura ética propondo procedimentos para lidar com o conhecimento, superando a perspectiva de acumulação e memorização de informações, visando a aprendizagem significativa (AUSUBEL, 1968) e a busca pelo conhecimento que está em constante transformação. Parte de situações problemáticas incentivando uma investigação que tenta propiciar a visão de todo, envolvendo os alunos e professores no processo investigativo do conhecimento, incentivando diferentes pontos de vista e a multiplicidade de opiniões.

O processo metodológico é iniciado através de uma problematização que leva a proposição de questionamentos dos mais gerais aos mais específicos que, focalizados em uma

única temática, podem exigir a interconexão de vários temas de estudo e aprendizagem aonde, através do pensamento complexo exercita o duvidar, superando com isso a visão da certeza. Nesse caso o estudante precisa ser incentivado a optar e eleger possíveis soluções que venham a colaborar com o problema a ser investigado, dando a ele autonomia para medir a importância das informações coletadas e também para eleger os conteúdos significativos que respondam às questões estudadas.

Com isso a MP possibilita novas atividades e novas maneiras de acessar o conhecimento e de aprender a aprender, onde o docente necessita ter clareza de que esse processo pré-supõe uma proposição de etapas ou fases, que possibilitem um andamento que admite imprevisto e alterações, sem que essas pareçam medidas tomadas de improviso e desprovidas de sentido. Tal procedimento só pode se materializar devido ao fato de que o projeto deve corresponder aos interesses dos estudantes e professores, sendo organizado para integrar as sugestões e as atividades cuja viabilidade deve ser discutida em conjunto procurando, dessa maneira, implantar a relação entre a teoria e prática na aprendizagem.

Segundo Behrens (2011), a MP possibilita contemplar duas dimensões: a individual e a coletiva. Na dimensão individual, o estudante passa a educar-se e a realizar, com responsabilidade, obrigações pessoais acordada com o grupo e com o professor. A dimensão coletiva, proposta por meio dos procedimentos metodológicos, admite que os estudantes cumpram os compromissos com o próprio grupo e comecem a trabalhar para o projeto que estão realizando em função de sua aprendizagem.

A MP busca também revisar a organização do currículo por disciplinas e o modo de situá-lo no tempo e no espaço da instituição de ensino. Mas situá-lo num espaço e num tempo real, que mostre o reflexo do que os estudantes possam estar interessados. Com isso torna-se necessária a elaboração de uma proposta curricular, na qual a representação dos conhecimentos não seja fragmentada, afastada dos desafios cotidianos dos estudantes, e que venha resolver os seus problemas, suprimindo as suas necessidades. O ensino por projetos ao incentivar a produção de conhecimento individual e coletivo exige uma prática pedagógica que contemple o paradigma da complexidade (ver seção 3.2.5.1), com enfoque globalizador. Nessa situação o professor deve optar, no processo, por uma aliança entre os pressupostos do Pensamento Sistêmico (ver seção 3.2.1), da abordagem progressista e do ensino com pesquisa (ver figura 26), considerando também a opção da utilização de tecnologias inovadoras (BEHRENS, 2011).

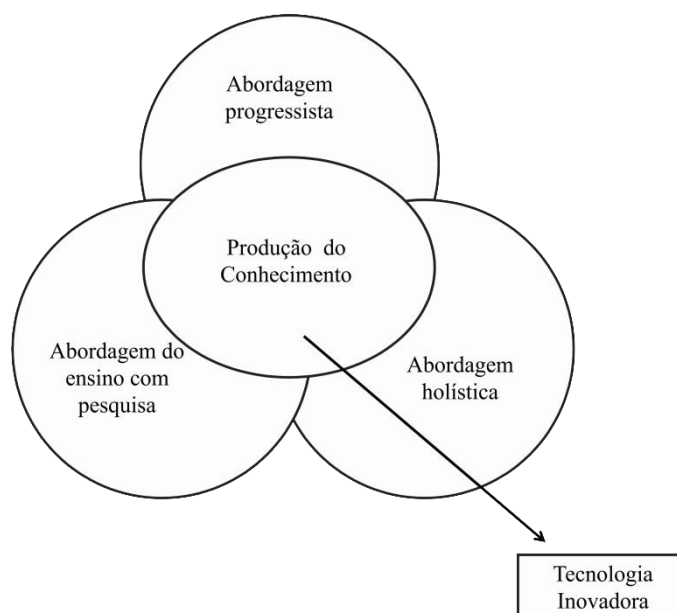


Figura 26 – Aliança entre as três abordagens que levam à construção do conhecimento
 Fonte: Adaptado de Behrens, 2011.

Quanto à visão sistêmica, sabemos que esta propõe a superação da fragmentação e compartimentalização do saber, resgatando o ser humano na sua totalidade, enxergando-o com suas inteligências múltiplas, formando um profissional que além de usar a razão e a sensação, utiliza também sua intuição e sentimento, ou seja, torna-se um indivíduo mais humano, mais sensível e mais ético. Nesse processo a concepção de rede defende as propriedades de um sistema vivo que forma um todo em relação as suas partes enquanto que ao mesmo tempo é parte constituinte de um sistema maior. Nessa visão o todo possui propriedade que nenhuma de suas partes possui. Assim o estudante na abordagem sistêmica caracteriza-se como um ser complexo que vive num mundo de relações que, embora viva em coletividade, precisa ser visto como um ser único competente e valioso. A visão sistêmica busca também a interdependência entre teoria e prática que se completam buscando nesta inter-relação a visão do todo onde são incentivados a refletir sobre os paradoxos epistemológicos conflitantes, refletindo sobre as implicações de suas próprias convicções e ações.

Para Behrens, Alcântara e Viens (2001), a aprendizagem que ocorre através da visão sistêmica impõe incluir visões diferenciadas como a:

- da totalidade que busca a superação da visão fragmentada, retomando as partes num todo;
- de rede, entendendo que todos os fenômenos estão interconectados;

- de sistemas integrados onde todos os seres humanos devem ter acesso a um mundo globalizado;
- de relatividade e movimento que entende os conhecimentos como relativos, não existindo uma verdade absoluta e que estes conhecimentos estejam em movimento constante;
- de cidadania e ética onde a educação deve estar alicerçada na formação de cidadania através de uma postura ética aos valores sociais e pessoais e espírito de solidariedade.

Quanto à opção por uma abordagem progressista, a MP, ao se orientar pela pedagogia da complexidade (ver seção 2.3.1), envolve processos de modificações e de transformações, que incluem todos os níveis de intervenção educativa tendo como pressuposto principal a transformação social. Os educadores progressistas devem buscar a construção de uma sociedade mais justa, igualitária e democrática, mediante a opção por uma abordagem metodológica, crítica e reflexiva. Com isso o docente precisa expor problemas que se aproximem da realidade cotidiana, tendo como meta que o estudante consiga visualizar e se preparar para resolver criticamente situações importantes e significativas que se apresentam cotidianamente em sua vida. Para tanto se faz necessário criar possibilidades de discussão libertadora e dialógica, e com isso produzir conhecimentos relevantes e significativos mediante uma abordagem dialética de ação-reflexão-ação. Sendo assim, o desafio de oferecer uma educação superior crítica e reflexiva, exige a proposição de questões envolvidas com problematizações que associem os temas à realidade circundante, contemplados a luz dos aspectos políticos e sociais.

Por sua vez, a aliança com o ensino baseado em pesquisa, dentro de uma abordagem crítica que envolva um processo individual ou coletivo, esta oferece aos estudantes a oportunidade de diversificar as atividades metodológicas e propicia o acesso a maneiras diferenciadas de aprender. Essa metodologia impõe que professores e estudantes, ao *aprender a aprender*, numa ação coletiva, onde se aprenda a investigar e a pesquisar, busquem a superação da reprodução para a produção do conhecimento, permitindo ao estudante exercitar sua autonomia, seu espírito crítico e investigativo tornando professores e estudantes produtores do seu próprio conhecimento.

Por último, de acordo com Behrens, Alcântara e Viens (2001), para alcançarmos uma prática pedagógica competente, que nos permita enfrentar os desafios da sociedade moderna, é preciso inter-relacionar as abordagens anteriormente citadas e utilizar a instrumentalização da tecnologia inovadora. Nesse caso, a utilização do computador como ferramenta de ensino e aprendizagem nos dá um suporte relevante na proposta de uma ação pedagógica inovadora.

Demo (1994) entende que educar pela pesquisa valoriza a metacognição, o *aprender a aprender*, almejando formar um sujeito competente tornando-o capaz, a partir de sua consciência crítica, de formular e executar seu próprio projeto de vida no contexto histórico que vive.

Para tanto apresenta os caminhos utilizados para educar pela pesquisa destacando os níveis crescentes de pesquisa que buscam uma aproximação da teoria com a prática.

- Primeiro nível, a fase de *Interpretação reprodutiva*: o estudante é estimulado a escolher um texto, sistematizá-lo e depois reproduzi-lo fielmente. Esse é o início do processo, em que o professor provoca o estudante a abandonar a cópia dos conteúdos e começar a ser crítico do seu próprio conhecimento.
- Segundo nível, entendido como *Interpretação própria*: o estudante escolhe o texto e atribui a ele a sua própria interpretação, passando a ser um leitor independente.
- Terceiro nível, denominado de *Reconstrução*: o estudante toma o texto inicial e o refaz por si mesmo, sob o incentivo de outros autores, vindo com isso a criar suas próprias produções.
- Quarto nível, chamado de *Construção*: o estudante adota o texto original como mera referência e sugere a criação de outros caminhos, investindo em temas elaborados por outros autores.
- Quinto nível, definido como *Criação e descoberta*: os estudantes e professores estão aptos a introduzir na pesquisa novos paradigmas metodológicos, teóricos e práticos.

Nesse processo inovador são lançados outros referenciais, novas alternativas e novas justificativas para a produção do conhecimento (DEMO, 1994, apud BEHRENS, 2011, p. 87).

Por fim, a avaliação da aprendizagem não terá uma fase específica, pois será proposta a todo momento de maneira contínua e acompanhará todo o processo do projeto.

Fica evidente que a Metodologia de Projetos, ao incentivar a aliança entre a abordagem progressista, a visão sistêmica e o ensino com pesquisa utilizando tecnologias inovadoras, acaba, segundo Santos (2006), por delinear um novo paradigma para o ensino que está em total sintonia com as Cinco Disciplinas elaboradas por Senge (2005). Sendo assim, introduzimos a MP como uma das ferramentas que encaminham os objetivos desta tese, cujos passos, apresentados na seção 5.2, demonstram como esta pôde ser utilizada como instrumento de alavancagem no método proposto, para ajudar os estudantes a com o conhecimento significativo.

CAPÍTULO 5

Neste capítulo, descreveremos como foi planejada e operacionalizada a intervenção realizada junto aos integrantes dos grupos de pesquisa, apresentando os materiais e métodos utilizados para coletar os dados que possibilitaram comprovar hipóteses e responder às questões de pesquisa.

5.1 O método

Como visto na seção 1.5, nossa metodologia se fundamentou no método das Cinco Disciplinas desenvolvido por Senge (2005), mais especificamente na disciplina do Pensamento Sistêmico. Tal método, ao ser colocado em prática com suas teorias e ferramentas, pôde examinar e modificar modelos mentais dos estudantes, alavancando aprendizagens individuais e coletivas, mediante o desenvolvimento de habilidades e capacidades de conceituação, que dizem respeito às situações complexas da realidade. Nesse processo, utilizamos como instrumento de alavancagem a ação pedagógica da Metodologia de Projetos (MP), uma vez que esta se mantém em total sintonia com as Cinco Disciplinas, utilizando, na busca do aprimoramento da aprendizagem em sistemas de ensino, o *Pensamento Sistêmico*, os pressupostos do *paradigma da complexidade*, as habilidades do *aprender a aprender* e a utilização de *tecnologias inovadoras* na busca do desenvolvimento de indivíduos e de organizações de ensino.

Assim, amparados em Senge (2005), coletamos os dados, a partir de um conjunto de passos sistematizados, onde cada um alcançou resultados que serviram como suporte para os seguintes, permitindo assim aprofundar cada vez mais a aprendizagem sobre a situação analisada.

Nesse sentido, a disciplina do Pensamento Sistêmico (ver seção 3.2.4.3.8.3), ao permitir um aprofundamento dos níveis das situações reais, foi gradualmente evidenciando os processos de mudança, iniciando pelos níveis menos elaborados até os níveis mais essenciais que são respectivamente os eventos, padrões de comportamento, estrutura sistêmica e modelos mentais.

Apoiado nos estudos sistêmicos apresentados por Senge em 1995, chamados de “Narração de Histórias”, Andrade (2006) elaborou o método de “Mudança Sistêmica”, em que propôs o entendimento de uma situação complexa através da construção de um plano de ações de alavancagem que tornassem o esforço na direção dessa mudança mais efetivo e sustentado.

Assim, buscando um modelo que melhor expressasse a estrutura e a dinâmica do sistema de ensino e aprendizagem estudado para poder nele intervir, amparados nos pressupostos de Senge e no método referendado por Andrade et al. (2006), adaptamos um roteiro que sendo gradativamente discutido com os estudantes, se orientou pelos seguintes passos:

No primeiro passo (objetivo da mudança), definimos claramente a nossa situação de interesse, identificando, dentro de uma realidade complexa, um problema historicamente conhecido, em que é descrita a variável indicadora para avaliação do entendimento do objetivo selecionado. Nesse passo, tendo o pesquisador refletido sobre o método a adotar, deve colocar em prática a sua habilidade de argumentação e inquirição, buscando informações a respeito do modelo mental dos atores que participarão da intervenção.

No segundo passo (lista de eventos), penetra-se no primeiro nível superficial de análise – o nível de eventos. O objetivo desse passo é situar historicamente os principais eventos associados à situação de interesse escolhida. Para tanto, verificamos quais seriam os eventos relevantes para a mudança pretendida, podendo ser tanto históricos (ocorridos no passado) quanto os projetados (possíveis de ocorrer no futuro). Também podem ser citados os eventos desejáveis, que poderiam colaborar para a mudança pretendida e que poderiam ocorrer no futuro. Nesse passo devem ser apresentadas tanto as listas de eventos do passado como a lista de eventos desejáveis ou possíveis.

No terceiro passo (identificação dos fatores-chave), a partir da lista previamente elaborada, identificamos os fatores que passaram a se tornar importantes para a compreensão da situação. É citado tudo que contribui para um resultado associado à mudança desejada e que esteja sujeito a variações. A lista resultante forma um conjunto de fatores quantitativos ou qualitativos.

No quarto passo (observando o comportamento), refletimos sobre o comportamento passado e as tendências futuras dos fatores-chave do sistema proposto, procuramos penetrar nos padrões de comportamento. Pode ser apresentada uma série de dados e/ou gráficos com o comportamento de cada entidade.

No quinto passo (desenho do mapa sistêmico e identificação das estruturas sistêmicas padrão), identificamos as relações causais e as influências recíprocas entre as entidades que revelam as estruturas sistêmicas e que determinam o padrão de comportamento a partir de comparação de curvas, hipóteses preliminares e intuições a respeito de influências recíprocas. Nesse passo devemos tentar identificar relações circulares ou enlaces e como apoio, podemos utilizar análise de correlação ou arquétipos. O objetivo, neste estágio metodológico, é desvelar estruturas sistêmicas que determinam padrões de comportamento dos elementos da realidade. Neste momento, está em teste o modelo mental do pesquisador, que tenta obter percepções a respeito do assunto abordado. Ainda nesse passo podemos tentar aplicar estruturas sistêmicas padrão. Tal ato permite o refinamento e enriquecimento da estrutura sistêmica. A aplicação da estrutura sistêmica padrão pode utilizar:

- a) Arquétipos.
- b) Estudos teórico-práticos da mudança organizacional compatíveis com a mudança pretendida.
- c) Relatos de mudanças ocorridas no passado, próprias ou de terceiros.

É útil, nesta fase, eliminar do mapa sistêmico as variáveis que pouco colaboram para a aprendizagem da situação, alcançando com isso o mapa sistêmico refinado.

No sexto passo (identificação dos modelos mentais), eliciamos alguns conteúdos dos modelos mentais presentes, gerando estruturas que, estando em conexão com a realidade, puderam ser inclusas no sistema, reafirmando a impossibilidade de dissociarmos nossa estrutura mental interna do mundo externo. Nesse passo, podemos elaborar modelos que apresentem as principais dimensões organizacionais envolvidas com a mudança, como a organizacional, política, cultural, liderança, tomada de decisão, comunicações e o ambiente. A ênfase maior poderá ser dada na análise das dimensões cultural e política, tendo em vista que estas são matéria-prima para a identificação de modelos mentais, o nível mais profundo do pensamento sistêmico. A identificação dos conteúdos dos modelos mentais em ação requer abertura para inquirição de comportamentos e crenças arraigadas. O final do passo tem como produto um mapa sistêmico completo que inclui os modelos mentais de atores relevantes. Nesse passo ainda podem ser visualizados, em cada fator, os pontos de alavancagem.

No sétimo passo (realizar modelagem computacional), obtendo uma representação razoável da realidade, pode-se transformar o diagrama de enlace causal obtido em um diagrama de fluxo, que possibilita modelar em computador. A vantagem do uso do computador é a possibilidade de alterar os parâmetros ou simular a passagem do tempo, além de avaliar as influências mútuas de maneira dinâmica. A principal função da modelagem é a

possibilidade da reavaliação dos modelos mentais dos participantes do processo, no sentido de que o computador oferece um lugar seguro para “experimentações”.

No oitavo passo (reprojetar a estrutura e elaborar o plano de mudança sistêmica), após a análise dos prováveis cenários, podemos reprojetar o sistema, ou seja, planejar alterações visando aos resultados desejados, considerando as consequências sistêmicas dessas alterações. Nesse caso, podem ser adicionados novos elementos ou novos enlaces ou mesmo quebrar ligações que produzem impactos indesejáveis, identificando os principais fatores de alavancagem. No nono passo implantamos, quando possível, uma intervenção sistêmica apoiada no princípio da alavancagem (ver seção 5.2.9).

5.2 Aplicação do método

A seguir, apresentamos os procedimentos adotados para aplicação do método explicitado na seção 5.1, explicando detalhadamente cada passo discutido com os estudantes, bem como os objetivos a serem alcançados em cada um deles.

5.2.1 Passo 1 – Definindo uma situação complexa de interesse

A necessidade de formar engenheiros civis que venham a enxergar o todo ao invés das partes, associando as questões ambientais nos diversos campos de suas atividades profissionais, é mais um dos vários fatores que poderão contribuir para vencermos a crise planetária que vivemos. Entretanto, nossa experiência como docente, adquirida ao longo dos 35 anos de docência no curso de Engenharia Civil da FURG (01/1980), tem evidenciado um conflito. Embora o tema ambiental ganhe mais espaço nos dias de hoje, historicamente a relação do sistema de ensino do curso de Engenharia Civil da FURG com as questões que envolvem o meio ambiente é muito distante. Tal situação pôde ser constatada através da nossa prática, num curso que valoriza as especificidades, propondo processos didático-pedagógicos que impedem o diálogo entre os diferentes campos do saber e as questões ambientais. Nesta situação são impostas interações disciplinares que, na melhor das hipóteses, ocorrem através da pluridisciplinaridade (ver seção 2.4), em detrimento de propostas interdisciplinares que poderiam abordar posições mais pluralistas.

Nesse contexto, sob influência do paradigma newtoniano-cartesiano que estimula o pensamento fragmentado e compartimentado, este sistema de ensino acaba promovendo uma educação tecnicista, em que a *reprodução* do conhecimento suscita o desenvolvimento de

conteúdos restritos às disciplinas das diferentes áreas tecnológicas, abordando aspectos específicos da realidade objeto de cada campo de trabalho, desprezando as possíveis relações e pontos de confluência com outros corpos teóricos, que poderiam colaborar para um melhor desfecho no que diz respeito ao envolvimento com as questões socioambientais.

Com isso, as condições históricas do ensino na Engenharia Civil da FURG, ao valorizar a simplificação, o pragmatismo e a funcionalidade, influenciam não só o tipo de pensamento que impõem, mas também o não-desenvolvimento de aptidões e atitudes em que estudantes e docentes, ao deixarem de enxergar na EA uma prática indispensável para trabalhar as questões ambientais, obtenham resultados que lhes permitam adotar uma posição crítica e ao mesmo tempo participativa no que diz respeito ao envolvimento da EA em sua práxis.

Sendo assim, como exigir do estudante e futuro engenheiro civil egresso da FURG, em seu cotidiano, a preocupação com o consumo dos materiais naturais, com o planejamento ecológico e com os impactos socioambientais local e global, se os valores considerados no referido curso estão centrados na relação custo-benefício que prioriza os aspectos econômicos?

Para responder a esse questionamento, precisamos de propostas e atuações que, compondo novos elos epistemológicos, favoreçam a inclusão das finalidades, princípios e objetivos da EA no sistema de ensino estudado, proporcionando aos estudantes uma concepção sistêmica de desenvolvimento sustentável que objetive, além da preocupação com o desempenho tecnológico inerente à profissão, uma confrontação com os efeitos nocivos de uma prática onde normalmente são desprezados os aspectos subjetivos, políticos, sociais, culturais e ambientais.

Um dos procedimentos que pode ser adotado para enfrentar tal fenômeno é o encontro com um método didático-pedagógico que, gerenciando as habilidades dos modelos mentais dos atores envolvidos, possa promover um ciclo de aprendizagem profunda (SENGE, 2005). Ou seja, *um aprender a aprender* que, sendo significativo, possibilite ao estudante se aproximar da dinâmica complexidade dos fenômenos naturais, expressando-a num linguajar que, inserindo o pensamento analítico no pensamento sistêmico, busque a emergência de um conhecimento que torne o desenvolvimento das sociedades verdadeiramente sustentáveis.

Com esse pensamento, a partir de meados de 2010, quando da realização do Mestrado em Avaliação de Impactos Ambientais, iniciamos nosso projeto de pesquisa, posteriormente solicitando junto à coordenação do curso de Engenharia Civil a oferta das disciplinas de Laboratório de Atividades Integradoras em Engenharia (LAIEC I e II) atualmente denominada Sustentabilidade em Engenharia Civil. Tal procedimento veio a colaborar com a pesquisa, pois ali implantávamos nossa arquitetura organizacional através de uma das ideias

norteadoras (ver seção 3.2.4.3.8) que, articulada com a infraestrutura necessária para práticas pretendidas, permitiria a utilização de métodos, técnicas e um conjunto de teorias que possibilitariam a construção do conhecimento pretendido.

Posteriormente, encaminhando o projeto de pesquisa e a seleção dos atores que poderiam compor o cenário mais adequado às nossas hipóteses, fornecendo um pré-diagnóstico da situação, organizamos três encontros extracurriculares com estudantes de Engenharia Civil e que estavam cursando o penúltimo ano. O primeiro encontro, com uma hora de duração, aconteceu ao final da aula da disciplina de Eletrotécnica Geral, ministrada pelo pesquisador, visando à formação da primeira turma de LAIEC I. Nesse encontro, buscando eliciar conteúdos dos modelos mentais dos estudantes, surgiram as primeiras evidências do submetimento destes ao pensamento analítico quando, ao expormos os objetivos do projeto através dos pressupostos do paradigma da complexidade, registramos a surpresa do grupo quanto aos aspectos progressistas do plano pedagógico a ser adotado. Quando motivados a refletir e expor verbalmente as impressões que tinham a respeito das interações entre suas atividades como futuros engenheiros e os aspectos éticos, sociais, políticos, culturais e ambientais, observamos que a grande maioria demonstrou um grande desconhecimento do assunto. Quanto aos aspectos associados à compartimentalização, a dissociação e a reprodução do conhecimento, estes se fizeram notar à medida que nos pronunciamentos dos estudantes, prevaleceram concepções espontâneas nada críticas a respeito dos objetivos da EA e da SD, expondo conteúdos dos seus modelos mentais instituídos no decorrer do curso de Engenharia que, sendo nitidamente racionais e técnicos, separavam os saberes naturais dos saberes sociais.

No segundo encontro, ainda buscando um diagnóstico inicial, procurando motivar os estudantes a participar do projeto, utilizamos as premissas da Teoria do Estabelecimento de Metas (LOCKE; LATHAM, 1990), entendendo que as metas quando claramente especificadas são verdadeiras motivadoras da conduta para desenvolver objetivos, e apresentamos a eles os fatores de motivação capazes de colaborar para a adesão ao projeto, com este roteiro:

- a) A proposta do desenvolvimento de suas capacidades e aptidões para utilizar técnicas computacionais nos procedimentos de engenharia e também em processos de Gestão Ambiental Sistêmica (GAS), mediante a aplicação da modelagem computacional semiquantitativa com STELLA. Foi explicado que tal atividade lhes possibilitaria desenvolver o pensamento através da elaboração de cenários que integrassem conhecimentos adquiridos na disciplina de Eletrotécnica e suas consequências para o meio ambiente. Esse processo possibilitaria a visualização de situações que poderiam

expressar graficamente o comportamento dinâmico das interações entre variáveis quantitativas e variáveis qualitativas tais como as políticas, sociais, culturais, econômicas e ambientais envolvidas com os conteúdos da geração de energia elétrica.

- b) Enxergar a importância da integração da EA e da SD com as atividades do engenheiro civil que dizem respeito à gestão ambiental e suas tomadas de decisão na vida profissional.
- c) Perceber a autonomia que os princípios de uma EA crítica e reflexiva trariam para planejar e executar sua profissão, sentindo-se responsáveis por seus resultados.
- d) Perceber através do Pensamento Sistêmico os *feedbacks* que o estudante recebe sobre a qualidade e quantidade de seu desempenho.
- e) Desenvolver um cronograma de atividades que, sendo aceito pela turma, não ultrapassaria a disponibilidade de cada um, haja vista que o estudante de Engenharia costumeiramente trabalha no limite de sua capacidade, realimentando seu nível de exigência.
- f) A implantação de um sistema de avaliação atrelado à participação em sala de aula, trabalhos extraclasse, assiduidade e a realização dos pré-testes e pós-testes, substituindo as avaliações reprodutivas e punitivas do sistema tecnicista.
- g) A obtenção dos créditos da disciplina que, mesmo sendo optativa, iriam colaborar com as metas de carga horária exigidas para finalização do curso.
- h) O acompanhamento do pesquisador como orientador de um projeto elétrico adequado às questões ambientais, que seria posteriormente apresentado como parte do trabalho de conclusão de curso (TCC).
- i) A proposta de transformar, junto com o pesquisador, a sala de aula num sistema aprendente que, embasado nos pressupostos da pedagogia da complexidade, incentivasse a reflexão e a argumentação sobre aspectos como a subjetividade, as questões sociopolíticas dos temas abordados, a conscientização democrática, a cidadania, a interdisciplinaridade, o alcance do pensamento sistêmico como uma abordagem para atuação sobre os modelos mentais dos estudantes que, podendo ser expresso através da modelagem computacional com STELLA, poderia criar possibilidades que lhes permitissem gerir melhor suas habilidades com seus próprios modelos mentais, obtendo com isso uma participação genuína nas tomadas de decisões que dizem respeito à gestão de fenômenos complexos.
- j) A proposta de conjuntamente modificarmos crenças e valores pessoais que, tendo sido consolidados durante o processo do desenvolvimento social e pessoal de cada um, se tornariam âncoras para novas convicções, ideias ou conceitos aprendidos que depois de

internalizados e compartilhados, dizem respeito ao que vem a ser bom, certo e desejável para o real conhecimento da SD.

Por último, no terceiro encontro, dando sequência ao estudo, buscando subsídios que nos permitissem eliciar o padrão de comportamento do sistema de ensino de Engenharia Civil, os modelos mentais dos estudantes a ele pertencentes e também selecionar os estudantes que participariam do processo, realizamos a aplicação do primeiro questionário (pré-teste), num grupo de 40 estudantes matriculados na disciplina de Eletrotécnica e na disciplina de LAIEC I ministradas pelo pesquisador.

5.2.2 Passo 2 – Apresentando a história através de eventos

Para poder refletir e argumentar sobre os objetivos da pesquisa, analisamos alguns eventos que encaminharam a situação de interesse, amparados nos pressupostos do sistema de ensino tecnicista predominante nos cursos de engenharias. Os eventos foram em grande parte identificados, através da nossa experiência como docente e discente do curso de Engenharia Civil da FURG, como membro da coordenação de curso de engenharia civil, pela fundamentação adquirida como especialista em Metodologia do Ensino Superior pela FURG e através das discussões com os estudantes.

É importante ressaltar que, bem antes da fundação dos cursos de Engenharia (1955) na cidade do Rio Grande, surgia no final do século XIX e início do século XX, sob influência do paradigma newtoniano-cartesiano, da revolução industrial, do regime capitalista e da doutrina do positivismo, uma ação pedagógica que, execrando o erro, se baseava na racionalidade, na eficiência e na eficácia. Ou seja, a abordagem tecnicista no ensino.

A partir dos anos 70, sob essa abordagem, ainda influenciada pelos pressupostos anteriores, e se associando às exigências das ciências, do regime militar instituído no Brasil e do MDE, iniciava uma reordenação do processo educativo, estruturando uma pedagogia e uma educação que pudesse torná-la mais racional, objetiva e operacional. Tal pedagogia tecnicista, ao minimizar as interferências subjetivas e qualitativas, propunha um sistema de ensino que, ao promover a cisão entre sujeito e objeto, acabava por produzir uma educação fragmentada e mecanicista que, separando a mente do corpo e as ciências sociais das ciências naturais, se associava a preceitos científicos que transferem para a educação e para o ensino as prerrogativas de um sistema fechado e compartimentado.

Esse processo, sob forte influência do atual sistema capitalista, exige um engenheiro voltado para o sistema produtivo, transferindo para a escola uma forma de funcionamento

similar ao de uma fábrica, em que são deixadas de lado as especificações de uma educação mais humanizada. Assim, os cursos de engenharia passam a adotar um modelo de ensino que propõe treinar os alunos e modelar seu comportamento de acordo com as leis de mercado.

Segundo Behrens (2011), na dinâmica desse sistema o professor adota em sala de aula a prática da reprodução do conhecimento, buscando comportamentos desejados através de premiações, notas, elogios e outros procedimentos que, sob a influência da Teoria do Reforço¹⁷ proposta por Skinner, programa um ensino prevendo um comportamento desejável e o produto final. Nesse processo o professor é levado pelo racionalismo e determinismo das ciências exatas, aplicando a técnica pela técnica na busca do melhor desempenho dos alunos.

Essa abordagem comportamentalista exige do estudante respostas prontas e corretas, eficiência, competência com a matematização, tudo obtido através de um método repetitivo e mecânico em que a retenção do conhecimento acontece através da repetição de exercícios. A resposta obrigatoriamente tem que ser correta e os erros são punidos com severidade. Nesse contexto, o estudante torna-se passivo, acrítico, obediente e até certo ponto ingênuo.

Sendo assim, o sistema de ensino nos cursos de Engenharia passa a se caracterizar por treinamentos que são oferecidos de forma a ofertar primeiro as disciplinas teóricas e posteriormente as práticas, fortalecendo a dicotomia entre teoria e prática.

Para estimular a técnica de assimilação e repetição, o professor intermitentemente utiliza recursos que facilitam a reprodução exata do conteúdo, que será avaliado ao final como um produto. Por sua vez, as avaliações reprodutivas exigem uma grande dose de memorização e retenção que, segundo os pressupostos de Ausubel (1968), não vão além de uma aprendizagem mecânica. Nesse processo, tal sistema de ensino, contrastando com a aprendizagem significativa, têm como consequência um alto índice de reprovação. Segundo Behrens (2011), nesse contexto, a educação é proposta nos moldes de uma fábrica, onde o estudante entra numa esteira de produção, é processado e resulta num produto.

Atualmente, a dinâmica do sistema de ensino e aprendizagem no curso de Engenharia Civil da FURG continua acontecendo dentro dos moldes anteriormente explicitados, sendo o aluno preparado para atender as prerrogativas do atual MDE, orientado pelo pensamento analítico. Não podemos negar que precisamos de engenheiros com competência técnica para atender as exigências da sociedade moderna. Negar o ensino da tecnologia seria ingenuidade e insensatez. Porém, o desfecho que propomos para esta situação é aliar a competência técnica

¹⁷ A Teoria do reforço de Skinner conclui que as ações com resultados positivos sobre as pessoas, fazem com que estas práticas venham a ser repetidas no futuro. Já os comportamentos que são punidos, tendem a ser suprimidos embora não desapareçam e voltem disfarçados. (FADIMAN,1986)

com outras competências como as subjetivas, sociopolíticas, ambientais e com outras onde o pensamento analítico não tenha seus preceitos fundamentais entendidos como universais. Para Kasper (2000), o pensamento analítico deve ser utilizado em aplicações que os concebam como modelos úteis de fenômenos, situações e problemas onde há aceitação dos mesmos. Ou seja, nas suposições analíticas e com seus critérios de validação, uma vez que somente pensar analiticamente e simplesmente incentivar o desenvolvimento tecnológico, valorizando a técnica pela técnica, tem afetado profundamente a natureza e destruído valores humanos, como a solidariedade, a paz, a justiça e o amor à vida em todas as suas formas de expressão. Com isso, observamos que poderíamos colaborar com tal sistema de ensino, adotando outro caminho que fosse o educar através do novo paradigma da complexidade, que, ao não desprezar os avanços da ciência, enxerga os dinâmicos e complexos fenômenos naturais. Para resolver tal dilema, devemos utilizar uma nova maneira de pensar que, sendo sistêmica, nos permita enxergar a realidade sob outra perspectiva no que diz respeito ao conhecimento necessário para o encontro com processos que verdadeiramente sustentem a vida no planeta.

Para confirmar nossas observações a respeito do sistema de ensino e aprendizagem do curso de Engenharia Civil da FURG, analisamos o planejamento das disciplinas através do quadro de sequência lógica (QSL) do curso em questão (ver anexos 1 e 2) por vários anos, e não constatamos nas ementas de suas disciplinas e nos planos didático-pedagógicos, a inclusão das finalidades, objetivos e princípios básicos da EA que pudessem encaminhar a construção do Conhecimento da SD forte. Chamaram atenção naquele momento (2013) três situações específicas: as disciplinas Auditoria Ambiental, Ciências do Ambiente e Avaliação de impactos ambientais (não estava sendo oferecida desde 2009) citadas no QSL. Nessas disciplinas, além da ausência de práticas pedagógicas para uma EA crítica, emancipatória e transformadora, também não eram contemplados nos seus planos de ensino (ver anexo 2), conteúdos e bibliografia contendo conhecimentos que, associados aos princípios básicos do Pensamento Sistêmico, da interdisciplinaridade e da complexidade ambiental, poderiam vir a materializar uma eficiente gestão ambiental sistêmica (GAS).

Tais análises, juntamente com as respostas dos estudantes no primeiro questionário (pré-teste), vieram a comprovar a estrutura apolítica, analítica, reducionista, compartimentada e mecanicista do sistema de ensino em vigor no curso de Engenharia Civil da FURG.

Com isso, no sistema de ensino analisado, fica evidente despreparo para *ensinar a aprender* ou *aprender a aprender* a complexidade do meio ambiente, quando nesse processo não priorizamos a construção do conhecimento ambiental, desestimulando o valorizar a integralidade da pessoa humana e o reconhecimento de diversas formas de conhecer, que

venham a possibilitar compreender e transformar a realidade (RIOJAS, 2003, p. 227).

Ainda buscando fatos históricos que fortalecessem o encontro com nossos propósitos de pesquisa, procuramos, nos cursos de Doutorado e Mestrado do PPGEA da FURG, trabalhos atuais de ensino, pesquisa e extensão que fizessem interface com o curso de Engenharia Civil da FURG, e constatamos o isolamento entre esses campos do saber, com o agravante de que os professores dessa área, dita *exata*, continuam a não se interessarem ou a não serem motivados a se aproximarem do referido programa.

Do acima exposto, apresentamos no quadro 2 os eventos que contribuíram e que ainda estão contribuindo para o comportamento do sistema de ensino analisado:

Quadro 2 – Lista de eventos

Eventos	
1	Influência do <i>paradigma newtoniano-cartesiano</i> e do <i>positivismo</i> na construção da <i>educação tecnicista</i> .
2	Influência da <i>ciência</i> na formação do <i>paradigma tecnicista</i> .
3	Influência da <i>ciência</i> na educação, transferindo para o ensino de Engenharia a visão de sistemas fechados, compartimentados e mecanicistas.
4	O <i>capitalismo</i> e o atual <i>MDE</i> exigem do ensino de Engenharia um método <i>pedagógico tecnicista</i> pautado pela <i>cisão entre sujeito e objeto, ciência natural e social</i> e pela <i>reprodução do conhecimento</i> .
5	O atual <i>MDE</i> articula a formação do estudante para o <i>sistema produtivo</i> .
6	<i>Professores com formação determinista, reducionista, mecanicista e analítica</i> aplicam a <i>técnica pela técnica</i> , exigindo do estudante a <i>alta performance</i> .
7	A <i>Teoria do Reforço</i> programa o ensino prevendo o <i>comportamento desejado e o produto final</i> .
8	<i>Escola funciona como modeladora de comportamento</i> .
9	<i>Estudante se apresenta como um espectador</i> que só aprende através de <i>estímulos e reforços</i> , através de <i>respostas prontas e corretas</i> . O <i>erro</i> é sancionado com severidade.
10	<i>Avaliações reprodutivas</i> que levam à exigência de uma grande dose de <i>memória e retenção</i> , tendo como consequência um <i>alto índice de reprovação</i> .
11	<i>Competência técnica</i> desvinculada da <i>competência política</i> .
12	<i>Conteúdos programáticos</i> afastados dos <i>objetivos da EA</i> .
13	<i>Estudante ingênuo, obediente, responsivo, condicionado e privado de criticidade</i> .
14	Desconhecimento por parte dos estudantes do <i>paradigma da complexidade</i> .
15	Desconhecimento por parte dos estudantes dos pressupostos e da linguagem do <i>Pensamento Sistêmico</i> .
16	<i>Modelos mentais</i> arraigados a linguagem e aos pressupostos do <i>pensamento analítico</i> .
17	Desconhecimento por parte dos estudantes do <i>dinamismo e da complexidade dos fenômenos naturais</i> .
18	Desconhecimento por parte dos estudantes da impossibilidade de aplicação do <i>pensamento analítico</i> para explicar os dinâmicos e complexos fenômenos da vida.
19	Estudante acrítico que <i>pensa analiticamente</i> , desconhecendo os processos de materialização da <i>sustentabilidade do desenvolvimento (SD)</i> .
20	Desconhecimento por parte dos estudantes dos processos <i>interdisciplinares</i> .

Fonte: Autoria própria, 2013.

5.2.3 Passo 3 – Identificando os fatores-chave

Com base nas considerações anteriores, apoiados em nossa experiência de 35 anos com docente do curso de Engenharia Civil da FURG e nas discussões e pré-análise do primeiro questionário aplicado em 40 estudantes do curso em questão, identificamos alguns fatores que puderam ser elencados como fundamentais para a dinâmica da situação apresentada, uma vez que cada evento é uma variação percebida no comportamento de pelo menos um fator importante que atua na situação analisada. Assim, no quadro 3, citamos aqueles mais importantes e que poderiam contribuir para a mudança desejada, entendendo ser o *Pensamento analítico* o mais influente dos fatores-chave na dinâmica do comportamento do sistema estudado.

Quadro 3 – Lista dos fatores

Fatores			
Paradigma newtoniano-cartesiano	Positivismo	Revolução industrial	Sistema capitalista
MDE	Ciência	Pedagogia e educação tecnicista	Teoria do Reforço
Racionalismo/determinismo	Reprodução do conhecimento	Eficiência e competência	Separação teoria e prática
Treinamento para premiação	Pluridisciplinaridade	Pensamento analítico	Aprendizado mecânico
Comportamento acrítico	Comportamento obediente e ingênuo	Dicotomia sujeito/objeto	Dicotomia ciências sociais e naturais
Punição pelo erro	Valorização do acerto	Alta performance	Competência técnica

Fonte: Autoria própria, 2013.

5.2.4 Passo 4 – Traçando os padrões de comportamento dos fatores-chave

No quarto passo, refletindo sobre o comportamento passado e as tendências futuras dos fatores-chave do sistema analisado, procuramos penetrar nos padrões de comportamento do sistema. Para tanto analisamos alguns fatores a partir de 1980, observando suas mudanças ao longo do tempo, amparado pela pesquisa bibliográfica que permitiu elaborar a rede sistêmica de conhecimentos da SD (ver figura 3), nas discussões das justificativas apresentadas pelos estudantes no primeiro questionário, nas experiências do pesquisador como docente da FURG no período mencionado, nos dados apurados através dos QSL e nas ementas das disciplinas.

Com isso, percebemos que no período estudado, os fatores-chave se inter-relacionavam, tendendo a formar vários laços de reforço, aumentando suas intensidades com

o passar do tempo. Os padrões de comportamentos que entendemos estar estabelecidos são os registrados no quadro 4.

Quadro 4 – Padrões de comportamento

Padrões de comportamento	
1	O estímulo aos métodos pedagógicos da educação tecnicista
2	O constante reforço do pensamento analítico
3	O constante incentivo a metodologia tecnicista através do processo de reprodução do conhecimento
4	A crescente premiação pelo acerto e punição pelo erro
5	O crescente incentivo pedagógico à aprendizagem mecânica
6	O estímulo permanente à separação sujeito-objeto
7	A exponencial apologia ao paradigma newtoniano-cartesiano
8	A evolução do comportamento acrítico dos estudantes no que diz respeito aos conhecimentos éticos, políticos, estéticos, sociais, culturais e filosóficos que envolvem o meio ambiente
9	O desconhecimento, por parte dos professores, de aspectos que dizem respeito à pedagogia da complexidade
10	A permanente orientação do ensino para os preceitos do MDE que trabalha a favor dos interesses do mercado
11	O crescente desconhecimento, por parte dos estudantes e professores, da interação entre as questões ambientais e os aspectos técnicos da profissão de Engenheiro Civil
12	O desconhecimento da complexidade ambiental
13	O desconhecimento dos objetivos da EA
14	O desconhecimento dos princípios da SD
15	O desconhecimento do paradigma sistêmico
16	O pequeno conhecimento das ferramentas de GAS
17	O desestímulo aos pressupostos pedagógicos que envolvam a subjetividade humana
18	A inexistência de estudos que envolvam a análise qualitativa
19	O desconhecimento dos preceitos da Segunda Lei da Termodinâmica aplicados aos fenômenos complexos
20	O crescente afastamento da interdisciplinaridade

Fonte: Autoria própria, 2015.

5.2.5 Passo 5 – Desenhar o mapa sistêmico

O objetivo deste passo é identificar as relações causais entre os fatores, partindo de hipóteses preliminares, das intuições e conhecimento especializado a respeito das influências recíprocas que advêm dos padrões de comportamento dos fatores identificados (quadro 3). É importante lembrar que, para tanto, foi necessário definir a situação complexa de interesse (seção 5.2.1), cuja história está associada aos eventos citados na seção 5.2.2.

Quadro 5 – Modelos mentais dos estudantes

<i>Modelos mentais dos estudantes</i>	
1	<i>São conhecidos cientificamente os impactos ambientais causados pelo aumento populacional que incrementa a produção e o consumo.</i>
2	<i>Atualmente podemos crescer economicamente e aspirar preservação ambiental.</i>
3	<i>Os problemas de engenharia para serem solucionados e materializados só dependem de recursos financeiros e vontade política.</i>
4	<i>Desconheço a relação entre as leis da oferta e da procura e o consumo de energia elétrica.</i>
5	<i>Desconheço se os conteúdos programáticos do curso de Engenharia Civil, da maneira como estão sendo trabalhados, nos aproximam dos problemas da sociedade.</i>
6	<i>Os cursos de Engenharia Civil da FURG formam profissionais para encontrar, soluções técnicas e econômicas de uma obra.</i>
7	<i>Os cursos de engenharia não estão familiarizados com a implementação da ISO 14001 na construção civil.</i>
8	<i>A complexidade ambiental não tem características caóticas.</i>
9	<i>Não sei afirmar se nos sistemas complexos as interações são não-lineares.</i>
10	<i>Os organismos vivos, na busca do equilíbrio, mantêm sua organização às custas de uma organização global.</i>
11	<i>Não sei por que, mas só podemos conhecer as partes se conhecermos o todo.</i>

Fonte: Autoria própria, 2013.

Para poder colaborar com essa possível identificação dos modelos mentais dos estudantes, elaboramos um instrumento de pesquisa que foi aplicado no início e no final da intervenção e que permitiu, através de uma análise mais rigorosa das justificativas apresentadas, confirmar ou não hipóteses, documentar interpretações emergentes, avaliar indícios de mudanças na forma de pensar, confirmar aspectos dos modelos mentais vigentes, reavaliar o futuro da intervenção adotada, averiguando a construção de aprendizagem significativa no que diz respeito aos objetivos progressistas da EA e a utilização da modelagem computacional com STELLA.

O encaminhamento da identificação dos possíveis modelos mentais dos estudantes antes da intervenção se orientou pelos procedimentos descritos nas seções subsequentes.

5.2.6.1 A construção do instrumento de pesquisa, a seleção dos estudantes e aplicação do primeiro questionário

Articulando elementos da nossa arquitetura organizacional, no domínio da ação, procurando respostas para as questões de pesquisa foi preciso eliciar alguns elementos do domínio cognitivo que expressavam os modelos mentais dos estudantes, elaborando um instrumento que, alicerçado no referencial de pesquisa, pôde auxiliar na avaliação do comportamento dos fatores-chave e modelos mentais que dinamizam o sistema analisado. Para tanto foram planejadas 24 afirmativas que, associadas à escala tipo Likert e as

taxionomias de objetivos educacionais de Bloom (1972) e seus colaboradores, pudessem refletir as concepções dos estudantes a respeito da interação entre sua práxis na FURG, os objetivos da EA, o paradigma sistêmico e o conhecimento da SD.

Esse instrumento de atividades expressivas, após elaborado, foi aplicado nos estudantes, solicitando seu posicionamento a respeito da afirmativa, utilizando para tanto uma escala do tipo Likert. Nesse processo, num espaço determinado, o estudante deveria justificar sua resposta de forma descritiva, tecendo comentários a respeito da sua posição. Tal procedimento, já utilizado por Kurtz dos Santos (1992), Farias (2003) e Orsini (2011), teve como proposta final o acesso aos dados quantitativos e qualitativos que deram sustentação à nossa pesquisa.

A escala Likert, apresentada por Rensis Likert (1903-1981) em sua dissertação *A Technique for the Measurement of Attitudes* (1932), é um instrumento estatístico muito usado para medir os níveis de dados coletados em pesquisas que versam sobre atitudes e concepções (ver capítulo 2). Normalmente é aplicada na forma de questionários e apresenta indagações ou afirmações sobre determinado assunto. Cada pergunta formulada, ou item de Likert, deve ser respondida de acordo com critérios que podem ser objetivos ou subjetivos, podendo ir de determinado posicionamento ao posicionamento contrário, onde o ponto médio é reservado para indicar uma posição indecisa ou desconhecida, de maneira que o total de questões de um instrumento compõe a escala do tipo Likert. O formato mais comum do instrumento é o de cinco níveis que expressam a posição do entrevistado. Esses níveis poderão, de acordo com os objetivos da pesquisa, variar em escalas positivas (5, 4, 3, 2, 1) ou positivas e negativas (-2, -1, 0, +1, +2), nas quais se adota o nível zero para a posição intermediária ou desconhecida. Nesta pesquisa-ação, a realização do instrumento de pesquisa obedece à estrutura da escala tipo Likert, que, além dos níveis afirmativos e negativos, traz a opção do posicionamento intermediário, que deverá ser desconsiderado na maioria das respostas, por não comportar concepções ou atitudes do estudante no que diz respeito ao tema proposto na afirmativa. Entretanto, naquelas situações em que o estudante optar pela posição intermediária e em sua justificativa mostrar conhecimento a respeito da questão, estará pontuando de acordo com a escala tipo Likert com os cinco níveis de convenção que apresentamos a seguir:

- A – CONCORDO FORTEMENTE
- B – CONCORDO
- C – TENHO DÚVIDAS
- D – DISCORDO
- E – DISCORDO FORTEMENTE

Dando sequência à pesquisa-ação e para atender à proposta do questionário, o entrevistado deveria, num primeiro momento, posicionar-se a respeito da afirmativa selecionada, expressando no quadro a letra da sua concepção ou atitude de acordo com os níveis de convenção da escala acima. A seguir, o estudante deveria justificar por escrito sua concepção ou atitude no espaço reservado para essa finalidade.

Cada afirmativa que compôs o questionário teve um propósito integrado à abordagem progressista, que nesta pesquisa envolvia o conhecimento das categorias dos objetivos da EA de acordo com a carta de Belgrado (1975). Na rede sistêmica (ver quadro 6), cada afirmativa estava associada a um tema que aparece identificado por um número de 1 a 24.

Quadro 6 – Associação das afirmativas com as categorias dos objetivos da EA no referencial de pesquisa

Categorias do referencial de pesquisa	Afirmativa
Concepções sobre a complexidade ambiental	10, 19, 20, 21, 22, 23 e 24
Concepções que fazem interface com a sustentabilidade	2, 3, 4, 7, 8, 12, 16 e 17
Concepções comportamentais	1 e 6
Concepções avaliadoras	5, 9, 13, 14, 15 e 18
Concepções sobre a cidadania	11

Fonte: Autoria própria, 2013.

5.2.6.2 O instrumento de pesquisa

As 24 afirmativas do instrumento de pesquisa de cada categoria da abordagem progressista de EA, bem como as justificativas que orientam o nível de convenção adotado pelo pesquisador, são apresentadas no quadro 7.

Quadro 7 – Instrumento de pesquisa (pré-teste)

Instrumento de pesquisa com os posicionamentos e justificativas de cada categoria	
Categoria 1 – Afirmativas que dizem respeito à conscientização	
<p>Nesses itens de Likert, os alunos são levados a explicar suas concepções a respeito da consciência que deveriam ter relacionadas ao meio ambiente global e de problemas conexos (complexidade ambiental), chamando a atenção para a crise planetária que afeta a todos.</p> <p>Nesta direção, foram elaboradas as afirmativas 10, 19, 20, 21, 23 e 24, em que é apresentada a opção pertinente a cada uma delas, bem como as justificativas que julgamos ser as mais adequadas.</p>	
<p>AFIRMATIVA 10 - São extremamente necessários conhecimentos das leis da termodinâmica e do eletromagnetismo nos estudos dos impactos ambientais decorrentes do funcionamento de uma termoelétrica.</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40px; margin: 0 auto;">A/B</div>
<p>Justificativa: Precisamos compreender que o conhecimento é sempre histórico e, sendo assim, pede que seja sempre revisitado, ou seja, seja sempre reintroduzido. Nesta direção, os estudos que envolvem o conhecimento da sustentabilidade do planeta, sendo interdisciplinares, estão aninhados em subsistemas de conhecimentos, dos mais gerais até os mais específicos, envolvendo aspectos da matriz energética do atual MDE. No caso de geração de energia elétrica por meio da utilização de combustíveis fósseis, os aspectos das leis do eletromagnetismo e da termodinâmica, mais recentemente a de não-equilíbrio, irão cooperar com o entendimento do todo que envolve o conhecimento dos problemas ambientais advindos de tal processo. Resumindo, é o entendimento do todo mediante o conhecimento de suas partes.</p>	
<p>AFIRMATIVA 19 - Hoje o conhecimento é um desafio, pois só podemos conhecer as partes se conhecermos o todo em que as partes se inserem.</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40px; margin: 0 auto;">A/B</div>
<p>Justificativa: o novo paradigma científico diz que as propriedades de um sistema vivo são propriedades do todo, não encontráveis em nenhuma de suas partes. Estas propriedades são resultados de interações e relacionamentos entre as partes que desaparecem quando as partes são dissecadas, física ou teoricamente, em elementos separados. Assim o sistema deve ser estudado como um todo e não pode ser reduzido às propriedades de cada parte. Nesta direção, o conhecimento ambiental exige a troca de saberes, a conectividade entre as diferentes áreas do conhecimento, objetivando em última instância verificar como a sociedade humana, como parte de um sistema maior, o ecossistema global, o todo, influencia os diferentes ecossistemas com os quais interage.</p>	
<p>AFIRMATIVA 20 - O homem altera o meio ambiente, que por sua vez causará algum tipo de influência sobre o homem.</p>	

A/B

Justificativa: no pensamento sistêmico, é preciso incorporar o princípio do circuito recursivo. É importante compreendermos que os produtos são sempre produtores e que o fim de um processo irá realimentar o início, formando os processos circulares de realimentação de energia e informação que estão na base de todos os processos de organização dos sistemas abertos, tanto naturais como antrópicos. Dessa forma, podemos observar as consequências de nossos atos sobre o meio ambiente, regulando ações e tomando decisões que venham a atenuar a resposta do meio ambiente frente aos impactos negativos produzidos pelo homem.

AFIRMATIVA 21 - A emergência da complexidade ambiental acontece no espaço onde estão em constantes interações somente os aspectos da natureza.

D/E

Justificativa: a atual crise ambiental, fruto do conhecimento fragmentado e compartimentalizado, ao desconhecer a complexidade do real, onde surgem propriedades características do conjunto e não das partes, acabou enunciando a emergência da complexidade ambiental que mostra essas propriedades, surgindo não somente devido às constantes interações dos aspectos da natureza, mas também devido às interações desta com os sistemas antrópicos.

AFIRMATIVA 23 - Nos sistemas entendidos como complexos, podem ocorrer interações não lineares entre seus elementos constituintes.

A/B

Justificativa: os sistemas complexos sempre comportam emergências marcadas por transformações, mutações e evoluções que exigem interações não lineares entre seus subsistemas, ou seja, pequenas causas gerando grandes efeitos, fazendo com que se originem comportamentos que não são apenas as somas dos comportamentos de suas partes.

AFIRMATIVA 24 - Organismos vivos que estão em permanente busca do equilíbrio mantêm sua organização à custa de uma maior desorganização global.

A/B

Justificativa: segundo Prigogine, a vida acontece em ilhas de organização cercadas por um mar de desorganização, onde os processos naturais evoluem na direção do aumento de entropia. Sendo assim, neste contexto, os organismos vivos, para manterem a sua organização retiram energia de alta qualidade do meio ambiente, modificando-o e aumentando a sua desorganização.

Categoria 2 - Concepções que dizem respeito ao conhecimento científico em interface com a SD

Quanto aos itens de Likert relacionados à dimensão do conhecimento, o aluno deve explicar as concepções que possuem a respeito do meio ambiente global, dos problemas a ele interligados mediante a construção de conhecimentos científicos que permitam uma melhor atuação frente aos problemas ambientais. As afirmativas a seguir verificam indícios de tal aprendizado, quando estes, ao afirmar que a mesma é correta, apresentam justificativas coerentes para as afirmativas 2, 3, 4, 7, 8, 12, 16, 17 e 22 abaixo apresentadas.

AFIRMATIVA 2 – A capacidade do meio ambiente de reciclar matéria e absorver resíduos é infinita.

D/E

Justificativa: de acordo com a lei da conservação da massa, esta não pode ser criada nem destruída e sim, transformada. Dentro do ecossistema, energia e matéria movem-se em ciclos onde todas as substâncias são recicladas. Com isso a capacidade do meio de absorver resíduos e reciclá-los requer um determinado intervalo de tempo. Atualmente, os resíduos estão sendo criados num ritmo que se sobrepõe à capacidade de reciclagem do meio ambiente.

AFIRMATIVA 3 – A engenharia é responsável pela maior oferta de alimentos, nível de conforto e saúde do homem. Nesse contexto, o crescimento populacional vem exigindo a incrementação da produção e do consumo, desconhecendo cientificamente os impactos negativos produzidos por esse desenvolvimento.

A/B

Justificativa: realmente a tecnologia tem trazido grandes avanços para a qualidade de vida do homem. Entretanto, de acordo com a 2ª Lei da Termodinâmica, é impossível ganharmos sempre. O aumento da qualidade de vida, proporcionado pelos fatores anteriormente citados, traz consigo não apenas a luta pelo solo, mas também por água e ar, num ambiente hostil, onde começa a imperar a violência rural e urbana. Situações de conflito fruto da intolerância, por motivos etno-religiosos e também pela atual situação político-econômica global, resultando num aumento populacional que, em última instância, acaba por incentivar os impactos ambientais negativos que são em sua maioria desconhecidos cientificamente pelo homem. A ordem associada à desordem, conforme relata Prigogine (1996a) na definição das estruturas dissipativas.

AFIRMATIVA 4 – Quanto maiores forem as aspirações de preservação ambiental, menores serão as possibilidades de crescimento econômico.

A/B

Justificativa: está constatado que o atual MDE, que visa ao lucro acima de tudo, exige uma maior agilidade na produção e no consumo, acabando com isso por gerar graves problemas socioambientais, ou seja, um modelo não sustentável. Assim, faz-se necessário pensarmos um novo paradigma, um

novo estilo de vida que salve o planeta da destruição. Um novo relacionamento dos humanos com a natureza, que respeite a exploração dos recursos naturais, minimizando assim os impactos advindos desse processo.

AFIRMATIVA 7 - O consumo de energia elétrica é regido pelas leis da oferta e da procura.

A/B

Justificativa: a energia elétrica, dentro do contexto da atual matriz energética, é um dos pilares que dá sustentação à disposição do mercado em produzir e consumir, incentivando com isso o atual MDE, predominantemente capitalista, regido pela lei da oferta e da procura, e que determina o preço das mercadorias e principalmente o lucro da produção. Assim quanto maior for o consumo, maior será a produção, maior o lucro e esse maior consumo de energia elétrica provoca diretas e indiretas consequências ambientais.

AFIRMATIVA 8 - A atual relação entre produção e consumo provoca instabilidade no ecossistêmica global.

A/B

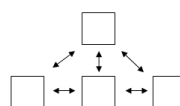
Justificativa: o incentivo à produção e ao consumo, promove a exploração, a utilização e o processamento dos recursos naturais através de tecnologias cada vez mais avançadas, acabando por intervir nos diferentes ciclos biogeoquímicos, gerando com isso impactos ambientais que desestruturam os diferentes ecossistemas do planeta.

AFIRMATIVA 12 - Imagine que cada caixinha abaixo representa uma disciplina dos cursos de Engenharia Civil da FURG. Os diagramas que melhor descrevem as interações entre as diferentes disciplinas do currículo dos cursos estão mais próximos dos das letras (d) e (e).

D/E

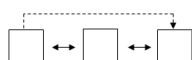


a)

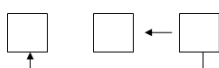


d)

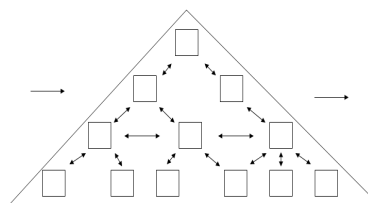
b)



c)



e)



Justificativa: as interações entre as diferentes disciplinas dos currículos dos cursos de Engenharia Civil da FURG atingem no máximo as letras “b” e “c”, situações onde acontecem a cooperação entre disciplinas que mantêm a sua individualidade. Em algumas situações mais específicas, a disciplinaridade cruzada pode ocorrer, já que exigem o controle rígido de uma disciplina sobre as outras. Os itens “d” e “e”, envolvem um nível de interconexões interdisciplinares e transdisciplinares que não são adotados nos cursos de Engenharia da FURG.

AFIRMATIVA 16 - O aumento dos impactos ambientais, fruto do atual Modelo de Desenvolvimento Econômico, está associado ao pouco investimento em educação.

A/B

Justificativa: tal situação está associada ao despreparo das instituições governamentais, que sendo compostas por uma classe política despreparada, acabam por encaminhar sistemas educacionais inoperantes, integrados por professores mal remunerados e mal preparados, através de recursos instrucionais impregnados de uma visão preservacionista exclusiva, ingênua e desatualizada cientificamente. Esta situação é especialmente nutrida pela maioria das universidades brasileiras que de forma apática vaidosa, obsoleta e dessintonizada com a realidade, emergem numa prática acadêmica utópica que não prevê que o atual padrão de uso dos recursos naturais, incentivados pelo consumismo desenfreado não é concebível nem mesmo teoricamente. Estes fatos encaminham uma política educacional equivocada formando profissionais que refletem o seu despreparo, aumentando as devastações ambientais, materializados na forma como a população, de uma maneira geral, consome os recursos naturais tais como combustíveis fósseis, materiais de construção, fertilizantes, transgênicos, minerais ferrosos, etc.

AFIRMATIVA 17 - A geração de energia elétrica, com a utilização de combustíveis fósseis, afeta somente o ambiente atmosférico.

D/E

Justificativa: os diferentes ecossistemas terrestres estão interligados em rede. Logo, a geração de energia elétrica, com a utilização de combustíveis fósseis, além de afetar o ambiente atmosférico, afeta também outros ambientes, podendo acarretar impactos ambientais negativos em áreas e águas superficiais que influenciam os biomas aquáticos e terrestres. Tal processo de geração de energia poderá também intervir nos aspectos socioeconômicos da região, ao afetar a saúde e a economia da população ali presente.

AFIRMATIVA 22 - A complexidade do meio ambiente tem sempre características caóticas.

D/E

Justificativa: de acordo com a segunda lei da termodinâmica, os processos naturais evoluem na direção do aumento da entropia (caos). Sistemas complexos como os sistemas vivos podem

apresentar características que podem evoluir espontaneamente para um estado limiar entre a ordem e o caos (estruturas dissipativas). Nessa direção, os sistemas vivos, na sua evolução, exigem um aumento de complexidade e organização que se mantém, fruto da troca de energia e da consequente desorganização do meio circundante.

Categoria 3 - Afirmativas que dizem respeito ao comportamento

Quanto às concepções que dizem respeito ao comportamento que devemos ter diante das questões ambientais, foram elaboradas as afirmativas 1 e 6. Nestas afirmativas, o estudante deveria expressar um sentido de valores sociais, um sentimento de interesse pelo meio ambiente e a vontade de contribuir para sua proteção e qualidade, tomando consciência de que, para tanto, é necessário também modificar seu comportamento individual e social. Tal proposta é verificada pelas questões que se seguem:

AFIRMATIVA 1- O atendimento de minhas necessidades presentes, no que diz respeito à qualidade de vida, não está relacionado com o atendimento das necessidades das gerações futuras.

D/E

Justificativa: esta é uma das ideias que tratam do desenvolvimento sustentável. Nesta direção, o homem, buscando obter uma melhor qualidade de vida, associa-se ao conforto material, acabando por incentivar a produção e o consumo, trazendo com isso inevitáveis consequências ambientais. Assim, para poder melhor administrar esse antagonismo, é preciso desenvolver um saber e um sentir que contemple os aspectos éticos, estéticos e solidários não só para com as gerações futuras, mas também com as gerações do presente.

AFIRMATIVA 6 - Todo o sistema produtivo, focado exclusivamente no lucro, afeta negativamente a qualidade de vida da sociedade.

A/B

Justificativa: essa é uma das práticas adotadas pela maioria dos países capitalistas do mundo, e tem como consequência a de transformar quase tudo, inclusive o próprio homem em mercadoria, imprimindo na sociedade, através da mídia e de suas instituições, um ritmo de vida que, ao desconsiderar as particularidades das condições comportamentais, sociais, culturais, econômicas e ecológicas de cada região, acaba engendrando insatisfação, frustração, conflitos, violência e ações que afetam qualidade de vida humana, influenciando nos seus valores, comportamentos e atitudes.

Categoria 4: Afirmativas que dizem respeito às competências avaliadoras

Estas afirmativas procuram verificar quais são as concepções do estudante a respeito das capacidades que devemos possuir para avaliar as medidas e programas relacionados com o meio ambiente em função de ordem ecológica, política, econômica, social, estética e educativa, decifrando a linguagem dos projetos de risco ambiental, procurando desvendar a linguagem técnico-científica que mascara práticas que encaminham a problemas ambientais e também, quando possível, reconhecer suas próprias deficiências no que diz respeito à solução dos problemas ambientais. As afirmativas referentes a este objetivos são as de números 5, 9, 13, 14, 15 e 18.

AFIRMATIVA 5 - Os problemas de engenharia, para serem solucionados e materializados, dependem apenas dos recursos financeiros e da vontade dos que decidem (empresários, políticos etc.).

D/E

Justificativa: historicamente estes sempre foram os procedimentos adotados na engenharia. Entretanto, tal situação vem se modificando à medida que os órgãos públicos de fiscalização, ao operar seus instrumentos de comando e controle, tem permitido que a prática da engenharia aconteça associada a processos de gestão ambiental, minimizando, com isso, os impactos ambientais advindos desse exercício profissional.

AFIRMATIVA 9 - O conhecimento associado aos problemas ambientais, nos cursos de Engenharia Civil da FURG, é dispensável para trabalhar as diferentes disciplinas dos currículos.

D/E

Justificativa: atualmente, amparados no novo paradigma científico, é necessário que se estruturam os currículos das engenharias, associando aos mesmos temáticas que considerem o contexto maior que é o meio ambiente. Isso exige que os profissionais, ao serem preparados para atuar no mercado, incorporem no seu saber conteúdos, objetivos e metodologias que observem a dimensão ambiental. Para tanto, é necessário que, nos cursos de Engenharia Civil da FURG, através da EA, sejam articuladas, humanizadas e ecologizadas as disciplinas do seu currículo, situação que ocorre com pouca ou quase nenhuma frequência na atual metodologia didático-pedagógica adotada por este curso.

AFIRMATIVA 13 - A educação, voltada para a interação do homem com o meio ambiente, é um dos instrumentos que auxilia na gestão das atividades de Engenharia Civil.

A/B

Justificativa: a implantação de qualquer atividade de Engenharia Civil demanda alguma forma de sensibilização ambiental, já que hoje, o índice de consumo mineral para construção (per capita) vem aumentando. Sendo a EA um instrumento de materialização da SD e, estando o engenheiro educado ambientalmente, fica evidente que as tomadas de decisão no que diz respeito a sua prática profissional

ambientalmente, fica evidente que as tomadas de decisão no que diz respeito a sua prática profissional incluirão sempre aspectos que dizem respeito à proteção do meio ambiente.

AFIRMATIVA 14 - Os cursos de Engenharia Civil da FURG estão estruturados para formar engenheiros cujo perfil vislumbra encontrar, além das soluções técnicas e econômicas de uma obra, a manutenção dos recursos necessários à preservação da vida.

D/E

Justificativa: os conteúdos das disciplinas dos cursos de Engenharia Civil da FURG são elaborados com o formato pluridisciplinar, permitindo, no máximo, a cooperação entre diferentes disciplinas, visando à solução de problemas técnicos e econômicos, não apresentando formatos interdisciplinares que, ao exigir uma aproximação com os aspectos ambientais, busquem a solução para os atuais problemas socioambientais e comportamentais de nossa sociedade.

AFIRMATIVA 15 – Nos cursos de Engenharia Civil são revisados os modelos éticos, econômicos, políticos, científicos e tecnológicos que regem as atuações humanas sobre o meio ambiente.

D/E

Justificativa: entendemos que, neste curso de Engenharia, ao qual estamos vinculados há algumas décadas, são revisitados, além dos aspectos técnicos, os aspectos científicos e econômicos que regem as atividades do engenheiro. Os aspectos éticos, políticos e sociais que regem as relações humanas com o meio ambiente, raramente são abordados dentro da visão compartimentada e tecnicista que orienta suas práticas de ensino.

AFIRMATIVA 18 – Os alunos dos cursos de Engenharia Civil da FURG estão familiarizados com a implementação da ISO 14001 na indústria da construção civil.

D/E

Justificativa: a implementação da ISO 14001 no curso de Engenharia Civil da FURG, até o momento, não se concretizou, pois, para que isso possa ocorrer, é necessário que os estudantes estejam preparados para se defrontarem com realidades que exigem um saber que envolve a complexidade do meio ambiente. Sendo a ISO 14001 um instrumento de gestão ambiental sistêmica (SGS), é necessário que o aluno esteja ambientalmente educado, possuindo, para tanto, conhecimentos que sendo interdisciplinares, estão associados ao pensamento sistêmico.

Categoria 5 - Afirmativa que diz respeito à participação cidadã

Este quesito procura verificar como o estudante entende a possibilidade da EA despertar nas pessoas o desejo de participar na construção de sua cidadania, procurando saber se o aluno percebe suas responsabilidades e necessidades de ação imediata para a solução dos problemas ambientais. Nesta temática temos apenas a afirmativa

11.AFIRMATIVA 11 - Os conteúdos programáticos dos cursos de Engenharia Civil da FURG, como estão sendo atualmente trabalhados, não nos aproximam dos atuais problemas enfrentados pela sociedade.

A/B

Justificativa: para tanto, os conteúdos programáticos deveriam estar voltados para o novo paradigma científico, onde os procedimentos pedagógicos e didáticos envolvem a construção de conhecimentos que despertassem no engenheiro, comportamentos, motivações, valores, atitudes e habilidades que possibilitassem a construção da sua cidadania, alimentado por um ideal de sujeito ecológico que vai sendo transformado em experiências concretas de identificação objetiva e subjetificação associadas a uma melhor qualidade de vida e da experiência humana.

Fonte: Autoria própria, 2012.

5.2.6.3 A amostragem

Como vimos anteriormente, ainda no domínio da ação, iniciamos o processo de seleção da amostragem convidando todos os alunos matriculados na disciplina de Eletrotécnica dos cursos de Engenharia Civil da FURG a responder ao questionário (pré-teste) anteriormente elaborado, buscando informações que diziam respeito ao envolvimento das questões ambientais com o curso citado. Destes, responderam ao questionário 40 estudantes (ver figura 28), sendo que foram selecionados para compor os grupos de controle e experimental, aqueles que tinham coeficiente de rendimento superior a 5,0, cursando o quarto ano, e que teriam participado das palestras iniciais.

Dos 40 estudantes que participaram da aplicação do primeiro questionário, 28 se matricularam na disciplina de LAIEC I. Do total de 40 estudantes, 14 estudantes participaram da pesquisa sendo que destes, 7 estudantes denominados A1, A2, A3, A4, B1, B2 e B3, integrantes do grupo experimental, estavam matriculados na disciplina LAIEC I. Por sua vez, os 7 estudantes restantes, denominados C1, C2, C3, C4, C5, C6 e C7, integrantes do grupo de controle, não estavam matriculados na disciplina anteriormente citada.



Figura 28 – Aplicação do primeiro questionário
Fonte: Autoria própria, 2012.

5.2.6.4 A seleção do grupo de controle e grupo experimental

O estudo inicial ou estudo piloto foi realizado com as informações dos 14 estudantes pertencentes aos grupos de controle e experimental. Seguindo uma das exigências do método que envolve o interesse pela pesquisa, selecionamos 7 estudantes para compor o grupo experimental. Todos os estudantes concordaram com o propósito do trabalho assinando um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Os estudantes selecionados, pertencentes ao grupo experimental, responderam ao questionário em dois momentos. Num primeiro momento, o pré-teste realizado no início da pesquisa, juntamente com o grupo de controle e, num segundo momento, o pós-teste realizado com a turma, sem a presença do grupo de controle, ao final da pesquisa de acordo com o método adotado.

Como visto anteriormente, os componentes do grupo experimental e grupo de controle, bem como os estudantes matriculados na disciplina de LAIEC I, possuíam no momento coeficiente de rendimento superior a 5,0. Ressaltamos que o coeficiente de rendimento, um dos instrumentos que serviu de referência como parâmetro na composição dos grupos de pesquisa em questão, sendo um critério de classificação para matrícula que se baseia no índice de matrícula (IM), oficializado pela Deliberação n.^o 057/97, do Conselho de Ensino, Pesquisa e Extensão (COEPE), em 08 de dezembro de 1997, e dispõe sobre a realização de tais atos nos cursos de graduação da FURG. Nesse sentido, a ordem de chamada para renovação da matrícula dos estudantes nos cursos de graduação respeitará o IM, que é calculado através da seguinte fórmula apresentada pelo regimento da FURG:

$$IM = CR \times CHI/CHTC$$

onde

CR = coeficiente de rendimento acumulado, obtido através da média ponderada das médias finais obtidas em cada disciplina, em cujo peso envolve as cargas horárias das disciplinas.

CHI = soma das cargas horárias das disciplinas já integralizadas pelo estudante.

CHTC = carga horária total do curso em que o estudante está matriculado.

5.2.6.5 Características, aplicação e o método para análise dos questionários

Quanto aos aspectos que dizem respeito ao emprego do instrumento de pesquisa, esclarecemos que este foi aplicado em sete professores mestres e doutores do Curso de Engenharia Civil da FURG, fato que possibilitou divulgar nosso objetivo no meio acadêmico e confirmar que o questionário estava claro quanto aos seus enunciados, possibilitando a obtenção das justificativas com a abrangência pretendida. Nenhum dos professores fez comentários desfavoráveis ao instrumento, e todos responderam às afirmativas solicitadas.

A aplicação do questionário nos grupos experimental e de controle procurou, num primeiro momento, através de uma análise preliminar, revelar, na estrutura cognitiva dos estudantes a existência prévia ou não de conceitos subsunçores que formavam o modelo mental de cada estudante, dando com isso sequência à pesquisa-ação pretendida.

Os relatos apresentados pelos estudantes no instrumento de pesquisa, ou seja, suas concepções (ver seção 4.2), estavam baseadas em crenças e pressupostos que diziam respeito às questões ambientais e à forma como os estudantes pensavam a complexidade ambiental e como vivenciaram as experiências associadas ao método de ensino e aprendizagem ao qual estiveram submetidos no seu cotidiano, durante os quatro primeiros anos do curso de Engenharia Civil.

Tal procedimento resultou num material que sendo posteriormente analisado, veio a confirmar, através do perfil das concepções dos estudantes, a hipótese por nós elaborada, os modelos mentais que colaboraram para estruturação das relações causais do sistema estudado, os padrões de comportamento passado, as tendências futuras dos fatores-chave e o encaminhando ações que resultaram no encontro com os objetivos específicos da pesquisa.

Para tanto foi realizada uma análise qualitativa e quantitativa de cada justificativa onde foram destacadas as particularidades e os aspectos mais significativos das informações prestadas pelos estudantes. Os procedimentos para a análise detalhada das opções e justificativas apresentadas pelos estudantes obedeceram às seguintes etapas.

a) Numa primeira etapa, foi realizada a *análise qualitativa* das opções e justificativas apresentadas pelos estudantes, e que refletiam suas concepções a respeito dos temas apresentados em cada afirmativa do primeiro questionário, utilizando como parâmetro para

correção as respostas elaboradas pelo pesquisador na seção 5.2.6.2. Nesse processo, no primeiro questionário, foram realizadas a análise detalhada dos estudantes C1 do grupo de controle e B1 do grupo experimental. A síntese das análises qualitativas de cada categoria foi apresentada através das redes sistêmicas elaboradas para cada uma das cinco categorias que orientam os objetivos da EA de acordo com a estrutura da figura 29.

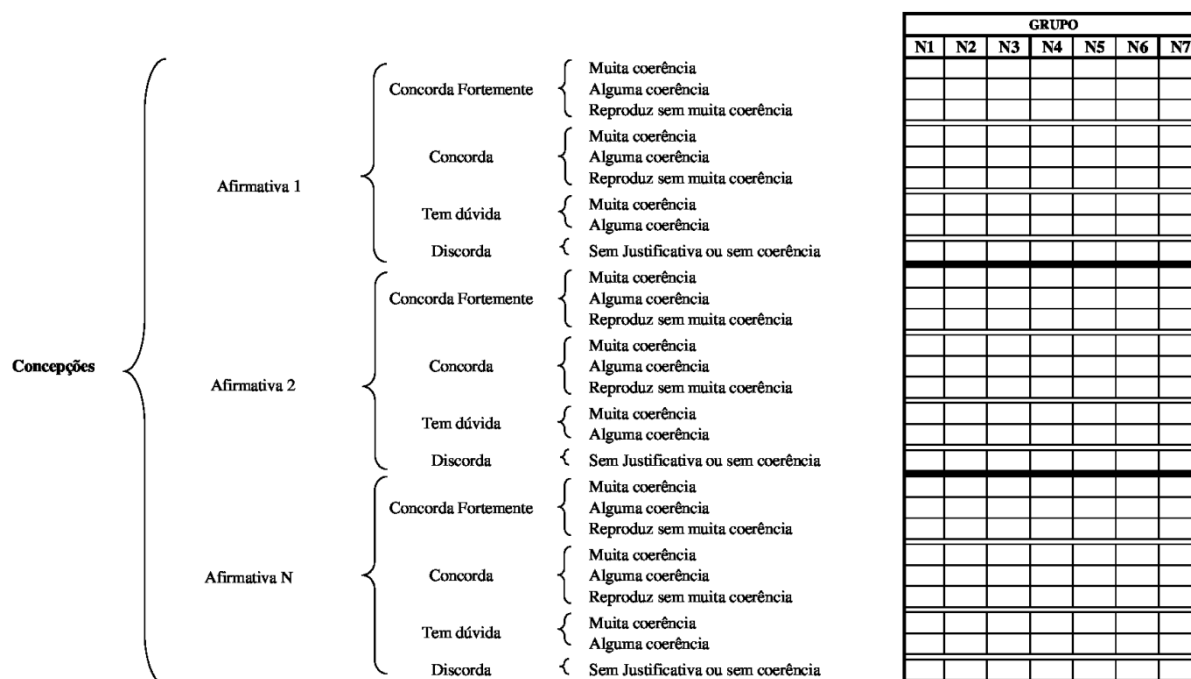


Figura 29 – Rede sistêmica das concepções dos alunos sobre as categorias dos objetivos da EA
Fonte: Autoria própria, 2015.

Na rede da figura 29, as dimensões consideradas numa chave indicam que algumas ou até todas as possibilidades abarcadas pelo instrumento de pesquisa, poderiam ocorrer simultaneamente. Por exemplo, em cada afirmativa teremos como possibilidades as dimensões concordo fortemente, concordo, tem dúvida e discordo, todas tomadas conjuntamente como possibilidades de uma chave, sendo que cada uma delas se abre em possibilidades como, muita coerência, alguma coerência e reproduz sem muita coerência. Por sua vez, a análise qualitativa de cada justificativa oscilou entre o senso comum, as concepções alternativas ou aquelas aceitas no ensino formal e que diziam respeito aos objetivos da EA, tendo sido classificadas de acordo com as categorias da escala Likert e orientadas pelos cinco níveis de concepções apresentados no quadro 8.

Para completar o instrumento de pesquisa, o entrevistado deveria, num primeiro momento, posicionar-se a respeito da afirmativa selecionada, expressando no quadro a letra da sua concepção ou atitude de acordo com os níveis de convenção da escala Likert. A seguir,

o estudante deveria justificar por escrito sua concepção ou atitude no espaço reservado para essa finalidade. A elaboração das redes de concepções dos estudantes fundamentou-se nas respostas objetivas e nos comentários dos estudantes relativos a cada uma das afirmativas apresentadas. A indicação de que o estudante construiu concepções a respeito do assunto está subdividida nas categorias concordantes que poderiam estar fortemente de acordo com o pesquisador (A ou E), naquelas em que o estudante apenas concordava com o pesquisador (B ou D) e naquelas sobre as quais o estudante tinha dúvidas (C) mas justificou com muita ou alguma coerência. Já as justificativas em que o estudante concorda fortemente ou apenas concorda com o pesquisador, conforme pode ser visto na rede sistêmica da figura 29, podem ser classificadas em três subcategorias: as muito coerentes, as com alguma coerência e as justificativas sem muita coerência, que dizem respeito àquelas em que o estudante apresenta uma justificativa equivocada e/ou uma reprodução do tema proposto e as alternativas em que o estudante teve dúvidas (C) mas escreve sua justificativa demonstrando conhecimento e/ou compreensão com muita ou alguma coerência.

A consideração de que o estudante não possuía uma concepção correta a respeito do assunto aparece na categoria em que o estudante discorda do pesquisador ou tem dúvida a respeito do tema, não justificando ou apresentando um comentário sem muita coerência e equivocado com relação à afirmativa proposta.

As redes desta análise de dados, estruturadas para cada uma das cinco categorias dos objetivos da EA (ver quadro 6) são apresentadas nas figuras 62 a 66 e, após a intervenção, nas figuras 79 a 83. Elaboradas as redes, ao final de cada uma das cinco categorias foi apresentada a análise qualitativa, em que são destacadas as particularidades e aspectos mais significativos das informações prestadas pelos estudantes e por cada um dos grupos de pesquisa, sendo que os procedimentos acima explicitados foram adotados tanto para o primeiro questionário (pré-teste) como para o segundo questionário (pós-teste).

b) Na segunda etapa foi realizada a *análise quantitativa*, desenvolvida em três momentos. No primeiro, cada justificativa recebeu um nível e uma pontuação. No segundo, foram determinados os índices de posicionamentos corretos em função da porcentagem de ocorrência. E por último, através da combinação do critério 1 com o critério 2, foi gerado o critério final que resultou no perfil das concepções do estudante e do grupo analisado. Por sua vez, o nível e a pontuação de cada questão estão descritos no quadro 8. Nele, as letras adotadas correspondem ao posicionamento com relação a cada afirmativa, e foram adotados pontos para cada um dos níveis da afirmativa, sendo considerada nula aquela afirmativa contrária à correta.

Quadro 8 – Convenção dos níveis das concepções e pontuação das afirmativas

Convenção dos níveis das concepções	Pontuação
Letra A – Concordo fortemente	
Com muita coerência	2,0
Com alguma coerência	1,5
Sem muita coerência	1,0
Letra B – Concordo	
Com muita coerência	1,5
Com alguma coerência	1,0
Sem muita coerência	0,5
Letra C – Tenho dúvida	
Com muita coerência	1,0
Com alguma coerência	0,5
Sem muita coerência	0,0
Letra D – Discordo	
Com muita coerência	1,5
Com alguma coerência	1,0
Sem muita coerência	0,5
Letra E – Discordo fortemente	
Com muita coerência	2,0
Com alguma coerência	1,5
Sem muita coerência	1,0

Fonte: Autoria própria, 2012.

Após a análise dos comentários e das letras correspondentes a cada afirmativa, foram calculados por programas do computador:

- 1) o percentual de acerto de cada afirmativa, das categorias dos objetivos da EA e do questionário como um todo, de cada estudante e do grupo de pesquisa ao qual pertence;
- 2) as médias que os estudantes e os grupos de pesquisa obtiveram em cada afirmativa;
- 3) as médias dos alunos e de seus grupos de pesquisa relativas ao conjunto de afirmativas que compõe cada categoria da abordagem progressista que diz respeito ao conhecimento dos objetivos progressistas da EA.
- 4) a média geral de cada estudante e grupo de pesquisa ao qual pertence.

Os dados acima descritos aparecem nos gráficos (figuras 67 e 75) e tabelas 1, 2 e 3 ao apêndice 6.

A seguir, adaptando a metodologia utilizada por Viana (1998) e Farias (2003), realizou-se o levantamento do perfil das concepções dos alunos, através dos seguintes procedimentos:

Primeiramente determinamos o nível (critério 1) das afirmativas encontradas em função das médias dos pontos atribuídos aos posicionamentos através do quadro 9:

Quadro 9 – Nível das concepções dos alunos em função da média dos pontos

Média dos pontos	Nível das concepções
0,0 → 0,99	Baixo
1,0 → 1,39	Médio
1,4 → 1,79	Médio alto
1,8 → 2,00	Alto

Fonte: A autoria própria, 2012.

Assim, para facilitar a classificação dos diferentes tipos de resultados de aprendizagem, orientados pelas taxonomias de objetivos educacionais propostas por Bloom et al. (1972), pudemos considerar que a média de pontos entre 0 e 0,49 corresponde a um nível de concepções erradas ou desconhecimento do tema abordado. A faixa entre 0,5 e 0,99 equivale a não ter certeza se a afirmativa estava correta, porém, houve uma justificativa até certo ponto coerente, correspondendo assim, no domínio cognitivo, a um resultado de aprendizagem onde o estudante lembra vagamente de informações e conteúdos refletindo um conhecimento que corresponde a um nível de concepções baixo. Para as médias entre 1 e 1,39 há indicação de que necessariamente existiram indícios de conhecimento (conceitos subsunçores) onde a lembrança de informações e conteúdos existe, mas sem a obrigatoriedade da certeza e, portanto, consideramos um nível médio de concepções. Para as médias entre 1,4 e 1,79 necessariamente ocorreram concepções corretas, a formação de conceitos subsunçores, existindo conhecimento e compreensão do assunto que permite ao estudante, além de evocar as informações e conteúdos, possuir também a habilidade de compreender e dar significado a eles, possibilitando considerá-las sinalizadoras de um nível de concepções médio alto. Já as médias superiores a 1,8 implicam que os estudantes tinham conhecimentos e compreensão das informações e conteúdos seguros e corretos indicando um nível alto de concepções.

Posteriormente, após analisar os comentários de cada afirmativa, determinamos o índice (critério 2) de posicionamentos corretos em função da porcentagem de ocorrência destes. Observando as tabelas anteriormente citadas, determinamos a porcentagem de posicionamentos corretos e incorretos comparados com o posicionamento do pesquisador. A opção intermediária, “tenho dúvida”, corresponderá a um posicionamento correto quando houver muita coerência na resposta; caso contrário, resultará em um engano na resposta. De acordo com esse critério, considerou-se que os estudantes apresentaram um índice baixo de posicionamentos corretos ou um índice alto de posicionamentos corretos, quando a porcentagem de acertos foi de até 50% ou superior a 50%, respectivamente. O resultado desse critério, que indica a porcentagem de afirmativas corretas, é apresentado no quadro 10.

Quadro 10 – Índices de posicionamentos

Percentual	Índice
Até 50%	Baixo
Maior que 50%	Alto

Fonte: Aatoria própria, 2012.

Por último, fizemos a combinação do critério 1 com o critério 2, gerando o critério final que diz respeito ao perfil das concepções descritos a seguir.

- 1) Errada - situação na qual o estudante desconhecia os conteúdos abordados.
- 2) Perfil baixo - quando o nível das concepções foi baixo e o índice de posicionamento também foi baixo, nessa situação o estudante demonstrou não ter certeza se a afirmativa estava correta, apresentando uma justificativa até certo ponto coerente que refletia uma aprendizagem mecânica e memorística, demonstrando capacidade de lembrar vagamente das informações e conteúdos e ao mesmo tempo não saber utilizá-las, associando tais concepções ao senso comum adquirido pela aprendizagem informal.
- 3) Perfil regular - quando o nível de concepções foi médio e o índice de posicionamentos foi baixo; nessa situação o estudante demonstrou indícios de aprendizagem significativa onde a lembrança das informações e conteúdos existe sem a obrigatoriedade da certeza. Com esse perfil, o estudante é capaz de relacionar parte do novo conhecimento com o conhecimento previamente adquirido, reproduzindo-o com as próprias palavras e evidenciando um conhecimento associado ao senso comum adquirido em parte através da aprendizagem informal e parte através da aprendizagem formal.
- 4) Perfil bom - quando o nível de concepções foi médio e o índice de posicionamentos corretos foi alto, ou quando o nível de concepções foi médio-alto e o índice de posicionamentos corretos foi baixo; nesta situação há evidências de que necessariamente existiram aprendizagens significativas uma vez que as lembranças das informações e conteúdos existiram estabelecendo uma conexão entre o novo e o conhecimento previamente adquirido, dando ao estudante a habilidade de compreender e dar significados a eles, estando tais concepções alternativas predominantemente associadas a uma boa aprendizagem formal.
- 5) Perfil muito bom - quando o nível de concepções foi médio-alto e o índice de posicionamentos corretos foi alto; nesta situação há evidências de que necessariamente existiram aprendizagens significativas uma vez que as lembranças das informações e conteúdos existem estabelecendo uma conexão entre o novo e o conhecimento previamente adquirido, dando ao estudante a habilidade de compreender e dar significados a eles,

utilizando-os numa situação nova e/ou específica, estando tais concepções alternativas predominantemente associadas a um conhecimento resultante de uma aprendizagem formal muito boa.

6) Perfil ótimo - quando o nível das concepções foi alto, o que sugere que o índice de posicionamentos corretos também foi alto; nesse caso os estudantes tinham conhecimento e compreensão segura e correta a respeito das informações e conteúdos, possuindo a capacidade de enxergar as suas partes constitutivas, podendo perceber as inter-relações e os princípios analisados, estando tais concepções associadas às leis gerais do conhecimento formal resultantes de uma ótima aprendizagem.

A consideração de não ter havido aprendizado corresponde à situação em que o estudante adotou o posicionamento da letra C e não fez nenhum comentário pertinente ao tema. Não foram incluídos, na condição de que não houve aprendizado, os estudantes que anotaram as letras contrárias e fizeram comentários evidenciando algum conhecimento sobre o assunto da afirmativa.

Para tornar mais claras estas análises, o leitor poderá consultar as seções 7.2.2 e 7.3.2, que apresentam os gráficos de barras dos registros das médias dos pontos e os percentuais de acerto por estudante e grupo de pesquisa ao qual pertence, antes da intervenção. Na seção 7.4.2.1 estão os gráficos de barras dos registros das médias dos pontos e os percentuais de acerto por estudante e grupo de pesquisa ao qual pertence, depois de realizada a intervenção.

Os dados qualitativos das redes sistêmicas, bem como as médias dos pontos e os índices de posicionamentos apresentados na seção 7.2, relativos às justificativas e posicionamentos do primeiro questionário, puderam orientar as conclusões a respeito da aprendizagem que envolveu as concepções dos grupos de estudantes, tanto experimental como de controle, no que diz respeito aos conhecimentos relativos aos quatro níveis de concepções sobre as categorias dos objetivos progressistas da EA, orientado pelo método exposto anteriormente.

Com isso, foi possível analisar os conceitos construídos pelos estudantes antes da intervenção, através de experiências que envolveram a vida familiar, estudantil e social e que puderam servir de referência para uma aprendizagem significativa, procurando confirmar a hipótese de uma construção de concepções que enxergam a EA e a SD sem se preocupar com leis mais gerais que as expliquem, gerando certezas intuitivas e acríicas que se aproximam do conhecimento do senso comum.

Após confrontarmos os dados do primeiro questionário com as informações da lista de eventos (quadro 2), confirmamos os fatores-chave considerados importantes para compreensão

da situação (quadro 3), podendo assim identificar os pontos de alavancagem que permitiram reprojeter a estrutura e elaborar o planejamento para a mudança sistêmica.

Amparados nesse procedimento, foi possível confirmar os modelos mentais dos estudantes, a partir dos pressupostos profundamente arraigados, generalizações e até mesmo imagens que estes mantêm em suas mentes e que influenciam o comportamento do sistema de ensino analisado, construindo estruturas do mundo real que se afastam das finalidades, princípios e objetivos da EA.

5.2.6.6 Transformando os modelos mentais em elementos do sistema

Para completar o método, é necessário transformar as crenças, pressupostos, conflitos e interesses que dizem respeito aos modelos mentais dos estudantes em elementos da estrutura que compõe o mapa sistêmico. Havendo certo conhecimento a respeito dos arquétipos¹⁸, é possível obter mais *insights* sobre a situação ou a identificação de padrões comuns atuando na questão. Ao identificar um arquétipo operando na situação, é possível simplificá-lo inserindo novos elementos que estão influenciando a estrutura estudada mas que não foram elucidados na situação.

Nesse processo pudemos constatar que é dificultoso transversalizar a EA nos cursos de Engenharia, buscando a emergência do conhecimento da SD, quando temos o reforço do pensamento analítico, já que este, ao encaminhar a análise mecanicista, impossibilita o entendimento e a avaliação da complexidade que envolve as questões ambientais e os processos de engenharia.

Assim, observando os possíveis modelos mentais dos estudantes, elaboramos o arquétipo amplificador da figura 30, em que observamos uma estrutura sistêmica na qual o *paradigma newtoniano-cartesiano*, influenciando o *pensamento analítico* predominante nas interações do sistema de ensino de Engenharia Civil, reforça *métodos pedagógicos tecnicistas* que, tendo a educação tecnicista como objeto de estudo, estrutura o sistema analisado em um padrão de organização cujos processos de *reprodução do conhecimento* encaminham uma *aprendizagem mecânica* que, afastada da interdisciplinaridade e da complexidade ambiental, promove a emergência de concepções a respeito das interações dos sistemas antrópicos com o meio ambiente que se aproximam do *senso comum*.

¹⁸ Arquétipos – estruturas sistêmicas formadas por diagramas causais (conforme seção 3.2.4.3.8.2 e apêndice 2).

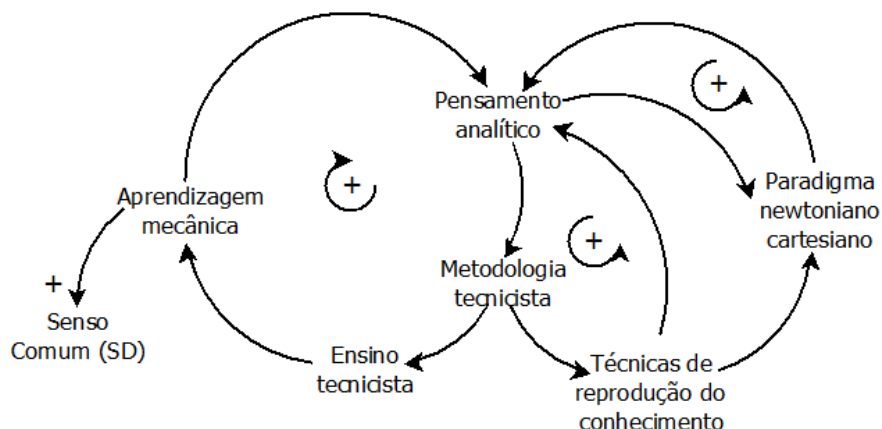


Figura 30 – Mapa sistêmico refinado das relações causais do sistema de ensino tecnicista do curso de Engenharia Civil da FURG
 Fonte: Autoria própria, 2015.

5.2.7 Passo 7 – Modelando em computador

Entendendo que o arquétipo apresentado na figura 30 resulta num enlace de reforço (+), sendo este uma representação confiável para os nossos propósitos, pensamos que não havia necessidade de transformá-lo em diagrama de fluxo. Assim, visando alcançar os objetivos da tese, reprojetaamos uma nova estrutura para este sistema de ensino conforme as orientações do próximo passo.

5.2.8 Passo 8 – Reprojetando a estrutura sistêmica

Observando o arquétipo da figura 30, visualizamos, nos diferentes fatores, pontos de alavancagem onde poderíamos desenvolver um conjunto de ações como:

- Implantação de uma nova metodologia de ensino.
- Mudança dos modelos mentais dos estudantes.
- Ensino baseado no novo paradigma científico.
- Processo de ensino voltado para aprendizagem significativa.
- Adoção de tecnologias inovadoras de ensino.

Com isso, visando modificar o comportamento do sistema de ensino analisado e influenciar as tendências futuras do fenômeno abordado, fazia-se necessário planejar alterações em sua estrutura, encontrando um sistema organizacional que, ao promover mudanças nos modelos mentais dos estudantes, permitisse evoluir de uma visão unilateral para uma visão sistêmica, utilizando caminhos estratégicos e um programa de ações que os encaminhassem para a meta desejada.

Tal proposta exigiu o estudo de fatores-chave que, estando associados a pontos de alavancagem específicos e adicionados aos enlaces do sistema, pudessem encaminhar padrões de comportamento que trouxessem aprendizagens significativas de acordo com os objetivos da pesquisa. Os fatores pertencentes aos pontos de alavancagem que lhes correspondem são apresentados no quadro 11.

Quadro 11 – Pontos de alavancagem

Pontos de alavancagem	
Metodologia de projetos	Metodologia tecnicista
Educação Ambiental	Educação tecnicista
Pensamento sistêmico	Pensamento analítico
Paradigma da complexidade	Paradigma newtoniano-cartesiano
Aprendizagem significativa	Aprendizagem mecânica
Modelo computacional com STELLA	Técnicas de assimilação e reprodução

Fonte: Autoria própria, 2015.

Na sequência, procurando reprojeter o sistema de ensino vigente e podendo verificar as consequências desta ação, adotamos alguns procedimentos que nos permitiram intervir no processo, monitorando informações e estabelecendo diretrizes para o trabalho. Para tanto, elaboramos um mapa sistêmico que, ao sugerir algumas ações, pudesse superar as limitações impostas pela estrutura organizacional anterior, possibilitando aos estudantes expandir as suas compreensões sistêmicas, partindo da premissa de que os melhores resultados não vêm de medidas em grande escala, mas de pequenas ações bem focalizadas (SENGE, 2005, p. 143). Tal procedimento se apoiou na mudança da maneira de pensar, uma vez que o Pensamento Sistêmico, segundo Guimarães e Tomazello (2003b), é um dos pressupostos que conflui, juntamente com os objetivos da EA e a interdisciplinaridade, para o conhecimento da SD.

Sabíamos que tal ação não poderia ser realizada manipulando diretamente as opiniões e crenças ou como os estudantes percebem e sentem a realidade, uma vez que este é um processo cognitivo do indivíduo ou cultural do grupo. Por isso, fazia-se necessário, seguindo as orientações anteriores, a criação de um método que pudesse transformar e simultaneamente constatar e participar das mudanças ocorridas com os modelos mentais e a aprendizagem dos estudantes envolvidos nesta pesquisa-ação.

Tal estrutura sistêmica, para ter o resultado final desejado, deveria envolver uma aprendizagem experiencial orientada pelos princípios da MP, uma vez que esta entrelaça as habilidades e capacidades para conceituação do Pensamento Sistêmico, os objetivos

progressistas da EA e as reflexões e argumentações necessárias para *aprender a aprender*, utilizando como tecnologia inovadora modelagem computacional com STELLA.

Assim, primeiramente procuramos identificar as relações causais que, descritas no mapa sistêmico da figura 31, promovessem o alcance do *Pensamento Sistêmico*, buscando através da *EA* uma prática de ensino e aprendizagem que, amparada no *paradigma da complexidade*, nos pressupostos da *MP* e na *modelagem computacional com STELLA*, pudesse intervir nos modelos mentais instituídos dos estudantes, estimulando habilidades e capacidades que, através do aprender a aprender viessem a construir o *conhecimento da SD* de forma *significativa*.

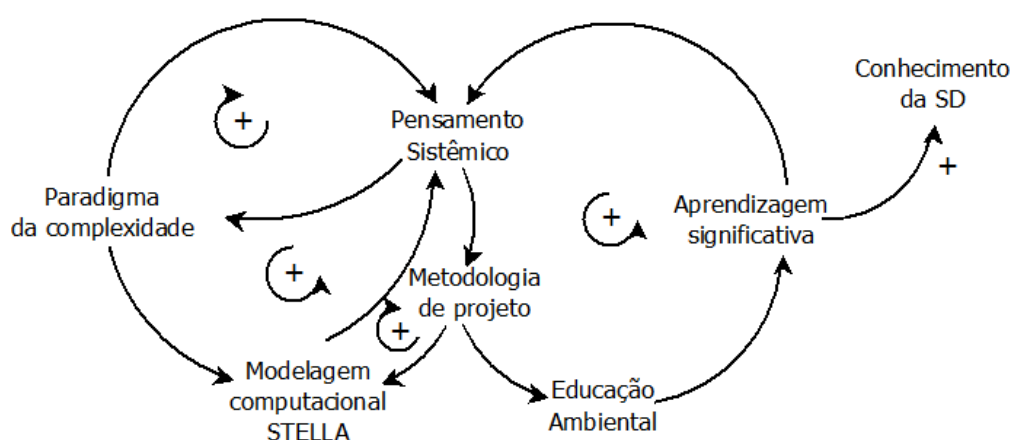


Figura 31 – Mapa sistêmico das relações causais de um sistema de ensino projetado para a construção do conhecimento da SD
Fonte: Autoria própria, 2015.

Neste momento é importante lembrar que, na visão de Senge (2005), o *Pensamento Sistêmico* (ver seção 3.2.4.3.8.2) é uma disciplina que propõe um processo de mudanças sistêmicas, fornecendo no domínio da ação teorias, ferramentas e métodos que, articulados com as ideias norteadoras e as inovações em infraestrutura, sejam úteis para algum objetivo. Simultaneamente, tal disciplina, no domínio da aprendizagem, ao interagir com o domínio da ação, proporciona ao estudante o desenvolvimento de habilidades e capacidades de conceituação, capazes de construir coerentes descrições do todo complexo, resultando num processo que permite ao indivíduo e à organização sentir e enxergar o mundo de maneira diferenciada.

Por sua vez, a utilização da modelagem computacional com STELLA, incentivando a conceituação da complexidade, colabora com o processo promovendo mudanças no modelo mental dos estudantes e no padrão de comportamento do sistema de ensino, construindo aprendizagens significativas que, expressas em um linguajar e pensar sistêmico, acabam por

promover a construção de descrições coerentes do todo complexo, vindo com isso a se impor ao pensamento analítico que nessa situação, fica restrito às simples soluções dos problemas de engenharia.

Finalizando, entendemos que o mapa sistêmico que melhor representa a estrutura sistêmica e as relações circulares dos fatores associados aos pontos de alavancagem anteriormente definidos, é o apresentado na figura 32.

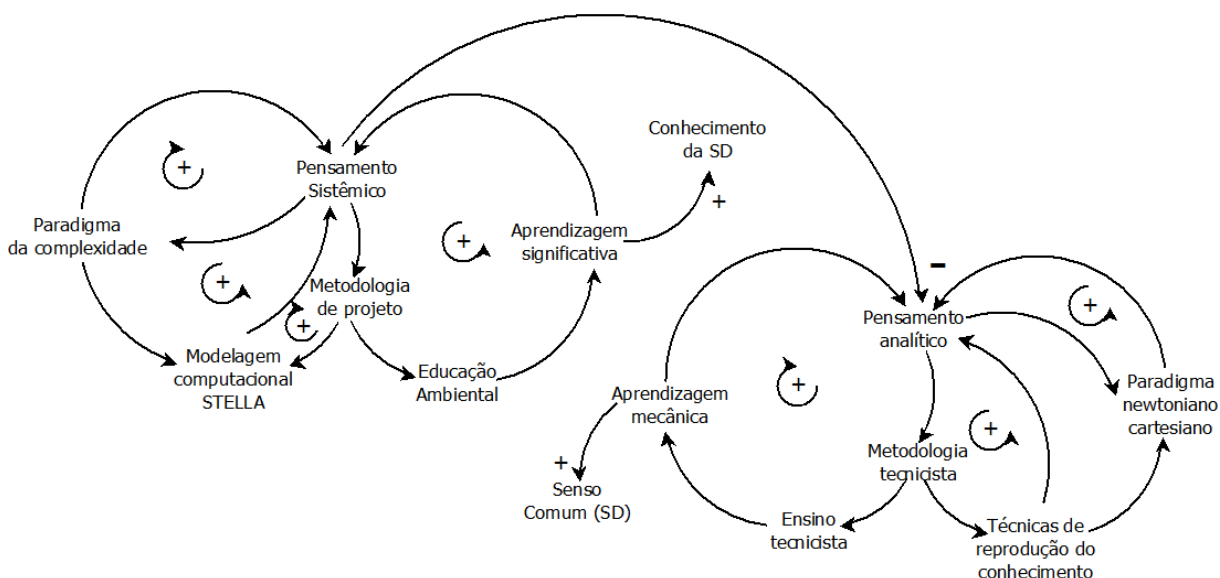


Figura 32 – Mapa sistêmico das relações causais no sistema de ensino reprojeto para o curso de Engenharia Civil da FURG
Fonte: Autoria própria, 2015.

O mapa sistêmico resultante, que engloba as relações causais dos mapas sistêmicos das figuras 30 e 31, mostra que o pensar analítico está na verdade inserido no pensar sistêmico. Nessa representação os dois arquétipos amplificadores, embora em níveis diferentes, podem ser imaginados como interagindo através de um par de causa e efeito negativo, significando que quanto mais o estudante pensa sistemicamente menos pensa analiticamente, dentro dos propósitos do método.

Sendo o diagrama causal (mapa sistêmico) uma representação confiável para os nossos propósitos, amparado na Dinâmica de Sistemas é possível transformá-lo num diagrama de fluxo (ver figura 90), o que por sua vez permite modelar em computador. Esse procedimento, que permite visualizar o comportamento dos fatores com o passar do tempo, embora não explique toda a complexidade da situação, pode gerar aprendizagem, definindo a estrutura associada aos padrões de comportamento do sistema de ensino estudado. Nessa pesquisa, já tendo verificado através das análises, as principais relações causais entre os fatores-chave, não se fez necessário utilizarmos os recursos da modelagem computacional com STELLA para

observar diferentes cenários, uma vez que o mapa sistêmico já evidenciava o conjunto de ações que, associadas aos pontos de alavancagem, puderam colaborar para o alcance dos objetivos propostos.

5.2.9 Passo 9 – Organizando e aplicando um plano de mudança sistêmica

Como vencer as limitações impostas pela estrutura organizacional e transformar a sala de aula que aprende em um sistema que permita aos estudantes expandir sua compreensão sistêmica para ações que possam colaborar para a promoção da SD?

Precisávamos reavaliar a realidade do presente, refinar uma visão para o futuro e construir um programa de desenvolvimento. Ou seja, ampliar as crenças e pressupostos dos estudantes a respeito do processo como um todo, intervindo em seus modelos mentais, mediante reflexões e argumentações que permitissem a apropriação de teorias, métodos e ferramentas que, promovendo aprendizagens significativas, resultassem numa forma de pensar sistêmica, vindo com isso a inserir as questões ambientais em suas práxis.

Já conhecendo os possíveis modelos mentais dos estudantes e buscando confirmar nossa hipótese, nos amparamos no arquétipo da figura 32, na busca de aprendizagens significativas e mudanças nos modelos mentais instituídos. Isso implicava modificar forma de pensar analítica dos estudantes fazendo com que estes, de acordo com Senge (2005), observassem os eventos passados para reconhecer padrões de mudança de longo prazo, observando as estruturas subjacentes que produzem esses padrões.

Como ação didático-pedagógica, orientamo-nos pela estratégia da MP, apoiados em Demo (2012), que entende a competência do professor como um saber propor de seu modo próprio e criativo, teorizando e praticando a pesquisa, renovando-a constantemente.

A escolha da MP, como um dos agentes de alavancagem, aconteceu pelo fato de esta possuir grande coerência com o método das Cinco Disciplinas do aprendizado proposto por Senge (2005), uma vez que ambas envolvem um conjunto de conhecimentos sistematizados que permitem o desenvolvimento de habilidades utilizadas na aprendizagem, se amparando nos princípios do *aprender a aprender*.

Por sua vez, a MP proposta por Behrens (2011), ao se estruturar por teorias, métodos e ferramentas que utilizam a visão sistêmica para integrar o modelo (ver figura 26), também solicita a aplicação de tecnologias inovadoras. Assim, nessa pesquisa-ação ao buscarmos promover a aliança entre a abordagem progressista da EA, o ensino com pesquisa e a visão sistêmica utilizando a modelagem computacional com STELLA, considerando este um

instrumento pedagógico capaz de reforçar a utilização da linguagem sistêmica ou o Pensamento Sistêmico (ver figura 4), estamos acessando o ciclo do aprendizado profundo (ver figura 18), promovendo habilidades e capacidades que estimulam a construção do conhecimento através do paradigma da complexidade, podendo com isso modificar a forma de pensar e aprender do estudante.

Visando alcançar os objetivos da tese (ver seção 1.3.1), reprojeto uma nova estrutura para este sistema de ensino, seguindo as orientações da próxima seção.

5.2.9.1 O plano de mudança sistêmica: projetando e aplicando um método didático-pedagógico na Engenharia Civil da FURG

O plano de mudança sistêmica, ou seja, as ações de intervenção nos modelos mentais dos estudantes, anteriormente mencionadas, aconteceram orientando-se pelos princípios da MP e pelo projeto pedagógico adotado para a disciplina LAIEC I de acordo com as etapas apresentadas na figura 33.

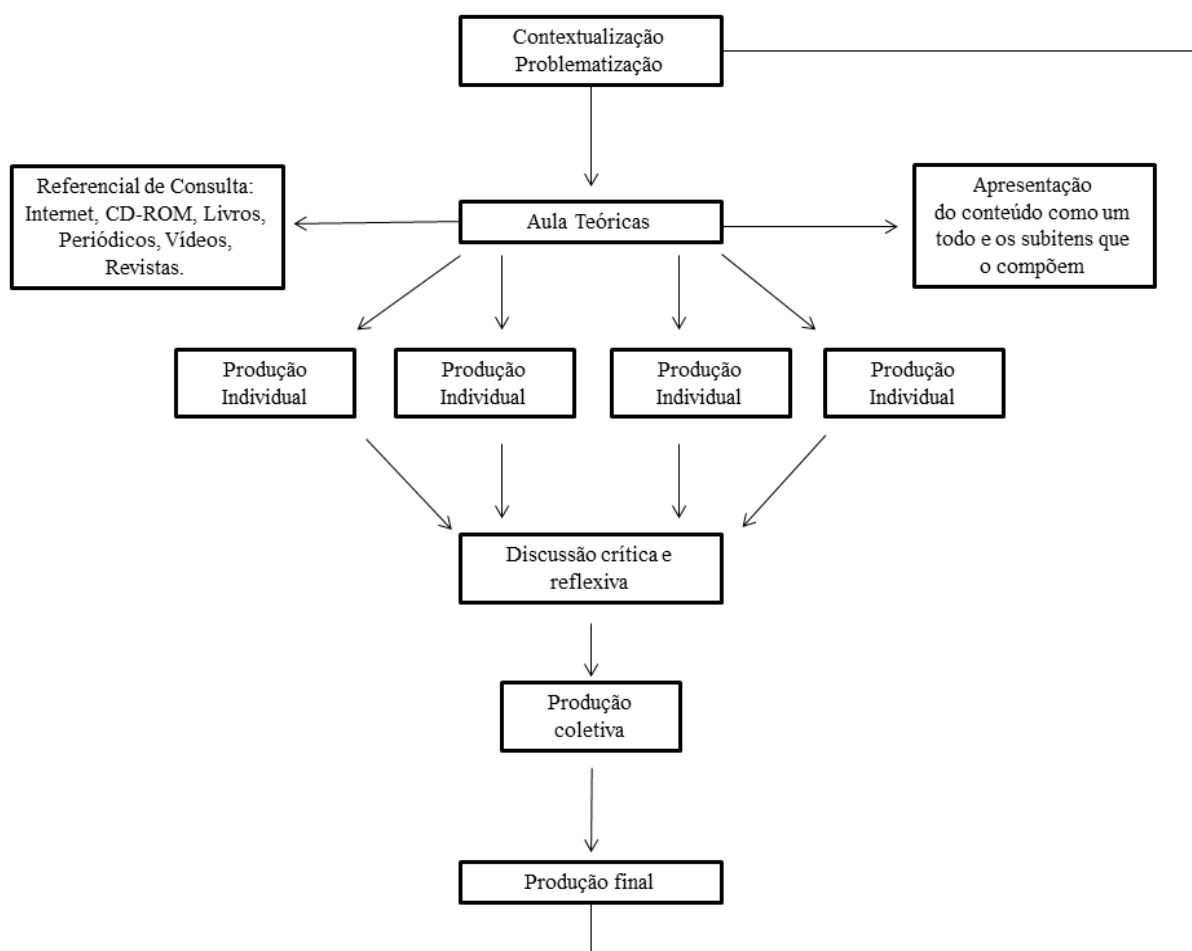


Figura 33 – Etapas que orientaram o desenvolvimento do projeto metodológico
Fonte: Adaptado de Behrens, 2011.

Com este propósito, orientados pelas temáticas do referencial teórico, realizamos a intervenção com o seguinte cronograma:

1) Na primeira etapa foi apresentada uma minuta da proposta do projeto, sendo esta submetida à apreciação dos estudantes, mostrando as etapas a serem desenvolvidas, esclarecendo objetivos, ressaltando aspectos da reflexão crítica e da indagação e também a mudança de pensamento que iria caracterizar o projeto. Tal meta exigia contextualizar e problematizar o tema da EA, da complexidade ambiental, do Pensamento Sistêmico e da SD no curso de Engenharia Civil, lembrando os aspectos que os motivaram a participar do projeto de pesquisa. Também foi apresentado o mapa conceitual (figura 34), com os conteúdos interdisciplinares que seriam desenvolvidos, comentando para que e a quem eles poderiam servir.

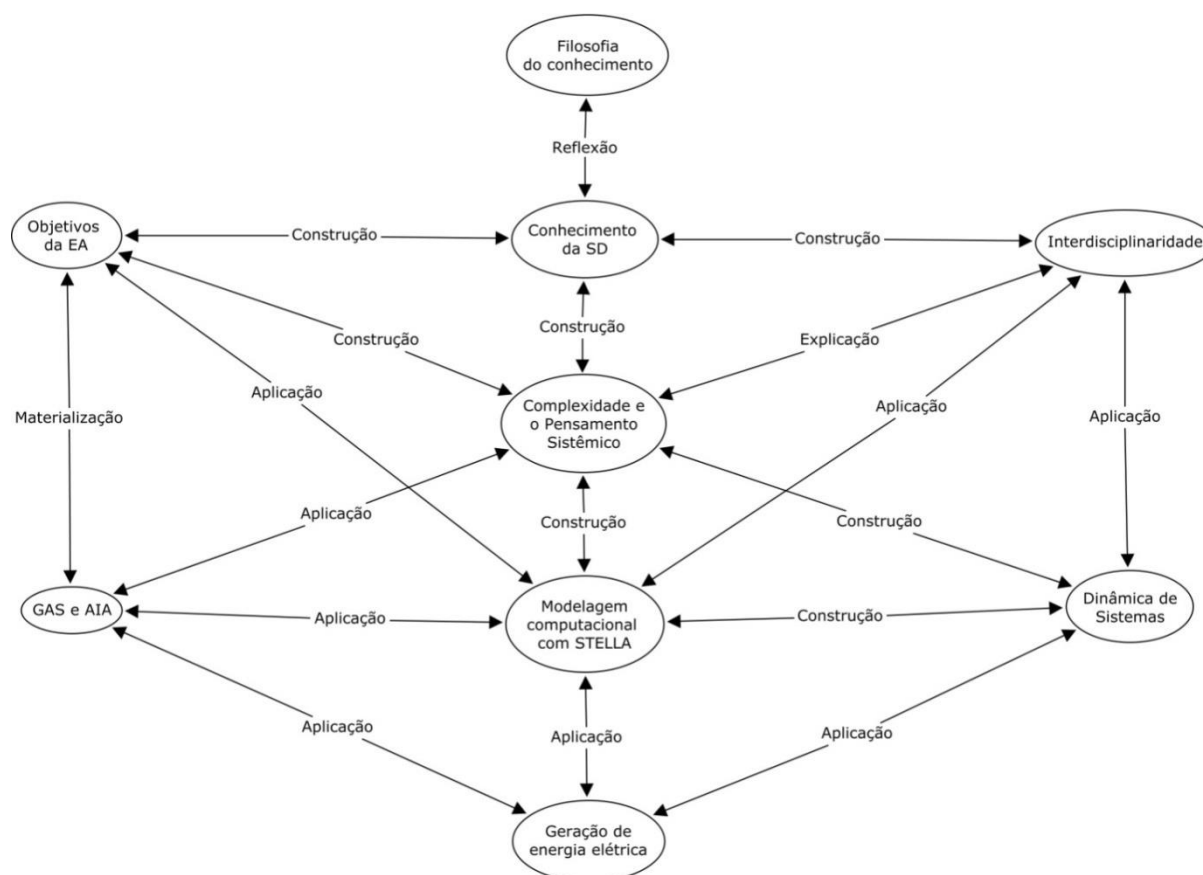


Figura 34 – Mapa conceitual dos conteúdos da disciplina LAIEC I
Fonte: Autoria própria, 2013.

Nesse contexto, ficou evidente a necessidade de localizar historicamente os conteúdos dos temas abordados, mostrando com isso a abrangência teórico-prática do projeto com seus desdobramentos sociais, históricos, econômicos, psicológicos e pedagógicos, onde estavam incluídas as possíveis soluções que encaminhassem para o objetivo a ser alcançado. Nesse processo foram enfatizados alguns aspectos da filosofia do conhecimento, ressaltando seus

desdobramentos a partir do paradigma newtoniano-cartesiano que encaminhou os pressupostos do pensamento analítico e o ensino tecnicista. A seguir procuramos trazer à tona e discutir os modelos mentais instituídos, tendo em vista que os estudantes desconheciam a linguagem sistêmica, mostrando apenas as interações entre as variáveis que integravam o arquétipo a ser trabalhado. Para poder começar a gerenciar a mudança de modelos mentais, através da reflexão crítica e indagação, procuramos esclarecer a diferença entre a forma de pensar analítica atrelada à metodologia tecnicista e a forma de pensar sistêmica, expondo sucintamente os resultados provisórios encontrados nas justificativas do primeiro questionário, nas quais ficou constatado o baixo nível das concepções a respeito dos objetivos da EA e de complexidade ambiental. Também nesta etapa foi discutida a importância da EA na formação do estudante, mostrando que a promoção da SD em suas práxis deveria ser acompanhada por uma mudança de pensamento, em que a complexidade ambiental fosse entendida através do Pensamento Sistêmico e da interdisciplinaridade.

2) Na segunda etapa, aconteceram as exposições teóricas dialogadas, dos conteúdos interdisciplinares contemplados no mapa conceitual (ver figura 35). A exposição observou os aspectos didáticos da interdisciplinaridade que tiveram a função de enriquecer o processo de investigação e a produção do conhecimento, levando em conta as questões ambientais na engenharia e a necessidade de compartilharmos as informações apresentadas. Sempre orientado pelos pressupostos da pedagogia da complexidade e pelo processo de reflexões críticas que a cada encontro foram sendo desaceleradas. Também desenvolvemos as habilidades de argumentar e questionar aspectos do modelo mental do pesquisador, fazendo com que os estudantes se aproximassem dos temas referentes aos objetivos progressistas da EA e também dos conceitos necessários para trabalhar o conceito de uma SD forte em substituição às concepções de uma SD fraca.



Figura 35 – Grupo presente na aula expositiva e dialogada de LAIEC I
Fonte: Autoria própria, 2013.

3) A terceira etapa, num primeiro momento, desencadeou uma produção individual (domínio pessoal), onde cada estudante foi incentivado a investigar a problemática que envolvia questões ambientais e a geração de energia elétrica. Foram recomendados os temas abordados em sala de aula, os conteúdos de Eletrotécnica e das disciplinas postados no *e-mail* da disciplina (sustentabilidadenaengenhariacivil@gmail.com), pesquisas na biblioteca, revistas, artigos e vídeos da Internet. Tais procedimentos deveriam eleger informações relevantes para uma aprendizagem significativa. Ainda nesta etapa os alunos foram estimulados a manifestar suas opiniões e apresentar suas produções realizadas para os colegas (visão compartilhada).

Posteriormente, através do processo de indagação, os estudantes foram provocados, pelo pesquisador, a apresentar e se manifestarem sobre o tema investigado. Nesse caso o pesquisador mediou a discussão e preparou questionamentos que provocaram os estudantes a focalizar nos aspectos críticos do assunto.

4) A quarta etapa (opcional), foi realizada em horário extraclasse. Estando o grupo de pesquisa subdividido em dois grupos – o grupo A, composto por 4 estudantes, e o grupo B, composto por 3 estudantes – iniciamos o processo que envolveu a produção coletiva. Para tanto, os grupos de estudantes realizaram em conjunto as tarefas envolvendo temas pertinentes ao conteúdo programático exigido pela disciplina.

Nessa etapa, partindo da convicção de que diferentes aspectos da vida podem ser inter-relacionados numa microintervenção, procuramos também associar a este estudo uma prática pedagógica de ensino com pesquisa que viesse ao encontro da emergência de subjetividades e que permitisse ao pesquisador e aos estudantes a abertura de novos caminhos que levassem ao entendimento da complexidade ambiental envolvida em suas práxis. Nesse momento, os estudantes foram provocados a trabalhar entre pares para acoplar e interconectar as produções individuais num trabalho extraclasse.

Por sua vez, apenas o grupo A se propôs atingir esse estágio do projeto pedagógico, sendo que os membros do grupo B não se dispuseram a avançar no processo. Para atingir tal nível, foi realizada uma microintervenção que resultou na edição de um vídeo, na qual o pesquisador participou como mediador e organizador do evento.

Assim, partindo da conscientização de que diferentes aspectos da vida podem ser inter-relacionados numa microintervenção (GUATTARI, 1998), procuramos também associar a este estudo uma prática pedagógica do ensino com pesquisa que viesse ao encontro de subjetividades que permitissem ao pesquisador e aos estudantes de Engenharia Civil uma apropriação de novos caminhos para o entendimento de mundo, da história, da vida, do psiquismo e da responsabilidade sociopolítica e ambiental.

O roteiro, a produção e a gravação do vídeo que puderam materializar a citada microintervenção, aconteceram da seguinte maneira.

A microintervenção foi realizada durante o período em que a disciplina LAIEC I foi ministrada, e o campo de intervenção envolveu o campus da FURG, onde foram utilizadas instalações como salas de aula, laboratório de informática e outros espaços. Também foram empregados equipamentos e aparelhos como as ferramentas audiovisuais (multimídia, câmera de vídeo e computadores para edição). Neste contexto, além das aulas práticas e teóricas, também foram executadas práticas relacionadas ao projeto de pesquisa que culminaram com a realização das estratégias, da logística, das táticas para montagem do roteiro e gravação do referido vídeo.

Os agentes envolvidos nessa prática foram o próprio autor do trabalho, técnicos de laboratório e um grupo de 6 estudantes (ver figura 36) que se ofereceram para a realização do vídeo, dos quais, 4 pertenciam ao grupo experimental denominado grupo A.

A realização do vídeo associou-se ao nível 4 do aprender a aprender (DEMO, 2012) e, seguindo o roteiro do projeto pedagógico previamente estabelecido, teve início com as gravações de imagens das aulas expositivas e dialogadas de LAIEC I. Tais procedimentos permitiram-nos refletir sobre a evolução dos pressupostos teórico-práticos empregados ao ministrar a disciplina, registrando aspectos como o linguajar e a postura associados à produção dos conhecimentos previamente estabelecidos pelo conteúdo programático, propondo a integração entre os temas técnicos, éticos, estéticos, políticos e econômicos e principalmente aos fatores comportamentais que incentivavam a aproximação entre professor e estudantes.

Na sequência da pesquisa, quando já havia maior cumplicidade entre os integrantes do trabalho, dando prosseguimento ao roteiro, propusemos aos estudantes a realização do vídeo, tratando de temas que envolvessem:

- impactos ambientais advindos do atual processo de geração de energia com utilização de combustíveis fósseis;
- conhecimentos de gestão e educação ambiental que se associavam à materialização da sustentabilidade do desenvolvimento;
- envolvimento da engenharia com o atual processo de geração de energias alternativas;
- a visão do estudante de engenharia quanto aos tópicos abordados e à influência destes estudos em sua subjetividade.

De todos os estudantes matriculados na disciplina, como já vimos, apenas 6 se motivaram para a realização do vídeo, conscientes de que seria adotada, a partir daquele momento, uma prática diferente daquela estereotipada no curso de Engenharia. Enfim, um grupo-sujeito, como afirma Baremlitt (1992, p. 153), “capaz de gerar suas próprias leis para realizá-las e de construir a si mesmo durante o processo, tendo sempre presente sua finitude e a perspectiva de sua própria morte”.

A seguir, dando sequência à microintervenção, concomitantemente às aulas teóricas e práticas, foi solicitado aos estudantes que procurassem, na Internet, vídeos associados aos principais impactos ambientais ocorridos no Brasil, como, por exemplo, o acidente da plataforma de petróleo P-36, e no mundo, o acidente na usina nuclear de Chernobyl. O importante seria que tais eventos estivessem associados à geração de energia com utilização de combustíveis não-renováveis.

Orientados pelo nosso roteiro, foi solicitada aos estudantes a escolha de vídeos que envolvessem processos de geração de energias alternativas com uso de fontes renováveis. Nesse momento da pesquisa já estava evidenciado, para o grande grupo, o encaminhamento que o atual MDE oferecia para a insustentabilidade do planeta, mediante a utilização desenfreada dos recursos naturais que abastecem o mercado, acabando por incentivar a produção, o consumo, o avanço desenfreado da tecnologia e a conseguinte utilização de recursos naturais não-renováveis na geração de energia.

Tal procedimento ficou registrado como um *Klinamen*¹⁹ que associava as ecologias ambiental, social e mental, já que, estando os estudantes conscientizados da necessidade de repensar atitudes no que diz respeito às questões que envolvem o meio ambiente e a sociedade, poderíamos dar início a um trabalho ético-estético que permitisse ao grupo processos de autoanálise e autogestão.

Posteriormente, foi solicitado aos estudantes do grupo que trouxessem fotos, vídeos ou quaisquer documentos que registrassem atividades esportivas, artísticas, musicais que os motivavam e que fizessem parte do seu cotidiano.

Diante disso, foi solicitado aos estudantes que escrevessem um texto que relacionasse o que sentiam a respeito do futuro da humanidade no planeta, os avanços da tecnologia e seus decorrentes impactos ambientais, o incentivo à produção e ao consumo sob a ótica do sistema capitalista, as exigências impostas pelos estudos de engenharia e o quanto isso os afastava daquilo que mais gostavam e, por último, uma análise da subjetividade industrializada.

¹⁹ Pequenas intervenções que podem realizar transformações localizadas ou desvios (BAREMBLITT, 2002).

No encontro seguinte, foram apresentados e discutidos os textos produzidos pelo grupo, em que ficou evidente a tomada de consciência de que a atual ordem capitalista é projetada na realidade do mundo e na realidade psíquica dos indivíduos, incidindo na conduta, na ação, nos gestos, no pensamento, no sentimento e nos afetos.

Posteriormente foi feita a produção do vídeo, e foram, em conjunto, estabelecidos os procedimentos que seriam adotados para essa realização.

A captação de imagens que incluíam a gravação das leituras dos textos escritos pelos estudantes teve como atividade principal a gravação do vídeo e do áudio, em que os colegas gravaram uns aos outros, aprendendo a manusear a câmera. Tal situação permitiu a cada participante da microintervenção analisar, através da lente, o comportamento do colega filmado, bem como a emoção sentida ao realizar a filmagem. A seguir as imagens foram reproduzidas sem edição, para que pudessem ocorrer os processos de autoanálise e autogestão do grupo, em que foi discutida a importância dos conhecimentos adquiridos no transcorrer da disciplina, ficando bem claras as pequenas transformações que aconteceram com os agentes participantes do vídeo, ou seja, uma mudança de subjetividade em cada participante do grupo-sujeito que incluía os estudantes e o pesquisador. Por último, o vídeo foi editado e apresentado para os estudantes matriculados na disciplina “As Três Ecologias de Felix Guattari”, sob a orientação e coordenação do Prof. Dr. Alfredo Gentini, coordenador da disciplina, estando disponível no *site* do PPGEA.



Figura 36 – Grupo presente na realização do vídeo
Fonte: Autoria própria, 2013.

5) Na quinta etapa nos propusemos continuar intervindo nos modelos mentais dos estudantes, apresentando o Pensamento Sistêmico como uma nova estrutura de referência conceitual ou metalinguagem em desenvolvimento alternativa à estrutura conceitual clássica ou pensamento analítico, utilizando como tecnologia inovadora o *software* STELLA. Para tanto foi apresentado um conjunto de ideias sistêmicas gerais, bem como teorias e exercícios com abordagens sistêmicas aplicadas. O núcleo central desta abordagem está na utilização do

pensamento sistêmico como processo que permite examinar e testar os modelos mentais de grupos e indivíduos para decisões que dizem respeito à aprendizagem individual e em equipe. Com isso partimos da ideia de que este pensamento é um quadro de referência que nos auxilia na construção de entendimentos sobre estruturas profundas da dinâmica complexidade da realidade, desencadeando mudanças na maneira como os indivíduos pensam e interagem nas organizações, alavancando mudanças para a produção de conhecimento.

Por sua vez, a utilização da tecnologia inovadora da modelagem computacional com STELLA é uma das ferramentas que adicionam aprendizagem ao processo, desenvolvendo habilidades que, colaborando para o alcance do pensamento sistêmico, nos permitem visualizar e modificar estruturas organizacionais construídas com base na linguagem linear e mecanicista, através da construção de cenários associados à realidade dos sistemas complexos onde são avaliadas as consequências de nossas ações no tempo e no espaço. Dada a importância desta etapa para o desfecho do trabalho, descrevemos na íntegra a fundamentação teórica, a metodologia adotada para a coleta dos dados e a análise dos resultados obtidos nessas atividades, no capítulo 6.

5.2.9.2 O plano didático-pedagógico e os instrumentos de pesquisa

Seguindo as orientações da pedagogia da complexidade, adotamos como processo de alavancagem os métodos, as ferramentas e as teorias da MP propostas por Behrens (2008), uma vez que estas, tal como a pesquisa-ação, incentivam a adoção de empreendimentos cooperativos, onde a sugestão dada pelo pesquisador se apresenta como uma possibilidade de acolher as contribuições daqueles que estejam envolvidos no processo educativo. Ou seja, uma intervenção que atendessem os propósitos de uma EA complexa, global, holística e emergente que exige processos democráticos de escolha e envolvimento. Para tanto, as teorias, métodos e ferramentas puderam ser organizados amparados numa visão sistêmica do ensino que levasse à produção de conhecimentos e à intervenção na realidade desenvolvendo uma prática educativa pautada em princípios como: a complexidade, o Pensamento Sistêmico, a visão de totalidade, a conexão com outras áreas do conhecimento (interdisciplinaridade), o espírito crítico e reflexivo, a busca para a formação da cidadania e a recuperação do posicionamento ético. Nesse contexto, buscamos também a superação da perspectiva da acumulação e memorização de conhecimento, enfocando-se numa aprendizagem significativa que está em constante transformação, desprezando as situações que isolam os conteúdos disciplinares.

Nesse processo, o docente deve propor problemas que se aproximem da realidade com o intuito de preparar o estudante para resolver criticamente situações relevantes e significativas que se apresentem no cotidiano, tornando-o competente para modificar os complexos problemas do dia a dia, podendo com isso vir a transformar a sociedade.

Assim, a aplicação da MP aconteceu de acordo com as etapas relatadas na seção 5.2.9.1 através da disciplina LAIEC I, em encontros semanais que totalizaram 41 horas e envolveu os estudantes dos grupos experimentais A e B. Os encontros semanais aconteceram às terças-feiras, com início às 19 horas, com tempo de duração alternado de duas ou três horas, nas salas de aula do Campus Carreiros da FURG, em Rio Grande, seguindo o plano pedagógico apresentado no quadro 12. Tais encontros iniciaram em novembro de 2012 e finalizaram em abril de 2013. É importante registrar que os estudantes do grupo A, de acordo com os aspectos motivacionais apresentados no passo 1 (seção 5.2.1), estando matriculados na disciplina LAIEC II, tiveram a orientação por parte do pesquisador, no projeto final de conclusão do curso de Engenharia Civil, iniciado em abril de 2013 e finalizado em janeiro de 2014. Nesse período foi elaborada uma pesquisa que diz respeito ao nível da eficiência energética do projeto do prédio envolvido com o TCC do referido curso (ver seção 8.4).

Quadro 12 – Plano pedagógico da disciplina LAIEC I

Conteúdo programático e seus propósitos (material disponível no <i>site</i> da disciplina)	Metodologia	Horas
Aplicação do questionário inicial. O propósito deste encontro é analisar as concepções dos estudantes a respeito dos objetivos da EA, dos pressupostos do Pensamento Sistemico e suas implicações no conhecimento da SD, observando seus desdobramentos na práxis do estudante de Engenharia Civil, podendo com isso eliciar aspectos dos seus modelos mentais antes da intervenção programada.	Aplicação do primeiro questionário individualmente.	3
Contextualização e problematização da pesquisa. Nesse encontro devem ser abordadas as influências dos pensamentos analíticos e sistêmicos na construção do conhecimento de uma SD forte, ressaltando a importância da EA como instrumento de materialização do processo de GAS na Engenharia Civil.	Aulas expositivas e dialogadas, envolvendo discussões críticas, reflexivas e indagadas a respeito da temática apresentada.	2
Delimitação da temática mediante a apresentação do mapa conceitual das teorias apresentadas (ver figura 34). O acesso a estes conhecimentos, que colaboram para o desenvolvimento das capacidades e habilidades do estudante em perceber e sentir a complexidade ambiental, exige uma modificação na forma de pensar analítica. Tal ação, ao se orientar pelos princípios da pedagogia da complexidade, deve ressaltar os desdobramentos político-sociais, históricos, econômicos e psicológicos que confluem para a filosofia do conhecimento.	Aulas expositivas e dialogadas, envolvendo discussões críticas, reflexivas e indagadas a respeito da temática apresentada. Projeção de vídeos envolvendo a vida de grandes pensadores como Galileu, Descartes, Bion, Comte, Kant, Hegel, Marx e Habermas.	4
Conceitos que confluem para a construção do conhecimento de uma SD forte de acordo com Garcia e Vergara: - Matéria e energia, leis da termodinâmica e entropia. - Ciclos biogeoquímicos do carbono, enxofre, nitrogênio e da	Aulas expositivas e dialogadas, envolvendo discussões críticas, reflexivas e indagadas a respeito da temática apresentada.	7

<p>água.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ecossistemas: definição, reciclagem de matéria, fluxo de energia e biomas. - Poluição: meio aquático, terrestre e atmosférico. - Modelo de Desenvolvimento Econômico (MDE) - Lei da oferta e da procura - Crescimento populacional 	<p>Nesse processo os estudantes devem ser estimulados a realizar pesquisa a respeito dos conteúdos discutidos.</p> <p>Projeção de vídeos sobre a “Revolução Industrial”.</p>	
<p>Complexidade e o Pensamento Sistêmico:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Definição de simples e complexo. O pensamento complexo e seus desdobramentos para as questões ambientais. - Apresentação teórica dos novos pressupostos e perspectivas sistêmicas para formação de um quadro de referência conceitual alternativo à estrutura conceitual clássica ou pensamento analítico. - A disciplina do Pensamento Sistêmico. 	<p>Aulas expositivas e dialogadas. Leitura de textos associada a discussões críticas, reflexivas e indagadas a respeito da temática desenvolvida.</p> <p>Nesse processo os estudantes devem ser estimulados a realizar pesquisas a respeito dos conteúdos discutidos. Projeção de vídeo: “O ponto de mutação”.</p>	6
<p>Princípios da sustentabilidade: Contextualização, conceitos, finalidades e objetivos. Comparação entre a sustentabilidade forte e a sustentabilidade fraca, segundo os pressupostos de Garcia e Vergara (2000).</p> <p>Educação ambiental: Contextualização e conceitos básicos, finalidades, princípios e objetivos. Fundamentos conceituais da EA para a gestão ambiental sistêmica (GAS). Práticas pedagógicas para uma EA crítica, emancipatória e reflexiva</p>	<p>Aulas expositivas e dialogadas. Leitura de textos associada a discussões críticas, reflexivas e indagadas a respeito da temática desenvolvida. Nesse processo os estudantes devem ser estimulados a realizar pesquisa a respeito dos conteúdos apresentados.</p>	4
<p>Gestão ambiental sistêmica: conceitos, instrumentos de abrangência macro e micro e esfera pública como o licenciamento ambiental e a avaliação dos impactos ambientais envolvendo a geração e utilização da energia elétrica na construção civil.</p> <p>Instrumentos de abrangência micro e esfera privada. Nesse tópico deverão ser ressaltadas a importância do sistema de gestão ambiental ISO 14001 e as responsabilidades ambientais do Engenheiro Civil. Nesse contexto a EA deverá ser entendida como o instrumento mais importante para a materialização da GAS.</p>	<p>Aulas expositivas e dialogadas, através de pesquisa e leitura de textos associada a discussões críticas, reflexivas e indagadas a respeito da temática desenvolvida. Nesse processo os estudantes devem ser estimulados a realizar pesquisa a respeito dos conteúdos apresentados.</p> <p>Projeção de vídeo. “A geração de energia elétrica e seus impactos ambientais”.</p>	3
<p>A modelagem computacional com o <i>software</i> STELLA e a aprendizagem do linguajar e pensar sistêmico. Apresentação de métodos e ferramentas que, estimulando a aprendizagem significativa, vem a colaborar para a mudança na maneira de pensar analítica (ver material instrucional dos apêndices 2, 3 e 4). Nesse processo são realizadas atividades expressivas e exploratórias que, exercitando o linguajar sistêmico, permitem ao estudante adquirir a habilidade de conceituar e enxergar a dinâmica e complexa realidade do mundo.</p>	<p>Atividades exploratórias e expressivas, orientadas pelos materiais instrucionais dos apêndices 2, 3 e 4. Tais atividades serão desenvolvidas individualmente no laboratório de informática e coletivamente em atividades extraclasse.</p>	9
<p>Aplicação do segundo questionário (ver material instrucional no apêndice 5). O propósito deste encontro é verificar mudanças de modelos mentais e indícios de aprendizagens significativas, que envolvem a habilidade de conceituação das categorias dos objetivos da EA. Tais concepções, associadas ao Pensamento Sistêmico, confluem para o conhecimento da SD e de seus desdobramentos na práxis do estudante de Engenharia Civil.</p>	<p>Aplicação individual do segundo questionário.</p>	3

Fonte: Autoria própria, 2012.

Durante o ministrar da disciplina foram observadas as seguintes atitudes dos alunos:

- Presença, pontualidade e participação.
- Leituras realizadas com anotações e comentários.

- Produção de trabalhos individuais e coletivos.
- Participação e discussão dos textos sobre os temas propostos.
- Realização dos questionários inicial e final.
- Atividades exploratórias e expressivas com o *software* STELLA.
- Atividades extraclasse envolvendo pesquisas e trabalhos como a realização de vídeos. Quanto às competências dos estudantes, deve ser observada a capacidade de:
- Observar reflexivamente e criticamente os paradigmas científicos contemporâneos que influenciam os objetivos da EA.
- Investigar numa rede de informações a temática proposta.
- Justificar a validade de optar pelo paradigma da complexidade no contexto educacional.
- Discutir cientificamente as consequências ambientais de sua práxis.
- Pesquisar, ampliar e propor questionamentos que dizem respeito aos impactos ambientais envolvendo a construção civil.
- Refletir sobre a Engenharia Civil e os novos caminhos na formação ambiental continuada desses profissionais.
- Construir propostas para uma práxis de engenharia civil que envolva o paradigma da complexidade.
- Utilizar aspectos dos seus modelos mentais que, refletindo uma aprendizagem significativa, envolvam a modelagem computacional com STELLA, como ferramenta que os permita, através do Pensamento Sistêmico, enxergar a complexidade ambiental.

Os conteúdos dos encontros aparecem no referencial teórico, capítulos 2, 3, 4, 6 e no *site* da disciplina, cujas referências bibliográficas são apresentadas ao final da tese. As aulas, expositivas e dialogadas, foram ministradas com o auxílio do *PowerPoint*, e as atividades expressivas e exploratórias com o *software* STELLA realizaram-se no laboratório de informática. Todos os encontros utilizaram as dependências da FURG e foram gravados em fitas de vídeo, posteriormente transpostas para os CDs que compõe o acervo desta pesquisa.

5.2.10 Passo 10: Observando a aprendizagem significativa após a intervenção

Para identificar as prováveis mudanças nos modelos mentais dos estudantes, após a intervenção com a MP, analisamos uma série de instrumentos que, aplicados no grupo experimental subdividido nos grupos A e B, puderam coletar informações a respeito de tal

mudança. Para tanto, partimos da premissa de que os estudantes, ao aprender a pensar sistemicamente, poderiam atingir diferentes perfis de concepções que dizem respeito à emergência do conhecimento da SD.

Sendo assim, após o último encontro da disciplina LAIEC I, procuramos identificar nos modelos mentais dos estudantes, as capacidades de refletir, esclarecer continuamente e melhorar os quadros internalizados do mundo, observando como estes quadros podem moldar as suas ações e decisões. Assim, através das concepções que os mesmos mantinham em suas mentes, buscamos observar se a intervenção através da MP modificou a consciência, as habilidades e as crenças arraigadas, alcançando o Pensamento Sistêmico, o pensamento complexo e a aprendizagem significativa que diz respeito às categorias dos objetivos da EA, vindo com isso ao encontro dos propósitos desta pesquisa-ação.

5.2.10.1 Instrumentos que refletem a aprendizagem significativa e a construção do conhecimento após a aplicação do questionário final

A aplicação do questionário final (figura 37) aconteceu nos moldes da aplicação do questionário inicial, buscando o encontro com as concepções construídas pelos estudantes após a intervenção, analisando-as de acordo com a metodologia que apresentada a seguir.



Figura 37 – Aplicação do questionário final envolvendo o grupo experimental
Fonte: Autoria própria, 2013.

Buscando confirmar as mudanças de pensamento que influenciam e as relações causais entre os fatores apresentados no mapa sistêmico da figura 32, era necessário enxergar no todo os padrões de comportamento de elementos da realidade que nos informassem a emergência do conhecimento da SD.

Assim, de posse das opções e justificativas apresentadas pelos estudantes do grupo experimental no questionário final, passamos a analisar cada afirmativa desse instrumento (apêndice 5), repetindo os procedimentos metodológicos do questionário inicial, ou seja, uma

análise qualitativa expressa pelas redes sistêmicas de cada uma das categorias dos objetivos da EA e uma análise quantitativa dos dados informados pelos estudantes, onde é possível encontrar o perfil das concepções a respeito das afirmativas justificadas (ver seção 5.2.6.5). Para tanto foram analisados os níveis, os percentuais de acertos das concepções e as médias dos estudantes e de seus grupos (A e B), sendo que os dados obtidos estão registrados nas tabelas 1, 2 e 3 do apêndice 6 e nos gráficos da seção 7.4.2.1 (figuras 84 a 88). Os métodos adotados para essas análises estão detalhadamente apresentados na seção 5.2.6.5 e tiveram como objetivo maior observar:

- a) Indícios de aprendizagens significativas que dizem respeito aos métodos, conceitos e instrumentos utilizados para atingir um efetivo entendimento dos objetivos progressistas da EA, analisando as concepções individuais e por grupo de cada categoria como a complexidade ambiental, sustentabilidade, comportamento, habilidade avaliadora e cidadania.
- b) Indícios de aprendizagem significativa, expressos pelas concepções construídas a respeito da categoria complexidade, associadas às afirmativas 10, 19, 20, 21, 22, 23e 24, uma vez estas estando vinculadas a um quadro de referência conceitual e a aprendizagem da linguagem e dinâmica dos sistemas, através da utilização da ferramenta da modelagem computacional com STELLA, comprovam as prováveis mudanças no modelo mental dos estudantes, capacitando-os a pensarem sistemicamente a realidade do mundo.
- c) De posse das informações que dizem respeito aos itens a e b, podemos demonstrar a emergência do conhecimento da SD, uma vez que para este, confluem a interdisciplinaridade intrínseca às categorias dos objetivos da EA, e o Pensamento Sistêmico que nos permite enxergar o dinamismo e a complexidade da realidade.

CAPÍTULO 6

Este capítulo descreve detalhadamente a *quinta etapa* da seção 5.2.9.1 e aborda o referencial teórico, a metodologia, a análise de dados e os resultados encontrados através das atividades expressivas e exploratórias com o *software* STELLA.

6.1 Considerações iniciais

Conforme explicado no capítulo 5, fazia-se necessário intervir nos modelos mentais dos estudantes, utilizando o Pensamento Sistêmico como uma estrutura de referência conceitual ou meta linguagem opcional à estrutura do pensamento analítico. Com esse objetivo, utilizamos a modelagem computacional com STELLA como uma das ferramentas que, ao potencializar a construção do conhecimento, nos permite modificar a forma de agir utilizando uma linguagem que satisfaça as nossas necessidades de pensar sistemicamente. Assim, a modelagem com STELLA nos conduz, através de sua prática, a desenvolver habilidades que nos permitem visualizar e modificar as estruturas organizacionais construídas com base na linguagem linear e mecanicista, enfatizando, de acordo com Andrade et al. (2006), as características do pensamento sistêmico e que nos levam a:

- analisar mais o todo do que as partes;
- perceber as redes da realidade;
- enxergar os círculos maiores de causalidade ao invés de cadeias lineares de causa e efeito;
- focar a dinâmica, os processos subjacentes ao invés de estruturas estáticas;
- entender e pensar o mundo como um organismo vivo, ao invés de enxergá-lo como uma máquina.

6.2 Pressupostos teóricos a respeito de modelos, modelos mentais e modelagem computacional com STELLA

A vida do ser humano está gradativamente mais complexa, tanto no âmbito da família como no das organizações em que trabalhamos. Dependemos cada vez mais de sistemas artificiais para a nossa sobrevivência como o avião, automóvel, computadores, alimentação, medicamentos e energia elétrica entre outros. Estamos integrados a um mundo interconectado no qual as decisões dos engenheiros poderão ter consequências danosas, para nós humanos e para o meio ambiente. Nesse contexto, como poderemos ter certeza de que nossas decisões acontecerão como pretendemos?

Segundo Pidd (1998), uma das maneiras de resolvermos este dilema é modificarmos a maneira de pensar, utilizando modelos que nos permitam administrar a complexidade, minimizando as tomadas de decisões errôneas.

6.2.1 Conceitos de modelos

Pidd (1998, p. 23), define modelo como uma representação da realidade projetada para algum propósito definido. Segundo o autor, a finalidade do modelo é representar parte da realidade observada pelas pessoas que desejam utilizá-lo para entender, mudar, gerenciar e controlar aquela parte analisada. Pidd (1998) afirma que enxergamos o mundo parcialmente, interpretando de maneira distorcida o que ocorre na realidade, o que inclui visões e argumentos mal definidos, a não ser que estes sejam nitidamente codificados e documentados. Nesse processo, o modelador colhe estas visões mal definidas e implícitas e, através de um modelo formal e bem definido, às constrói de uma forma razoavelmente bem definida.

Para Kurtz dos Santos (1995), modelo é um conjunto de regras e relações que descrevem um objeto ou sistema. Para o autor, o nosso pensamento depende de modelos. Assim, os conceitos mentais que desenvolvemos para empregarmos nos modelos devem-se a abstrações ocorridas através da nossa experiência de vida e envolvem nossos processos de percepção e organização particulares.

Neelamkavil, apud Kurtz dos Santos (1995), entende que os modelos podem ser classificados como físicos, simbólicos e mentais.

Os modelos físicos são aspectos de sistemas físicos, estruturados por entidades palpáveis e mensuráveis, que podem ser interpretados como estáticos ou dinâmicos.

Por sua vez, os modelos simbólicos podem ser classificados em matemáticos e não-

matemáticos, que podem ser subdivididos em:

- modelos dinâmicos, que normalmente estão associados a equações diferenciais ou de diferenças;
- modelos estáticos, que são relações matemáticas que independem da variável tempo.

Ainda quanto aos modelos simbólicos, o autor afirma que eles são estabelecidos pelo sujeito através da sua experiência no mundo.

Segundo Kurtz dos Santos (2002), todos os nossos pensamentos são dependentes dos modelos e nossos conceitos mentais são abstrações fundamentadas em nossas experiências com a realidade. À medida que essas abstrações vão sendo filtradas e modificadas ao longo do tempo pela percepção de cada um e por processos organizacionais do meio ambiente, elaboramos os modelos mentais que representam o mundo em que vivemos. Como os modelos mentais trazem uma importante contribuição para este trabalho, apresentamos sua conceituação na próxima seção.

6.2.2 Modelos mentais

Para Moreira, o modelo mental é uma “representação interna de informações que corresponde, analogamente, ao estado das coisas que estiver sendo representada, seja qual for ele. Ou seja, os modelos mentais são análogos estruturais do mundo” (1996, p. 197). Nesse caso, as representações internas, ou representações mentais, são maneiras de “re-presentar internamente o mundo externo. As pessoas não captam o mundo exterior diretamente, elas constroem representações mentais (internas) dele” (1996, p. 194).

Senge afirma que, quanto aos aspectos cognitivos o termo modelo mental “refere-se tanto aos mapas tácitos semipermanentes do mundo que as pessoas retêm em suas memórias de longa duração, quanto às percepções de curto prazo que as pessoas constroem como parte de seus processos diários de raciocínio” (1996, p. 233).

Por sua vez, Forrester (1990) entende que a mente humana tem uma boa capacidade para desenvolver e manipular modelos que tratam de objetos no espaço, e que podem ser explicitados através de palavras e ideias. Entretanto, esta mesma mente apresenta dificuldades em trabalhar com a construção e interpretação de modelos, quando se depara com sistemas tecnológicos e sociais contemporâneos, que dizem respeito a processos dinâmicos e complexos. E acredita que estas dificuldades podem ser minimizadas quando nossos modelos mentais constroem e interpretam modelos na forma de diagramas de fluxo e equações, onde tomamos como exemplo as atividades de modelagem computacional com STELLA.

No caso da utilização de sistemas computacionais como STELLA, Kurtz dos Santos (2002, p. 12), baseado nos estudos de Forrester (1990), Norman (1983) e outros, entende que o termo modelo mental designa um modelo indiossincrático, muito pessoal que um usuário possui sobre uma área específica. Pode-se pensar que esse modelo é uma representação subjetiva do conhecimento da área, onde o termo subjetivo significa que não tem que estar de acordo com uma descrição objetiva e científica. Para a descrição científica, Kurtz dos Santos (2002) reserva o termo modelo conceitual desenvolvido por cientistas e pesquisadores.

Norman, apud Moreira (1996, p. 197), faz uma distinção entre modelos mentais de modelos conceituais. Para o autor, os modelos conceituais são projetados como instrumentos para a compreensão ou para o ensino de sistemas físicos, ou estados de coisas físicas. São representações precisas, consistentes e completas destes sistemas e são projetados como ferramentas para o entendimento ou para o ensino de sistemas físicos. Modelos mentais são o que as pessoas constroem para representar estados físicos (assim como estados de coisas abstratas). Os modelos mentais das pessoas evoluem naturalmente nas interações com o sistema e vão se modificando continuamente a fim de atingir uma funcionalidade que lhes satisfaça. Entretanto, os modelos mentais são limitados por fatores tais como o seu conhecimento e sua experiência prévia com sistemas similares, e pela própria estrutura do sistema de processamento de informação humana.

Assim, o professor, ao ensinar modelos conceituais, espera que estes, por sua vez, sejam consistentes com os sistemas físicos, sendo, portanto, meios e não fins, para induzir o aprendiz a formar modelos mentais adequados do sistema analisado. Resumindo, é preciso distinguir, modelo conceitual e modelo conceitual do sistema estudado. O modelo conceitual é um modelo preciso, consistente e completo do sistema estudado que é produzido para facilitar a construção de um modelo mental (que não é preciso, completo e consistente, mas deve ser funcional) adequado (com poder explicativo e preditivo) do sistema físico.

6.2.3 Modelagem computacional com STELLA

Kurtz dos Santos (1995) esclarece que definir modelagem não é um procedimento muito fácil, mas a entende como um processo de construção de um modelo. Segundo esse autor, apesar de não haver uma definição clara dos passos a serem adotados no processo de modelagem, alguns autores (OPEN UNIVERSITY, 1981; BURGUES; BORRI, 1981) estabelecem alguns passos (ver figura 38) no processo de modelagem matemática, que podem ser utilizados em qualquer área do conhecimento.

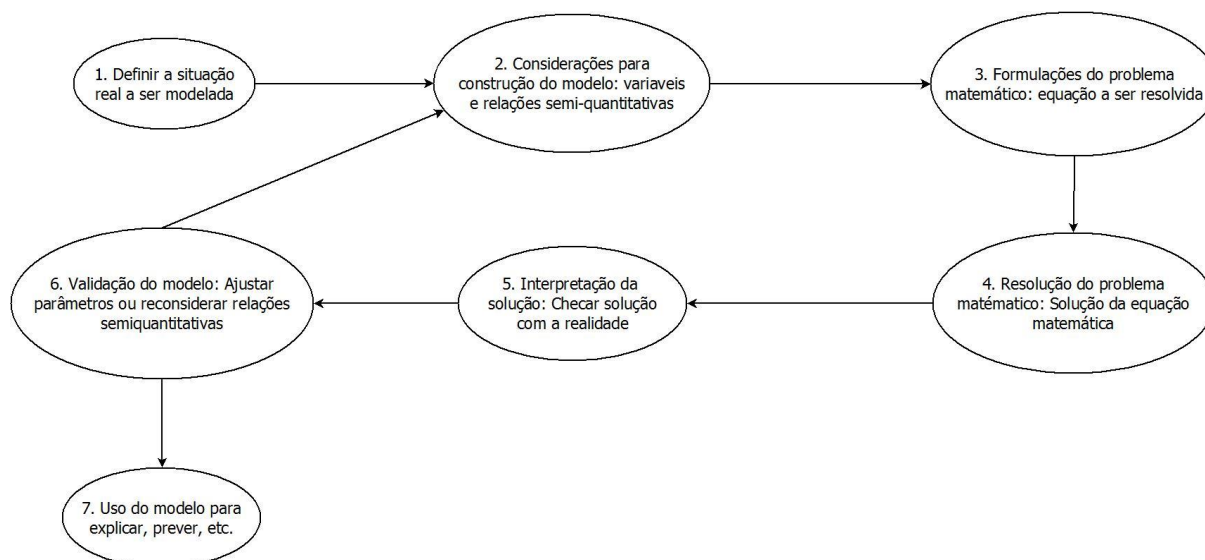


Figura 38 – Referencial para o processo de modelagem matemática
 Fonte: Adaptado de Kurtz dos Santos, 1995.

O autor explica que, embora esse referencial não leve em consideração a modelagem computacional, poderia estar presente em todas as fases desse processo. Kurtz dos Santos (1995) aprofunda um pouco mais os estágios do referencial, entendendo a etapa 1 (um) como a fase de definição de uma situação real, em que será feita a escolha do sistema a ser modelado, acreditando que nessa fase o conhecimento empírico a respeito do sistema será qualitativo. A etapa 2 (dois) seria a fase de identificação de causação e de variáveis. Na modelagem de sistemas dinâmicos trabalharíamos os diagramas causais. A etapa 3 (três) formula o problema matematicamente, onde se faz necessário algum conhecimento de alguns tipos de modelos, descrevendo seus comportamentos através de equações. A etapa 4 (quatro), que diz respeito à resolução do problema matemático, será a geração de saída gráfica ou tabular do modelo, que pode envolver sistemas de modelagem com STELLA, uma vez que esse programa permite resolver equações diferenciais ou de diferenças que podem representar sistemas dinâmicos.

As etapas de validação do modelo e considerações para construção do modelo estão unidas por uma seta, significando que, se o modelo não é válido, deverá ser refeito, pensando novas considerações para a elaboração do mesmo.

Um modelo pode ser validado qualitativa e quantitativamente. A validação quantitativa observa o comportamento do modelo quanto aos efeitos numéricos. Nesse procedimento será necessário selecionar parâmetros, rodar e explicar o modelo, verificando se ele descreve apropriadamente a realidade. Por sua vez, a validação qualitativa, que diz respeito à verificação do comportamento qualitativo da solução, observa se esta é apropriada, questionando a estrutura causal do modelo.

6.2.3.1 O *software* STELLA

A seguir, faremos uma sucinta apresentação do *software* STELLA e de alguns comportamentos dinâmicos que podem ser trabalhados na modelagem computacional, ressaltando que os procedimentos mais detalhados a respeito da linguagem sistêmica, bem como os procedimentos necessários para a aplicação do STELLA são apresentados no material instrucional (apêndice 2).

O *software* STELLA é um instrumento utilizado na modelagem computacional que utiliza os símbolos de tanque, válvulas e canos e que pode ser utilizado para a construção de cenários que envolvam os modelos dinâmicos e suas entidades em nível quantitativo. Neste programa, um tanque ou um nível está associado a uma entidade cujo valor pode crescer ou decrescer, apresentando o comportamento temporal de acumulação destas entidades. Já a válvula ou torneira, que representa a taxa ou fluxo, determina a rapidez com que a quantidade no tanque está variando. Nesse processo, o conversor, ou variáveis auxiliares, são quantidades representadas por um círculo que podem ser constantes ou valores que podem se obtidos de outras quantidades.

No STELLA, o usuário, ao construir um modelo, através do acoplamento dos elementos básicos, tanque, torneira e conversor, não precisa definir as equações diretamente. Ele tem apenas que ministrar as relações algébricas e o sistema as transforma em linhas do programa. Ao rodarmos o programa, este nos fornece os gráficos de quaisquer entidades, umas contra outras e contra o tempo, elaborando, ao final, uma tabela de dados. Convém ressaltar, de acordo com Kurtz dos Santos (2002), que os níveis por acumularem os efeitos da ação do sistema, não podem sofrer mudanças instantâneas. Com isso, a entidade nível é calculada em função da entidade taxa, que pode alterar o valor inicial do nível. Também é importante ressaltar que nenhuma taxa pode ser medida instantaneamente e, quando avaliada, o valor encontrado é um valor médio num período de tempo. Assim, nenhuma taxa pode ser função das outras taxas no mesmo momento e para uma taxa controlar outra taxa, faz-se necessário a intervenção de uma entidade nível. Logo, o valor da taxa depende exclusivamente de constantes e dos valores das entidades níveis naquele momento. As equações de taxa de um sistema são de forma algébrica simples que, por não envolverem o tempo, não estão atreladas aos seus valores anteriores. Sendo assim, se num sistema dinâmico os níveis são conhecidos num determinado período de tempo, podemos determinar as taxas. É importante ressaltar que o valor da entidade nível é o agente responsável pela completa descrição do estado de um sistema.

6.2.3.1.1 Padrões de comportamentos dinâmicos desenvolvidos em STELLA

Apenas para ilustrar, descrevemos alguns comportamentos básicos cujos tipos de respostas temporais, podem ser estruturados em modelos de sistemas dinâmicos STELLA (figuras 39, 40 e 41). À esquerda apresentamos as estruturas dinâmicas com taxas, níveis, e conversores acoplados semelhantes a canos e torneiras, tal qual um sistema de tanque com água. À direita são apresentados os comportamentos dinâmicos que são os gráficos de evolução temporal dos níveis, isto é, o comportamento do nível tanque à medida que o tempo passa. Muitas outras estruturas poderão ser desenvolvidas em STELLA, mas aqui descrevemos apenas três exemplos.

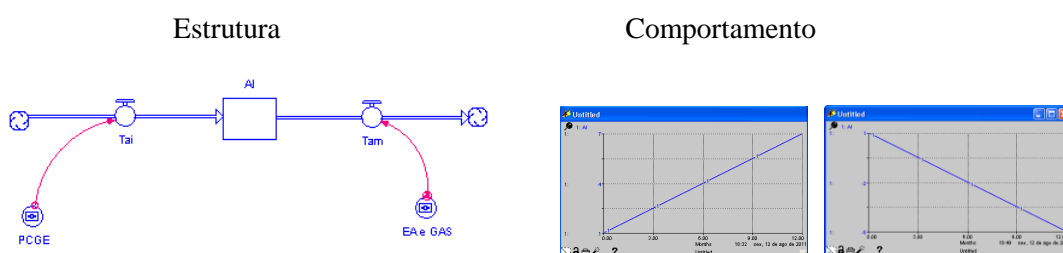


Figura 39 – Crescimento e decaimento linear desenvolvido em STELLA
Fonte: Autoria própria, 2013.

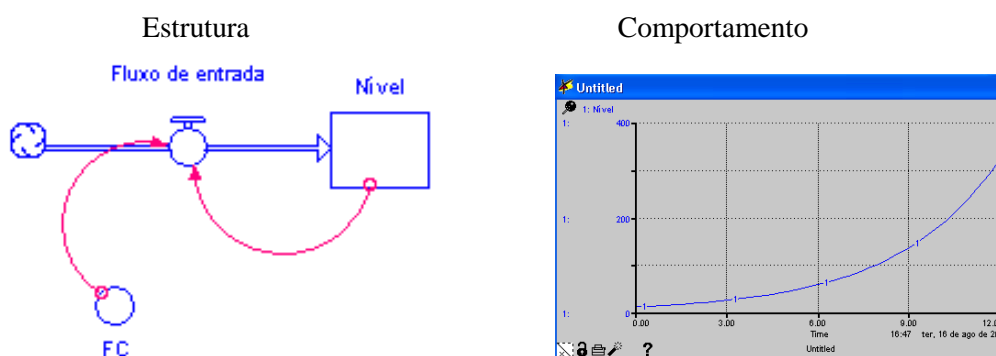


Figura 40 – Crescimento exponencial desenvolvido em STELLA
Fonte: Autoria própria, 2013.

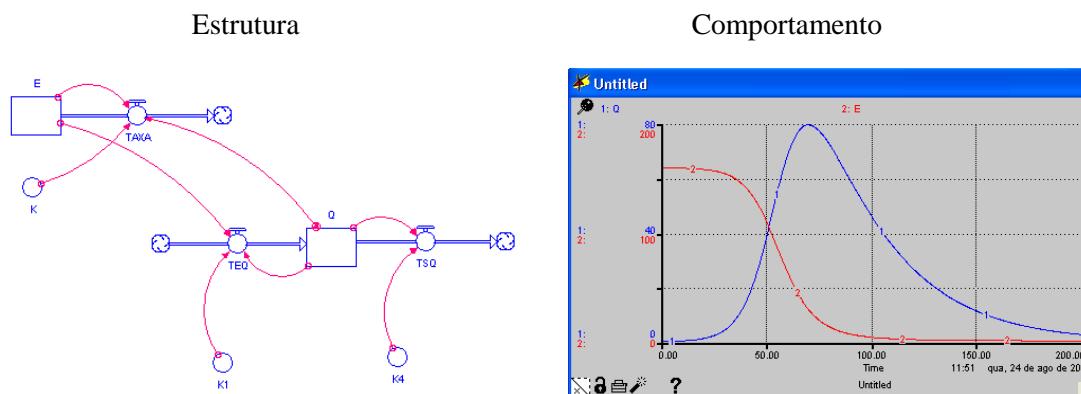


Figura 41 – Evolução temporal de uma fonte natural não-renovável e do nível de energia produzido pela fonte, desenvolvido em STELLA
Fonte: Autoria própria, 2013.

6.2.4 Encaminhando as atividades que proporcionaram a mudança para o Pensamento Sistêmico

Para começarmos a aprender a linguagem sistêmica e seus significados e poder aplicar esse conhecimento nas questões da realidade, é preciso começar a pensar esta realidade de uma maneira que implica saber conceituar e comunicar, sobre as crescentes complexidades e modificações do mundo atual.

Por sua vez, aprender uma linguagem sistêmica significa saber ler, falar e escrever, para com isso praticar e desenvolver habilidades que nos permitam superar nosso linguajar linear e mecanicista que, ao criar imagens em nossa mente de um mundo mecânico, nos incentiva a agir sobre este mesmo mundo de maneira mecânica.

Para podermos avaliar indícios de mudança no pensamento dos estudantes e as aprendizagens significativas advindas desse processo, primeiramente se fez necessário contextualizarmos a complexidade ambiental e o Pensamento Sistêmico como perspectivas para formação de um quadro de referência conceitual alternativo ao pensamento analítico, utilizando para tanto, os princípios da Dinâmica de Sistemas e a modelagem computacional com STELLA. Assim, orientado por Bliss, Monk e Ogborn (1983) e pelos estudos posteriores de Kurtz dos Santos et al. (2002), Xavier (2003) e Orsini (2011), e embasado nos aspectos teóricos do *software* STELLA, elaboramos as redes sistêmicas que, em sintonia com o material instrucional, encaminharam a coleta e a análise dos dados, permitindo-nos verificar as interações na estrutura organizacional do sistema analisado, bem como o comportamento das entidades que influenciam na dinâmica do sistema representado pelo arquétipo da figura 31. Para tanto foram programadas duas etapas, uma expositiva e dialogada e outra realizada no laboratório de informática, que se orientaram pelos seguintes procedimentos.

Na primeira etapa, através de aulas expositivas e dialogadas, foram introduzidos os fundamentos do Pensamento Sistêmico que serviram de base teórica para o estudo, abordando os temas que dizem respeito à complexidade envolvida nas questões ambientais. Nesse contexto também foi apresentado um quadro geral de teorias sistêmicas que permitiram comparar o pensamento analítico e o Pensamento Sistêmico, dando ênfase a temáticas fundamentais como a dinâmica e a complexidade dos sistemas antrópicos. Em todos os encontros aconteceram reflexões e argumentações que diziam respeito ao modelo mental do pesquisador.

Por sua vez, a segunda etapa foi desenvolvida no laboratório de informática e pretendeu trabalhar com os aspectos teóricos e práticos que envolvem a modelagem

computacional com STELLA. Nessa etapa, organizada em três encontros no laboratório de informática, foram realizadas atividades que dizem respeito à gramática da linguagem sistêmica, iniciando pelos pares de causa e efeito, passando pelos diagramas causais reforçadores e estabilizadores, até evoluir para as atividades expressivas e exploratórias com o *software* STELLA que trabalham com modelos que analisam a estrutura e os processos em sistemas dinâmicos, reconhecendo os fluxos que convertem recursos em diferentes estados, de acordo com os procedimentos didático-pedagógicos do material instrucional apresentado nos apêndices 2, 3 e 4.

6.2.4.1 Aspectos da intervenção no primeiro encontro no laboratório de informática

Como vimos, pensar sistemicamente depende de prática e ferramentas. Logo, para ensinar um novo modo de pensar, primeiramente utilizamos símbolos suficientes para apresentar as variáveis de um sistema e o relacionamento entre elas. Os conhecimentos adquiridos no tocante a aprendizagem gramatical da linguagem sistêmica estão associados às atividades expressivas que compõem o material instrucional do apêndice 2. Nessas atividades, procuramos observar se o estudante descreveu e justificou como as entidades afetam ou influenciam as outras, evidenciando a existência de causa e efeito. No caso, as variáveis relacionaram-se aos pares, de maneira que as variações na variável causadora provocaram variações na variável que sofreu o efeito indicado. Através dos sinais era possível perceber se as duas variáveis eram diretamente ou inversamente proporcionais, formando relações de causa e efeito que mapeiam a estrutura do todo.

Entendendo que sistemas sustentam sua existência e seu comportamento através de relações circulares, desenvolvemos as atividades do material instrucional do apêndice 2, abordando os arquétipos de Senge (2005) que dizem respeito às relações de reforço responsáveis por processos de crescimento e as relações de balanceamento responsáveis pelo equilíbrio, ou limites do crescimento.

Nesse processo foram analisadas as atividades que davam as primeiras noções de diagramas causais, verificando como os estudantes identificaram as entidades e as variáveis. A seguir tendo o estudante construído conhecimento a respeito do tema abordado, amparado nos princípios da Dinâmica de Sistemas apresentamos os tópicos que dizem respeito ao funcionamento do *software* STELLA com seus ícones e suas funções (ver apêndice 2).

6.2.4.2 Aspectos que envolvem as atividades exploratórias e expressivas do segundo e terceiro encontro no laboratório de informática

A modelagem computacional com STELLA nesta tese é uma das ferramentas do Pensamento Sistêmico que tem o potencial de facilitar a construção do conhecimento do estudante, uma vez que por meio da modelagem podemos construir cenários do sistema real, podendo avaliar as consequências das ações no tempo e no espaço. Os cenários, nesse processo, simulam a passagem do tempo, permitindo uma aprendizagem experiencial significativa menos arriscada e difícil do que aquela do mundo real.

A figura 42 apresenta a rede sistêmica que envolve o processo de modelagem computacional como um todo, sendo estruturada por atividades exploratórias e expressivas que incluem as representações por diagrama causal e diagrama de fluxo.

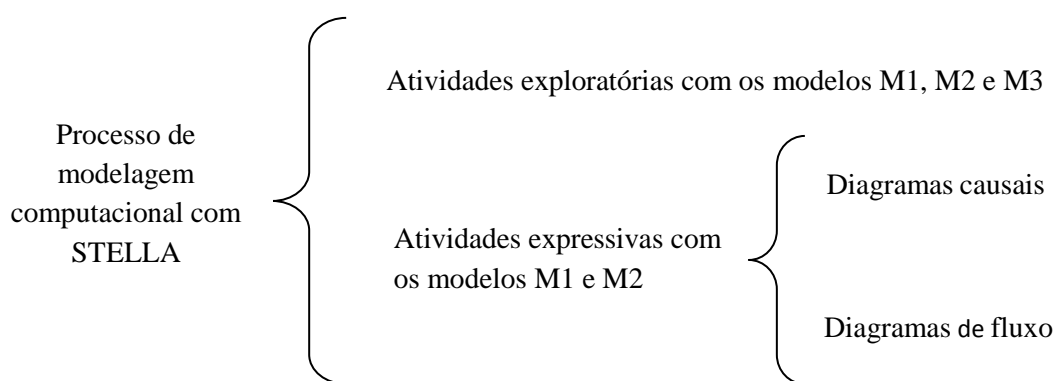


Figura 42 – Rede sistêmica do processo de modelagem computacional
Fonte: Autoria própria, 2013.

6.2.4.2.1 Aspectos que envolvem as atividades exploratórias do segundo encontro no laboratório de informática

A estrutura da rede sistêmica da figura 43 está associada às atividades de modelagem exploratória que dizem respeito ao material instrucional do apêndice 3 e que envolvem os modelos 1, 2 e 3. Nessas atividades, foi possível analisar as habilidades e as capacidades do estudante em descrever as variáveis, o seu padrão de comportamento bem como a visualização das causas do fenômeno analisado.

		Grupo																	
		A1			A2			A3			A4			ΣGRUPO					
		Modelo			Modelo			Modelo			Modelo			Modelo					
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
★ Atividades exploratórias	Descrição da variável	Não descreveu																	
			Descreveu	Qualitativa															
				Semiquantitativa															
				Como nível															
				Em função de outras variáveis															
	Descrição do comportamento	Cita gráfico																	
		Não cita gráfico																	
		Explica padrão de comportamento	Correto																
			Incorreto																
	Não explica padrão de comportamento																		
	Visualiza causas	Através das relações entre frações e taxas																	
		Através das variáveis																	
		Através de um evento/processo																	
	Habilidades	Dissertar sobre o modelo e associar com a realidade																	
		Descrever o padrão de comportamento dinâmico através da saída gráfica.																	
	Dificuldades	Dissertar sobre o modelo e associar com a realidade																	
		Descrever o padrão de comportamento dinâmico através da saída gráfica.																	
	Interação com professor e colegas	Conflito																	
Questionamento																			
Consensualidade																			

Figura 43 – Rede sistêmica referente às atividades exploratórias com o *software* STELLA
Fonte: Autoria própria, 2013.

A seguir descrevemos os aspectos da rede sistêmica que foram levados em consideração durante as atividades exploratórias.

1) Descrição da variável: este aspecto que se repete nos três modelos, procura observar se o estudante descreveu e compreendeu a variável em questão, amparado no raciocínio qualitativo ou semiquantitativo. Para Bliss, Monk e Ogborn (1983), haverá um raciocínio qualitativo sempre que o mesmo envolver funções categóricas e decisões que levem em consideração suas consequências, desde que seja observado o aumento ou a diminuição de uma variável, sem que haja preocupação com o valor numérico dessa variação. Por sua vez, o raciocínio quantitativo, é o oposto pois leva em consideração o valor numérico da alteração de uma variável quando esta é afetada por outra. Quanto ao raciocínio semiquantitativo, embora conheçamos em que direção ocorre a modificação de um elemento do sistema, não conhecemos o tamanho do efeito dessa modificação sobre os outros componentes. Nesse tipo

de raciocínio os valores numéricos não estão envolvidos. A descrição da variável no modelo STELLA pode ser apresentada como nível ou como outra variável que pode ser uma taxa de variação. Por exemplo, a energia pode ser uma variável nível. A razão entre o seu aumento ou diminuição e o intervalo de tempo considerado, que define a potência, seria nesse caso uma taxa de variação que também é uma variável.

2) Descrição do comportamento: nesta proposta, analisamos se o estudante, procurando responder às questões apresentadas, utilizou ou não as saídas gráficas do *software* STELLA, verificando se ele explicou corretamente o padrão do comportamento dinâmico proposto. Nesse aspecto também é importante esclarecer se o estudante, embora utilizando a saída gráfica da tela do computador, citou na sua explicação o comportamento da função gráfica da variável, por exemplo, se linear, exponencial ou outra.

3) Visualização das causas: neste quesito, procuramos observar se o estudante visualizou as causas geradoras do fenômeno explorado no modelo STELLA, citando as relações entre as entidades que geram o fenômeno estudado, que podem ser as variáveis e também um evento/processo. Nesse caso um evento é algo que apenas acontece, sendo localizado no tempo e não leva em consideração qualquer quantidade. Já um processo é identificado como qualquer ação realizada.

4) Habilidades e dificuldades: esta análise diz respeito à interação do estudante com o modelo, verificando a exploração das saídas gráficas do *software*, à alteração dos valores das variáveis e, quando exigida, à associação do modelo com sistemas que envolvem a realidade. Nestas análises a rede expressa a tendência de casos opostos. Sendo assim, sempre assinalaremos aquela ocorrência que predominar sobre a outra, ou seja, o predomínio da habilidade exclui as dificuldades no quesito analisado.

5) Interação do professor e colegas: neste estágio, procuramos observar a interação entre o professor e os estudantes no transcorrer das atividades. Estas interações são classificadas em conflituosas, quando o estudante, no transcorrer da atividade, discorda do professor; questionadoras, quando o estudante questiona o professor sobre determinada atividade ou conhecimento que ele tem dúvida e consensual, quando os procedimentos e conhecimentos do estudante, durante as atividades, são concordantes com os do professor.

6.2.4.2.2 Aspectos envolvendo as atividades expressivas do terceiro encontro no laboratório de informática

No terceiro encontro, como mostra o material instrucional, foram realizadas atividades expressivas que narram situações envolvendo impactos ambientais advindos do processo de

geração de energia elétrica. Nesse encontro foram desenvolvidas atividades que permitiram observar as habilidades e dificuldades dos estudantes que dizem respeito ao desenvolvimento de diagramas causais e diagramas de fluxo no *software* STELLA. Para a análise em questão, foi estruturada a rede sistêmica da figura 44.

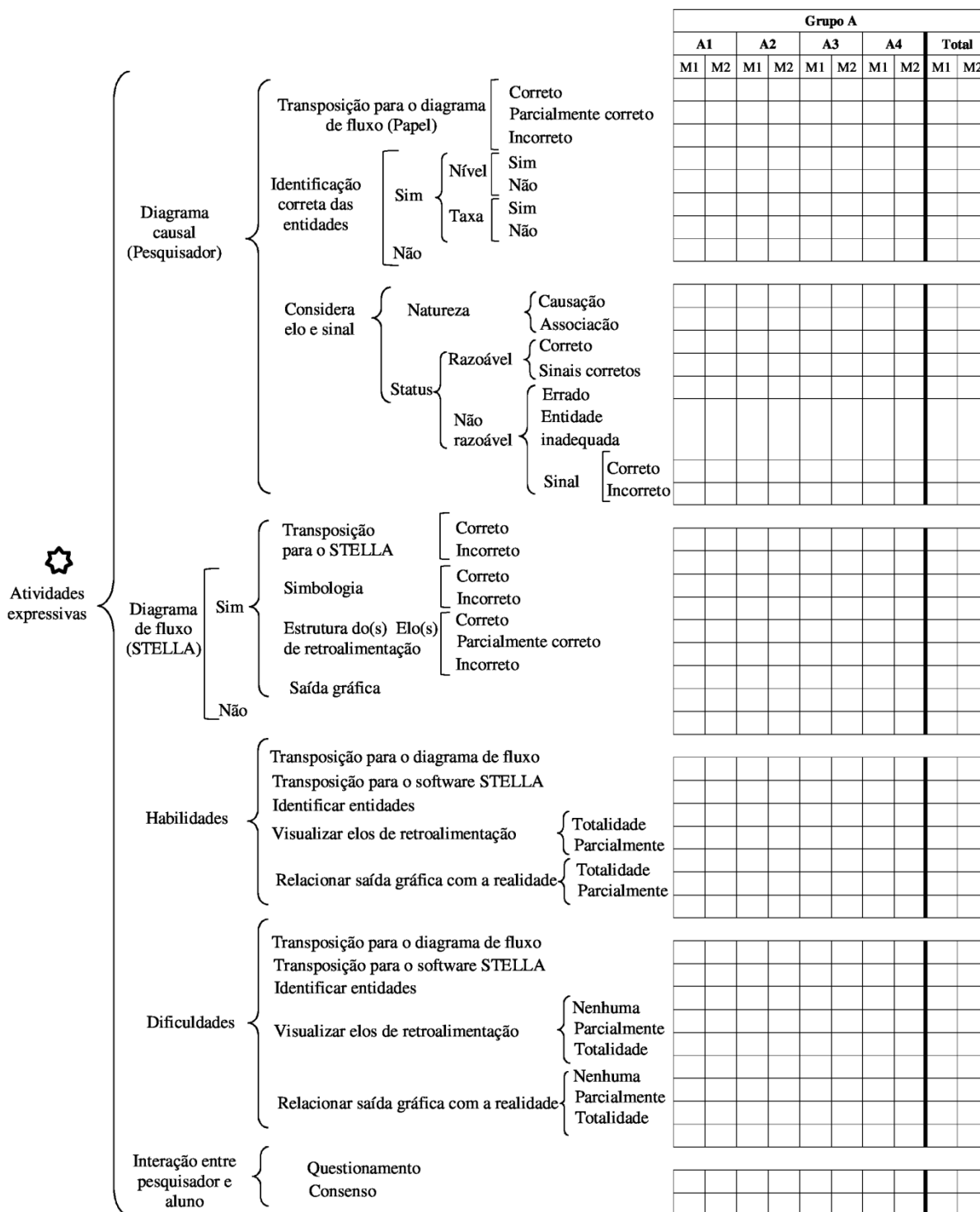


Figura 44 – Rede sistêmica referente às atividades expressivas com *software* STELLA
Fonte: Autoria própria, 2013.

Os aspectos considerados nessa rede foram os seguintes:

a) Os diagramas causais: nesse aspecto, pudemos verificar se os estudantes transpuseram os diagramas causais para o diagrama de fluxo no papel, identificando corretamente as entidades (causas dos fenômenos estudados) como taxas e níveis. Nesse caso, as entidades que nos modelos são descritas como variáveis, Evento/Processo ou ainda Objeto, podem assumir a condição de níveis, taxas e conversores, sendo que as definições de variável e evento/processo estão apresentadas na seção 6.2.4.2.1. Por sua vez a categoria caracterizada como Objeto é vista como uma coisa ou pessoa como, por exemplo, a “área impactada”. Outros aspectos, por exemplo, um Evento, é algo que apenas acontece, como “começar a poluir” ou “parar de poluir”. É localizado no tempo e não é considerado em termos de qualquer quantidade. Um Processo é identificado como uma ação, como, por exemplo, a “geração de energia”, que é um processo que pode ser mais ou menos intenso ou ativo. Conforme Kurtz dos Santos (1995), nem sempre é possível distinguir uma entidade como um evento ou processo, por isso se coloca em uma única categoria chamada Evento/Processo. Esta, como as variáveis, pode ser níveis, taxas e conversores. A respeito de como foi realizada a transposição do diagrama causal para o diagrama de fluxo, é importante observar a fidelidade desta em relação ao original em papel. Nessa análise, após a transposição para o papel, devem ser observados no(s) elo(s) do diagrama de fluxo o respectivo sinal, sua *natureza* que envolve a causação e/ou associação e o *status* que poderá ser razoável ou não-razoável. Cada elo ou o elo dominante poderá ser composto de variáveis, eventos/processos e objetos que deverão ter sentido lógico nas suas interações. Kurtz dos Santos (1992) considera um elo razoável se este indica uma associação correta entre duas entidades e possuiu o sinal correto. O elo é considerado não-razoável, se houver uma associação incorreta entre duas entidades, uma entidade inadequada ou o sinal incorreto. Para o autor, o julgamento da direção/associação ser correta ou não, o sinal trocado ou uma entidade inadequada, vai depender da situação a ser modelada.

b) Diagrama de fluxo: nesse aspecto é preciso verificar se os modelos desenvolvidos no papel foram transpostos corretamente para o STELLA (tanques, válvulas e conversores). Nesse caso é importante conferir se os elos de retroalimentação estão corretos em termos de grafia, símbolos e sinais e também se a transposição do diagrama de fluxo para o *software* STELLA corresponde ao original, no que diz respeito a sua *natureza e status*. Na análise da transposição do diagrama causal para o diagrama de fluxo, é importante observar a estrutura final do modelo, levando em consideração se número de elos de retroalimentação e a estrutura do elo dominante está correta. Segundo Kurtz dos Santos et al. (2002), para que o estudante

esteja pensando em nível sistêmico, é necessário enxergar pelo menos um elo de retroalimentação. No que diz respeito à estrutura do modelo, este poderá ser considerado correto, parcialmente correto e incorreto.

c) Habilidades e dificuldades: esta análise diz respeito à interação do estudante com o modelo quanto à exploração das saídas gráficas do *software*, à alteração dos valores das variáveis e, quando exigido, associar o modelo com sistemas da realidade. Nesse quesito, é importante verificar se o estudante associa o modelo com os sistemas da realidade de mundo discutidos na disciplina LAIEC I. Relembramos que a rede expressa a tendência de casos opostos. Sendo assim, sempre assinalaremos aquela ocorrência que predominar sobre a outra, ou seja, a superioridade das habilidades exclui pequenas dificuldades, em alguns dos quesitos analisados.

d) Interação entre pesquisador e estudante: na análise deste aspecto, foi adotado o mesmo procedimento das atividades exploratórias (seção 6.2.4.2.1).

6.3 A quinta etapa: a intervenção através da modelagem computacional com STELLA

Os procedimentos adotados nas atividades da quinta etapa, em que se pretendeu alcançar o Pensamento Sistêmico, desenvolveram-se em duas fases. A primeira, que aconteceu na sala de aula, mediante encontros expositivos e dialogados, e a segunda, que envolveu três encontros no laboratório de informática da FURG, obedecendo aos procedimentos dos materiais instrucionais anteriormente citados.

Assim, com o apoio da modelagem computacional, procuramos associar entidades e simulações que, ao gerar comportamentos dinâmicos que dizem respeito à práxis do estudante de Engenharia, provocaram uma mudança de pensamento que encaminhou o aprender a aprender significativamente.

Com esse propósito, elaboramos o plano de ensino e o material instrucional dos encontros que, envolvendo a modelagem computacional com STELLA, procurou relacionar as temáticas da EA e da GAS com a geração de energia e a SD.

Nessa direção, o processo de ensino e aprendizado aconteceu apoiado no pensamento sistêmico, definindo as variáveis dos fenômenos que foram estudados, construindo diagramas causais, elaborando diagramas de fluxo e construindo modelos no *software* STELLA, de maneira que pudéssemos, ao estabelecer ligações entre entidades, gerar simulações associadas aos processos dinâmicos envolvidos com os temas abordados. Por sua vez, as atividades realizadas no laboratório de informática foram registradas nas folhas do material instrucional

(ver apêndices 2, 3 e 4) destinadas a esse propósito, incluindo as tarefas desenvolvidas no computador, que envolvem modelos e gráficos expressos pelo referido *software*. Todos os atos a elas associadas e que foram posteriormente analisadas, estão registrados em CD e também gravados no *software* Camstudio.

As fases que orientaram o processo obedeceram ao seguinte cronograma.

Fase 1 - aulas expositivas e dialogadas envolvendo reflexão e indagação sobre os aspectos teóricos da complexidade e do Pensamento Sistêmico (ver figura 45). O objetivo dessas aulas foi introduzir os fundamentos do Pensamento Sistêmico que serviram de base teórica para o estudo. Nesse encontro foram abordados os temas que dizem respeito à complexidade e também um quadro geral de teorias sistêmicas que permitiram comparar o pensamento analítico e o pensamento sistêmico, tendo como referência os princípios da Dinâmica dos Sistemas. Os encontros envolveram reflexões e argumentações que diziam respeito ao modelo conceitual do pesquisador.



Figura 45 – Grupo presente na aula expositiva e dialogada sobre complexidade e o Pensamento Sistêmico

Fonte: Autoria própria, 2013.

Fase 2 – Atividades expressivas e exploratórias envolvendo a modelagem computacional com STELLA no laboratório de informática (ver figura 46). Estas atividades aconteceram em três encontros que obedeceram aos seguintes procedimentos.

Primeiro encontro - Aulas expositivas e práticas no laboratório de informática com a participação do nosso orientador, Prof. Dr. Arion de Castro Kurtz dos Santos, tendo como finalidade desenvolver estudos sobre a gramática da linguagem sistêmica, uma vez que esta utiliza símbolos suficientes para representar as variáveis de um sistema e o relacionamento entre elas. Assim, foram trabalhados exercícios sobre os pares de causa e efeito, enlaces de retroalimentação reforçadores e equilibradores, os princípios da Dinâmica de Sistemas e tópicos sobre o funcionamento do *software* STELLA com seus ícones e suas funções. Essas

atividades expressivas com diagramas causais tiveram como base tópicos de geração de energia elétrica, população e poluição, seguindo as orientações do material instrucional apresentado no apêndice 4. Ressaltamos que o segundo e terceiro encontros narrados a seguir também seguem as orientações do material instrucional apresentado no apêndice 4.



Figura 46 – Grupo presente nas aulas de modelagem computacional com STELLA, realizadas no laboratório de informática

Fonte: Autoria própria, 2013.

Segundo encontro – Atividades exploratórias desenvolvidas no laboratório de informática de acordo com os procedimentos do primeiro encontro (ver figura 47). O objetivo deste encontro foi fazer com que os estudantes desenvolvessem habilidades através das atividades exploratórias de modelagem com o *software* STELLA. Essas atividades aconteceram abordando-se, em nível quantitativo, as relações dinâmicas entre variáveis que resultam em crescimento e decaimento linear e crescimento e decaimento exponencial. Os estudos foram baseados em modelos desenvolvidos pelo pesquisador, tratando de temáticas interdisciplinares que envolvem o crescimento populacional, a geração de energia, a sustentabilidade do desenvolvimento, a complexidade ambiental, a educação ambiental, o pensamento sistêmico, a gestão ambiental sistêmica e a avaliação de impactos ambientais. Nesse encontro, os estudantes foram estimulados a produzir intervenções no modelo, explorando comportamentos dinâmicos, analisando suas consequências através de gráficos, visualizando o que estavam pensando através das simulações e respondendo a perguntas.



Figura 47 – Grupo presente nas aulas de modelagem computacional com STELLA, realizadas no laboratório de informática
Fonte: Autoria própria, 2013.

Terceiro encontro – Atividades expressivas desenvolvidas no laboratório de informática seguindo os procedimentos dos encontros anteriores (ver figura 48). Este encontro teve como objetivo desenvolver atividades expressivas que viessem a estruturar as habilidades dos estudantes, fazendo com que estes, após interpretar os diagramas causais, pudessem construir diagramas de fluxo e modelar com o *software* STELLA. Essas atividades tiveram como base um texto que envolveu a geração de energia, a produção e o consumo, a poluição e a degradação ambiental, a educação ambiental e a gestão ambiental sistêmica onde procuramos, explorando as capacidades cognitivas dos estudantes, encontrar evidências do alcance do Pensamento Sistêmico.



Figura 48 – Grupo presente nas aulas de modelagem computacional com STELLA, realizadas no laboratório de informática
Fonte: Autoria própria, 2013.

6.4 Análise e resultados dos dados referentes às atividades exploratórias e expressivas no ambiente de modelagem computacional com o *software* STELLA

A análise dos dados envolveu a estruturação das redes sistêmicas que dizem respeito às atividades exploratórias e expressivas realizadas com o *software* STELLA, seguindo os procedimentos apresentados nas seções 6.2.4.2.1 e 6.2.4.2.2 deste capítulo. Nesse processo, foram analisadas as habilidades e as dificuldades encontradas pelos estudantes, nas atividades propostas pelo material instrucional (apêndices 2, 3 e 4) que diziam respeito à construção do Pensamento Sistêmico que exige um saber ler, falar, escrever, conceituar e comunicar sobre as crescentes e dinâmicas complexidades do mundo real.

Para tanto, foi utilizado o *software* STELLA, que nos permitiu representar diferentes processos sistêmicos, definindo seus comportamentos e simulando as consequências das suas interações no tempo e no espaço, reconhecendo os fluxos que transformam os níveis de suas variáveis, de acordo com os procedimentos didático-pedagógicos do material instrucional apresentados nos apêndices 2, 3 e 4.

Assim, buscando respostas para as questões de pesquisa, realizamos a análise dos dados coletados que dizem respeito aos estudantes dos grupos experimentais A e B, utilizando para esta análise e descrição dos resultados o recurso técnico das redes sistêmicas, conforme foi detalhado na seção 1.7. Com essa proposta, primeiramente demonstramos os resultados e as análises dos dados que dizem respeito às atividades exploratórias com modelagem computacional realizadas pelo estudante A3, para, num segundo momento, apresentar os resultados e as análises das atividades expressivas realizadas pelo estudante A4, repetindo os procedimentos adotados na seção 6.4.1.1, onde apresentamos detalhadamente, em cada uma das análises, as informações prestadas pelos estudantes citados e que refletem os procedimentos adotados para os demais.

Por sua vez, os aspectos que estruturam as redes sistêmicas nos mostram como foi realizada cada uma das atividades, indicando ou não a construção de conhecimentos, bem como o comportamento dos estudantes durante as atividades com os modelos trabalhados, sendo que essas informações foram obtidas através dos registros das anotações feitas pelo pesquisador, em gravações das atividades em sala de aula e no computador (*Camstudio*) e através das informações prestadas pelos estudantes no papel e que dizem respeito às atividades propostas pelo material instrucional (apêndices 2, 3 e 4) do primeiro, segundo e terceiro encontros no laboratório de informática.

6.4.1 Resultados e análise dos dados de pesquisa referentes às atividades exploratórias com o software STELLA

Esta análise de dados e apresentação de resultados foi realizada orientada pelos seis aspectos das redes sistêmicas das figuras 49 e 50 que também apresentam uma síntese das atividades exploratórias realizadas pelos estudantes dos grupos experimentais A e B. As atividades de modelagem computacional propostas pelo material instrucional (apêndice 3) do segundo encontro, envolvendo os modelos M1, M2 e M3 propostos pelo pesquisador, envolveram variáveis como a geração de energia elétrica, seus impactos ambientais, a produção e o consumo e os processos mitigatórios que envolvem a GAS e a EA.

		Grupo A															
		A1			A2			A3			A4			ΣGRUPO			
		Modelo			Modelo			Modelo			Modelo			Modelo			
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
★ Atividades exploratórias	Descrição da variável	Não descreveu															
		Descreveu	Qualitativa														
	Semiquantitativa		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	4	4	4
	Como nível																
	Em função de outras variáveis																
	Descrição do comportamento	Cita gráfico		X			X					X				1	2
		Não cita gráfico	X	X		X	X		X	X	X	X		X	4	3	2
		Explica padrão de comportamento	Correto	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	4	4	4
			Incorreto														
	Visualiza causas	Através das relações entre frações e taxas															
Através das variáveis				X			X			X					3		
Através de um evento/processo		X	X	X	X		X	X		X	X		X	4	1	4	
Habilidades	Dissertar sobre o modelo e associar com a realidade	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	4	3	4	
	Descrever o padrão de comportamento dinâmico através da saída gráfica.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	4	4	4	
Dificuldades	Dissertar sobre o modelo e associar com a realidade				X										1		
	Descrever o padrão de comportamento dinâmico através da saída gráfica.																
Interação com professor e colegas	Conflito																
	Questionamento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	4	4	4	
	Consensualidade	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	4	4	4	

Figura 49 – Rede sistêmica das atividades exploratórias referentes ao grupo experimental
Fonte: Autoria própria, 2014.

		Grupo B																						
		B1			B2			B3			ΣGRUPO													
		Modelo			Modelo			Modelo			Modelo													
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3											
★ Atividades exploratórias	Descrição da variável	Não descreveu																						
		Descreveu	Qualitativa	X	X	X	X		X	X	X	X												
			Semiquantitativa						X															
			Como nível						X															1
			Em função de outras variáveis																					
	Descrição do comportamento	Cita gráfico	X	X	X				X	X	X												2 2 2	
		Não cita gráfico				X	X	X																1 1 1
		Explica padrão de comportamento	Correto	X	X	X	X	X	X	X	X	X												3 3 3
			Incorreto																					
		Não explica padrão de comportamento																						
	Visualiza causas	Através das relações entre frações e taxas		X	X	X		X					X											1 1 3
		Através das variáveis																						
		Através de um evento/processo	X				X		X	X														2 2
	Habilidades	Dissertar sobre o modelo e associar com a realidade	X		X	X	X		X	X	X													3 2 2
		Descrever o padrão de comportamento dinâmico através da saída gráfica.	X	X	X	X	X	X	X	X	X													3 3 3
	Dificuldades	Dissertar sobre o modelo e associar com a realidade		X				X																1 1
		Descrever o padrão de comportamento dinâmico através da saída gráfica.																						
	Interação com professor e colegas	Conflito																						
Questionamento		X	X	X	X	X	X	X	X	X													3 3 3	
Consensualidade		X	X	X	X	X	X	X	X	X													3 3 3	

Figura 50 – Rede sistêmica das atividades exploratórias referentes ao grupo experimental B
Fonte: Autoria própria, 2014.

6.4.1.1 Análise e resultados das atividades exploratórias que dizem respeito ao estudante A3

A análise dos dados e os resultados referentes às atividades do estudante A3 envolveram as atividades com os modelos M1, M2 e M3 (apêndice 3) que, conforme dissemos anteriormente, se orientou pelos seis aspectos que estruturam a rede sistêmica das figuras 49 e 50 pertinentes às atividades exploratórias dos estudantes dos grupos experimentais A e B.

1) Análise dos dados e resultados fornecidos pelo estudante A3 e que dizem respeito às atividades exploratórias com o modelo M 1

Primeiro aspecto (descrição da entidade)

Descreveu o comportamento da variável *Área Impactada* semiquantitativamente demonstrando perceber que a mudança de uma variável afeta o comportamento das outras, não quantificando o tamanho desta mudança. Os comentários apresentados pelo estudante que dizem respeito às três atividades propostas com o modelo M1 foram os seguintes:

- a) *“a área impactada diminui, tendendo a zerar”.*
- b) *“a área impactada será sempre a mesma”.*
- c) *“a área impactada será total.”*

Segundo aspecto (descrição do comportamento)

O estudante descreveu corretamente o padrão de comportamento da variável *Área Impactada* através da saída gráfica apresentada na tela do computador, mostrando com isso familiaridade com a ferramenta STELLA. Os comentários apresentados pelo estudante dizem respeito às três atividades propostas com o modelo M1 que foram os seguintes:

- a) *“com a taxa de área impactada menor, a área será mais recuperada do que atingida, então com o tempo a área impactada diminui, tendendo a zero.”*
- b) *“se recupera o ambiente na mesma proporção em que se agride.”*
- c) *“com o tempo a área impactada será total, não haverá como recuperar mais, pois o impacto avança muito mais rápido que a restauração do ambiente”.*

Nessa atividade o estudante não citou o comportamento da função gráfica exposta na tela do computador.

Terceiro aspecto (visualização das causas):

Quanto a este aspecto, buscamos as informações prestadas pelo estudante a respeito de como as entidades poderiam ou não alterar o comportamento dinâmico do sistema. Tais modificações puderam ser visualizadas através de três possibilidades com o modelo M1: do relacionamento entre frações e taxas, por meio de variáveis e através de um evento/processo. Sendo assim pudemos perceber que o estudante apresentou ações corretas ao visualizar as entidades que modificavam as condições iniciais do nível como um evento/processo, descrevendo suas justificativas da seguinte maneira:

- a) *“Isso acontece pois a Educação Ambiental e a Gestão é maior do que o impacto, a recuperação da área é mais rápida. As pessoas se preocupam em não impactar enquanto a área ainda não estiver recuperada.”*
- b) *“Isso ocorre pois há uma preocupação em recuperar apenas o que se impacta”.*
- c) *“Isso acontece pois há pouca gestão ambiental. Não há grande preocupação em recuperar a área então o impacto atinge totalmente a área com o passar do tempo”.*

Quarto aspecto (Habilidades nas atividades com o modelo)

Nesse aspecto o estudante demonstrou habilidades ao explorar as saídas gráficas, alterar os valores das variáveis e observar a dinâmica dos sistemas complexos, apresentando em suas justificativas comentários condizentes com a realidade. Também pudemos constatar que o estudante fez associações entre o sistema analisado e os conteúdos das disciplinas de sustentabilidade na Engenharia Civil e Eletrotécnica.

Quinto aspecto (Dificuldades nas atividades com o modelo)

Não existiram dificuldades, pois estudante assimilou com facilidade o que foi analisado no modelo M1.

Sexto aspecto (Relacionamento com o pesquisador e com os colegas)

Nessa situação o estudante apresentou questionamentos e propôs diálogos a respeito do funcionamento do *software* STELLA. Após ter suas dúvidas esclarecidas chegou a um consenso com o pesquisador.

2) Análise dos dados e resultados fornecidos pelo estudante A3 e que dizem respeito às atividades exploratórias com o modelo M2

Primeiro aspecto (descrição da variável)

Descreveu o comportamento da variável *Energia* semiquantitativamente, demonstrando perceber que a mudança de uma variável afeta o comportamento das outras, porém, não quantificando o tamanho desta mudança. Os comentários apresentados pelo estudante que dizem respeito às duas atividades propostas com o modelo M2 foram os seguintes:

Os comentários apresentados pelo estudante foram os seguintes:

- a) “*a energia permanece constante*”.
- b) “*a energia consumida aumenta*”.

Segundo aspecto (descrição do comportamento)

O estudante descreveu corretamente o padrão de comportamento da variável *Energia* através da saída gráfica apresentada na tela do computador, mostrando com isso familiaridade com a ferramenta STELLA. Os comentários apresentados pelo estudante dizem respeito às duas atividades propostas com o modelo M2 que foram os seguintes:

- a) “*se o fluxo de entrada for nulo a energia permanece constante*”.
- b) “*o fluxo é maior que zero, ou seja, existe um fluxo, a energia consumida aumenta e explica que “o nível de energia depende da variação da potência”*”.

Nessa atividade o estudante não citou o comportamento da função gráfica exposta na tela do computador.

Terceiro aspecto (visualização das causas)

Pudemos perceber que o estudante apresentou ações corretas ao visualizar as entidades, que modificavam as condições iniciais do nível como uma variável, descrevendo suas justificativas nesse caso da seguinte maneira:

- a) *O nível de energia depende da variação da potência e essa variação não ocorre.*
- b) *Se há uma variação da potência e se há essa variação mais energia é preciso disponibilizar para atender essa variação.*

Quarto aspecto (Habilidades nas atividades com o modelo)

Nesse caso, o estudante ao explorar as saídas gráficas e alterar os valores das entidades, demonstrou habilidades em descrever a dinâmica dos comportamentos dos sistemas complexos, dissertando sobre o modelo, associando suas justificativas com a realidade. Também pudemos constatar que o estudante fez associações do sistema analisado com as disciplinas de LAIEC I e Eletrotécnica.

Quinto aspecto (Dificuldades nas atividades com o modelo)

Não existiram dificuldades, pois estudante assimilou com facilidade o que foi analisado no modelo M2.

Sexto aspecto (Relacionamento com o pesquisador e com os colegas)

Nessa situação o estudante apresentou questionamentos e propôs diálogos a respeito do funcionamento do *software* STELLA e, após ter suas dúvidas esclarecidas sobre as atividades exploradas, chegou a um consenso com o pesquisador.

3) Análise das respostas e comportamentos do estudante A3 que dizem respeito às atividades exploratórias com o modelo M3

Primeiro aspecto (descrição da entidade)

Descreveu o comportamento da variável *população* semiquantitativamente, demonstrando perceber que a mudança de uma variável afeta o comportamento das outras, porém, não quantificando o tamanho desta mudança. Os comentários apresentados pelo estudante dizem respeito às três atividades propostas com o modelo M3 que foram os seguintes:

- a) *A população tende a crescer*
- b) *A população permanece sempre com o mesmo número, constante*
- c) *A população tende a zero*

Segundo aspecto (descrição do comportamento)

O estudante descreveu corretamente o padrão de comportamento da variável *População* através da saída gráfica apresentada na tela do computador apenas na letra b. Nas letras a e c não explica o padrão de comportamento da variável *população*. Os comentários apresentados pelo estudante que dizem respeito às três atividades propostas com o modelo M3 foram os seguintes:

- a) *“as pessoas estão tendo mais filhos e mais cedo e ao mesmo tempo os adultos estão envelhecendo mais”*.
- b) *“A população permanece sempre com o mesmo número, constante”*.
- c) *“mais pessoas saem ou morrem do que nascem ou chegam”*.

Nessa atividade o estudante não citou o comportamento da função gráfica exposta na tela do computador.

Terceiro aspecto (visualização das causas)

Nesse aspecto, percebemos que o estudante apresentou ações corretas ao visualizar as entidades que modificavam as condições iniciais do nível como um evento/processo, descrevendo suas justificativas da seguinte maneira:

- a) *Cada vez as pessoas estão tendo mais filhos e mais cedo e ao mesmo tempo os adultos estão envelhecendo mais, diminuindo o número de adultos que morrem.*
- b) *A população cresce de um lado e diminui na mesma proporção do outro.*
Por exemplo, uma empresa com um número (x) de funcionários, só serão contratados funcionários novos quando os que já estão na empresa forem demitidos, ou seja, a empresa terá sempre o mesmo número (x) de funcionários.
- c) *Mais pessoas morrem ou saem do que nascem ou chegam.*

Por exemplo, um lugar altamente violento, há um alto nível de mortalidade além das pessoas irem embora. As pessoas vão ter seus filhos em outro lugar, então com o tempo a população nesse lugar tende a ficar nula, sem nenhum morador.

Quarto aspecto (Habilidades nas atividades com o modelo)

Nesse aspecto, o estudante demonstrou habilidades ao explorar as saídas gráficas, alterar os valores das variáveis e observar a dinâmica dos sistemas complexos, associando as atividades com a realidade discutida no texto. Também pudemos constatar que o estudante fez associações do sistema analisado com as disciplinas de LAIEC I e Eletrotécnica.

Quinto aspecto (Dificuldades nas atividades com o modelo)

Existiram dificuldades em explicar o padrão de comportamento das letras a e c, do modelo. Nas demais atividades o estudante demonstrou ter assimilado com facilidade o que

foi analisado no modelo M3. Optamos por não colocar um x nas dificuldades, tendo em vista que esta ocorrência foi rara nos dados analisados sobre a explicação do padrão de comportamento, onde predominaram as habilidades do estudante.

Sexto aspecto (Relacionamento com o pesquisador e com os colegas)

Nessa situação, o estudante apresentou questionamentos e propôs diálogos a respeito do funcionamento do *software* STELLA e após ter suas dúvidas esclarecidas sobre as atividades exploradas, chegou a um consenso com o pesquisador.

6.4.1.1.1 Síntese das análises de dados e resultados das atividades exploratórias desenvolvidas pelos integrantes dos grupos experimentais A e B com os modelos M1, M2 e M3

Observando as redes sistêmicas das figuras 49 e 50, podemos inferir que a maioria dos estudantes, no que diz respeito às atividades exploratórias com o *software* STELLA, demonstraram as seguintes tendências.

Primeiro aspecto (descrição das entidades)

A maioria dos estudantes dos grupos A e B perceberam que as mudanças nas variáveis analisadas, em cada um dos modelos sistêmicos M1, M2 e M3, afetavam o sistema como um todo, não estimando o tamanho desta mudança, demonstrando uma forma de pensar *semiquantitativa* condizente com a forma de pensar sistêmica.

Segundo aspecto (descrição do comportamento)

Embora as atividades com o *software* STELLA exigissem um maior tempo no seu manuseio, a maioria dos estudantes dos grupos A e B puderam, ao explorar as saídas gráficas, explicar corretamente os padrões dinâmicos de comportamento associados aos modelos M1, M2 e M3, mostrando com isso capacidade de alcançar o Pensamento Sistêmico.

Terceiro aspecto (visualização das causas)

Este aspecto buscava informações sobre a visualização das causas que poderiam ou não modificar o comportamento do sistema. Com esse objetivo os estudantes utilizaram três possibilidades: as frações e taxas, as variáveis e os evento/processo. Através dos comentários apresentados, constatamos que a maioria dos estudantes do grupo A, apresentaram respostas corretas, regulando o nível do fenômeno estudado através das relações entre *evento/processo* em 9 oportunidades e escolhendo *variáveis* nas 3 situações apontadas na rede da figura 49. Já os estudantes do grupo B visualizaram as causas que modificavam o comportamento dos modelos através de *frações e taxas* em 5 oportunidades e escolhendo os *eventos/processos* nas 4 oportunidades registradas na rede da figura 50.

Quarto aspecto (habilidades)

Através dos registros das atividades pudemos concluir que na sua maioria, tanto os estudantes do grupo A como os estudantes do grupo B, demonstraram habilidades em alterar os valores das variáveis solicitadas, descrevendo o padrão de comportamento corretamente, visualizando e explicando as causas dos fenômenos através de associações com a realidade. Convém ressaltar que as associações com aspectos da realidade puderam acontecer apoiadas em aspectos da intervenção e que envolveram atividades reflexivas, questionadoras e críticas associadas aos conteúdos das disciplinas de LAIEC I e Eletrotécnica. Nesse momento os estudantes já teriam modificado suas concepções a respeito dos objetivos da EA estando aptos, ao observar a dinâmica da complexidade ambiental através do *software* STELLA, a entendê-las como representações da realidade.

Quinto aspecto (dificuldades)

Amparados nas justificativas apresentadas pelos estudantes dos dois grupos experimentais pudemos concluir que estes não mostraram dificuldades em desenvolver as atividades propostas no material instrucional

Sexto aspecto (interação com colegas e pesquisador)

Neste quesito, a maioria dos estudantes dos dois grupos apresentou questionamentos e propuseram diálogos a respeito do funcionamento do *software* STELLA onde, após terem suas dúvidas esclarecidas, chegaram a um consenso com o pesquisador.

6.4.2 Análise dos dados e resultados das atividades expressivas envolvendo a modelagem computacional com STELLA

Esta análise de dados e apresentação de resultados foi realizada orientada pelos cinco aspectos das redes sistêmicas das figuras 51 e 52, que também apresentam uma síntese das atividades expressivas realizadas pelos grupos experimentais A e B. A elaboração dessas atividades de modelagem computacional propostas pelo material instrucional (apêndice 4) do terceiro encontro se amparou no texto “Bases do desenvolvimento sustentável” (in BRAGA et al., 2010) que, originando os diagramas causais 1 e 2 das figuras 53 e 54, puderam ser transformados pelos estudantes nos diagramas de fluxo que foram posteriormente transpostos para o *software* STELLA.

		Grupo A												
		A1		A2		A3		A4		Total				
		M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2			
Atividades expressivas	Diagrama causal (Pesquisador)	Transposição para o diagrama de fluxo (Papel)	Correto	X		X		X		X		4		
			Parcialmente correto		X		X		X				4	
			Incorreto											
		Identificação correta das entidades	Sim	Nível	X	X	X	X	X	X	X	X	4	4
				Taxa										
			Não	X	X	X	X	X	X	X	X	X	4	4
	Considera elo e sinal	Natureza	Causação	X	X	X	X	X	X	X	X	4	4	
			Associação	X	X	X	X	X	X	X	X	4	4	
			Correto	X	X	X	X	X	X	X	X	4	4	
		Status	Razoável	X	X	X	X	X	X	X	X	4	4	
			Errado											
			Entidade inadequada											
	Diagrama de fluxo (STELLA)	Sim	Transposição para o STELLA	Correto	X	X	X	X	X	X	X	4	4	
			Incorreto											
			Simbologia	Correto	X	X	X	X	X	X	X	4	4	
Incorreto														
Estrutura do(s) Elo(s) de retroalimentação		Correto	X		X		X		X		4			
		Parcialmente correto		X		X		X		X		4		
Incorreto														
Não	Saída gráfica	X	X		X	X	X	X	X	X	4	3		
Habilidades	Transposição para o diagrama de fluxo	Transposição para o software STELLA	X	X	X	X	X	X	X	X	4	4		
		Identificar entidades	X	X	X	X	X	X	X	X	4	4		
		Visualizar elos de retroalimentação	X		X		X		X		4			
	Relacionar saída gráfica com a realidade	Totalidade	X		X		X		X		4			
		Parcialmente		X		X		X		X		4		
		Totalidade	X		X		X		X		3			
Dificuldades	Transposição para o diagrama de fluxo	Transposição para o software STELLA												
		Identificar entidades												
		Visualizar elos de retroalimentação		X		X		X		X		4		
	Relacionar saída gráfica com a realidade	Nenhuma												
		Parcialmente												
		Totalidade												
Interação entre pesquisador e aluno	Questionamento	Consenso	X	X	X	X	X	X	X	X	4	4		
		Incorreto	X	X	X	X	X	X	X	X	4	4		

Figura 51 – Rede sistêmica das atividades expressivas referentes ao grupo experimental A

Fonte: Autoria própria, 2014.

		Grupo B																			
		B1		B2		B3		Total													
		M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2												
Atividades expressivas	Diagrama causal (Pesquisador)	Transposição para o diagrama de fluxo (Papel)	Correto																		
			Parcialmente correto																		
			Incorreto																		
		Identificação correta das entidades	Sim	Nível																	
				Taxa																	
			Não																		
		Considera elo e sinal	Natureza	Causação	X	X	X	X	X	X	X	X	X	3	3						
				Associação	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	3	3					
				Correto	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	3	3					
			Status	Razoável	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	3	3					
	Errado																				
	Entidade inadequada																				
	Saída gráfica	Correto																			
		Incorreto																			
	Diagrama de fluxo STELLA	Sim	Transposição para o STELLA	Correto	X	X	X	X	X	X	X	X	3	3							
				Incorreto																	
			Simbologia	Correto	X	X	X	X	X	X	X	X	X	3	3						
				Incorreto																	
			Estrutura do(s) Elo(s) de retroalimentação	Correto	X		X		X						3						
		Parcialmente correto			X		X		X						3						
Incorreto																					
Não		Saída gráfica	Correto	X	X		X	X	X	X			2	3							
			Incorreto																		
		Habilidades	Transposição para o diagrama de fluxo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	3	3							
	Transposição para o software STELLA		X	X	X	X	X	X	X	X	X	3	3								
	Identificar entidades		X	X	X	X	X	X	X	X	X	3	3								
Visualizar elos de retroalimentação	Totalidade	X		X		X						3									
	Parcialmente		X		X		X						3								
Relacionar saída gráfica com a realidade	Totalidade	X				X						3									
	Parcialmente		X		X		X						3								
Dificuldades	Transposição para o diagrama de fluxo	Transposição para o software STELLA																			
		Identificar entidades																			
		Visualizar elos de retroalimentação																			
	Relacionar saída gráfica com a realidade	Nenhuma																			
		Parcialmente																			
Totalidade	X		X		X							3									
Interação entre pesquisador e aluno	Questionamento	Nenhuma																			
		Parcialmente																			
	Totalidade	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	3	3								
Consenso	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	3	3									

Figura 52 – Rede sistêmica das atividades expressivas referentes ao grupo experimental B
 Fonte: Autoria própria, 2014.

As figuras 53 e 54 apresentam os diagramas causais elaborados pelo pesquisador e que dizem ao texto “Bases do desenvolvimento sustentável” (in BRAGA et al., 2010).

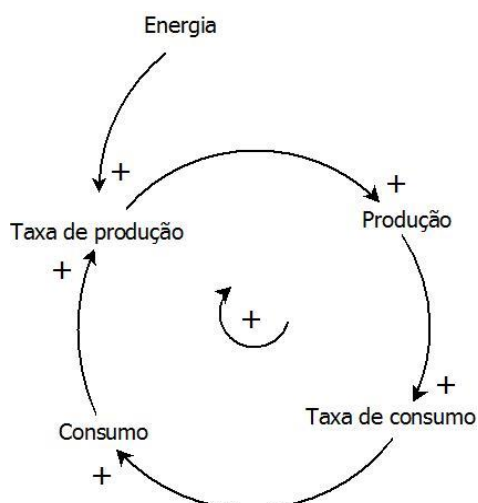


Figura 53 – Diagrama causal 1
Fonte: Autoria própria, 2013.

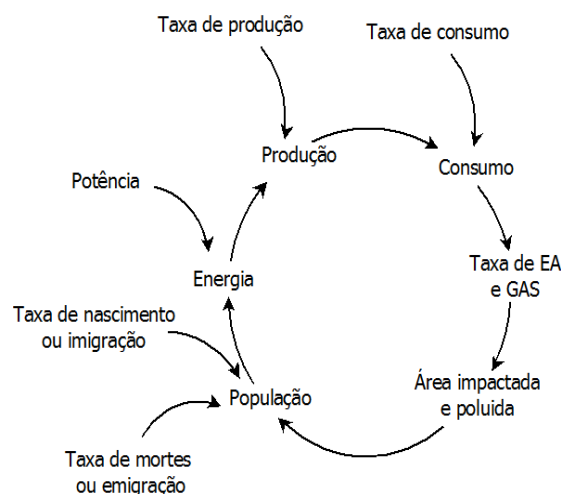


Figura 54 – Diagrama causal 2
Fonte: Autoria própria, 2013.

Os diagramas foram elaborados a partir de entidades, que no entendimento do pesquisador geravam importantes influências em cada um dos sistemas estudados, vindo com isso a servir como referência para que os estudantes, ao identificá-las como Taxas e Níveis, pudessem estruturar o diagrama de fluxo e com isso realizar a sua transposição para o *software* STELLA.

Já os dados e os resultados pertinentes a estas atividades são consequências de práticas e teorias que pretenderam, ao provocar mudanças nos modelos mentais dos estudantes e alcançar o Pensamento Sistêmico, se associar a uma percepção crítica da temática citada, promovendo a emersão de concepções a respeito do sistema analisado que, alinhadas com a seleção das entidades e com os elementos reguladores, articularam as retroalimentações que se fizeram necessárias nos processos estudados.

Num primeiro momento, para realizar esta análise de dados e obter seus resultados tomamos como padrão de referência o diagrama causal 1 que resultou no diagrama de fluxo da figura 55 e na saída gráfica da figura 56. Estes, por sua vez, refletem a avaliação da exploração das relações causais existentes, a identificação como níveis da variável *energia* e dos eventos/processos *produção* e *consumo* que, associados com as suas respectivas taxas de regulação, influenciaram o comportamento do sistema.

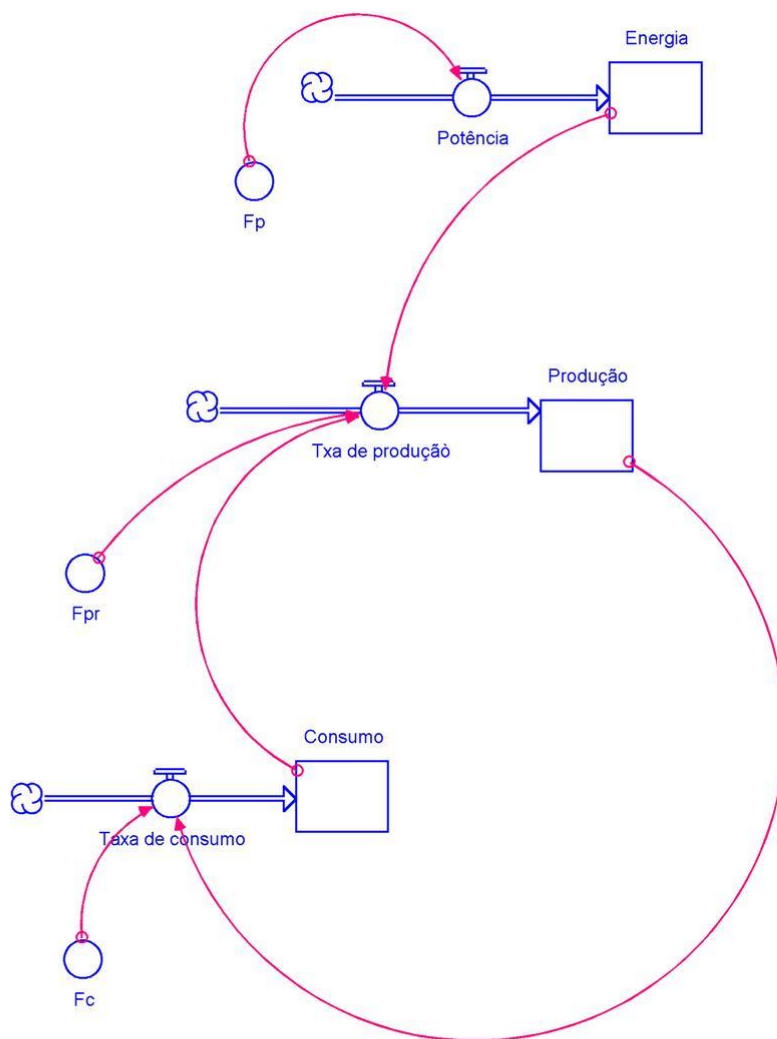


Figura 55 – Diagrama de fluxo 1
 Fonte: Autoria própria, 2013.

Note as taxas: *Potência*, *taxas de produção* e *taxa de consumo* associadas respectivamente, aos níveis: *Energia*, *Produção* e *Consumo*. Repare nos três blocos a Taxa → Nível como primeiras características da modelagem com STELLA. Perceba que os níveis são unidos as taxas, formando as relações matemáticas subjacentes, através de arcos com setas, bem como as retroalimentações, tal como produção → consumo e consumo → Taxa de produção. A animação do modelo para valores adequados leva aos gráficos de evolução mostrados na figura 56.

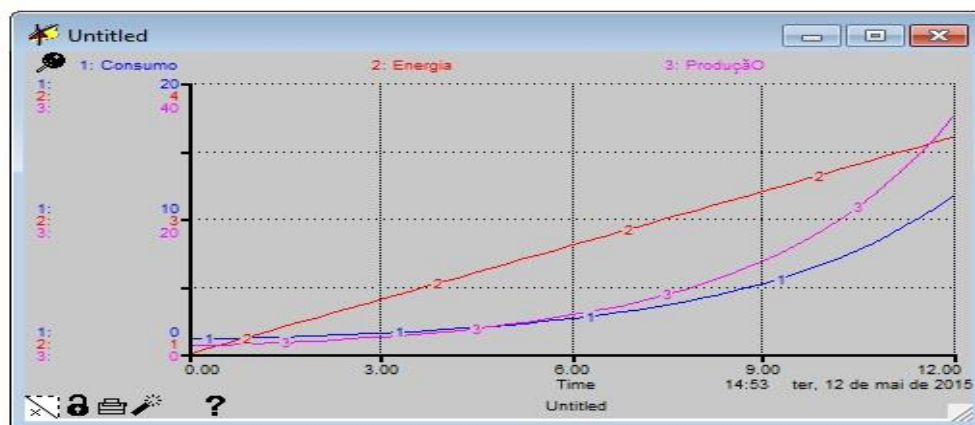


Figura 56 – Saída gráfica do modelo 1
 Fonte: Autoria própria, 2013.

Num segundo momento da atividade, os estudantes utilizaram como referência o diagrama causal 2 (figura 54) que, transformado no diagrama de fluxo da figura 57, resultou no material que nos permitiu analisar as atividades expressivas dos estudantes, envolvendo aspectos como as relações causais entre entidades, as direções dos pares de causa e efeito que, tomados como nível com as suas respectivas taxas reguladoras, deram origem ao digrama de fluxo posteriormente transposto para o *software* STELLA.

Repare que no diagrama de fluxo, existem 5 entidades níveis e 6 entidades taxa. Note os primitivos com especial atenção ao da *população* que passa a ser influenciada por um taxa de entrada e uma de saída. Perceba duas retroalimentações relativas a *população*, e uma grande retroalimentação envolvendo todos os níveis. Nesse diagrama, por motivos alheios a vontade do pesquisador, não foi prevista a utilização de uma taxa que levasse ao aumento da *Area Impactada*, tal como poderia ser, por exemplo, a *Poluição*. Contudo, entendemos que a suposta lacuna no modelo não prejudicou o bom andamento da pesquisa, uma vez que modelos parciais são comumente utilizados em atividades parcialmente exploratórias e expressivas. Isso daria ao modelador, a liberdade de propor novas taxas ou níveis que adequassem o modelo à realidade.

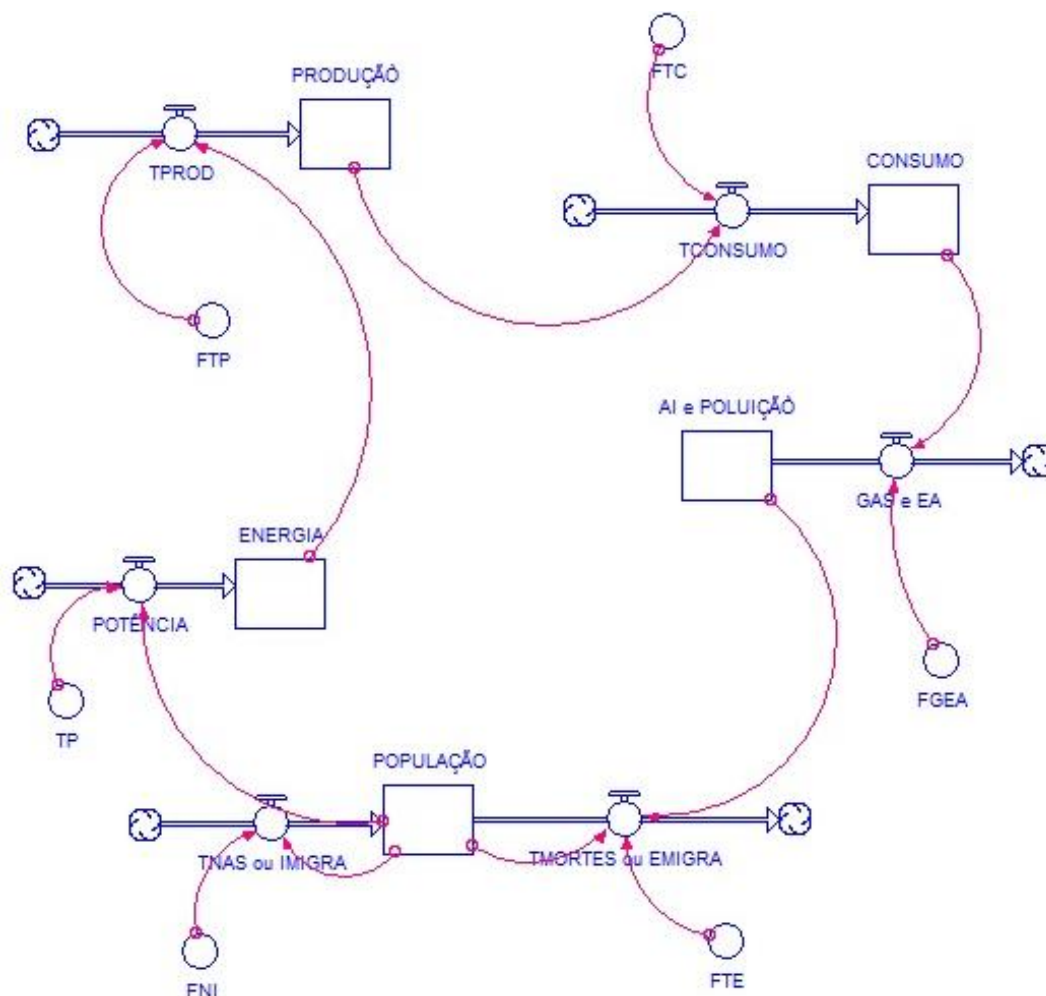


Figura 57 – Diagrama de fluxo 2
Fonte: Autoria própria, 2013.

6.4.2.1 Análise dos dados e resultados que dizem respeito às atividades expressivas fornecidas pelo estudante A4

Como visto anteriormente, a análise das justificativas e comportamentos do estudante A4 se orientou segundo os aspectos da rede sistêmica da figura 44. Em tais atividades o estudante, após observar como as entidades deveriam estar interligadas umas com as outras, deveria promover a transformação do diagrama causal em diagrama de fluxo e sua posterior transposição para o *software* STELLA.

1) Análise dos dados e resultados referentes às atividades expressivas com o modelo M1. Nesse processo foram analisados os seguintes aspectos das redes sistêmicas anteriormente apresentadas:

Primeiro aspecto (Diagrama causal)

Diz respeito à transposição do diagrama causal para o diagrama de fluxo, a identificação correta das entidades níveis e taxas e a análise do elo de retroalimentação quanto

a sua natureza, *status* e estrutura final. Conforme visto na explicação da figura 44, é importante observar a estrutura final do modelo, levando em consideração o número de elos de retroalimentação que estão presentes. A análise do diagrama causal também passa pela observação das habilidades do estudante em visualizar elos de retroalimentação total ou parcialmente. Nesse aspecto o estudante A4 desenvolveu esta atividade de maneira correta adotando um raciocínio semiquantitativo, através da utilização adequada dos símbolos como os tanques e os reguladores de fluxo. Adotou como níveis a variável quantitativa *Energia* e os eventos/processos semiquantitativos *produção e consumo* e como taxa a variável quantitativa *Potência* e os eventos/processos semiquantitativos *taxa de produção e taxa de consumo*. Quanto ao elo de retroalimentação existente no diagrama de fluxo, pudemos observar o raciocínio sistêmico do estudante quando este identifica sua natureza, interligando os diferentes processos simultaneamente por causação e associação, observando as ações simultâneas que produzem as alterações das entidades níveis reguladas pelas taxas de entrada e de saída associadas ao elo dominante. Quanto ao *status* do elo, este foi considerado razoável uma vez que a direção ou associação está correta e a maioria dos sinais e as entidades que dizem respeito ao diagrama de fluxo estão corretas e adequadas.

Segundo aspecto (Diagrama de fluxo)

Envolve a transposição do diagrama de fluxo do papel para o *software* STELLA, a simbologia utilizada, visualização e elaboração dos elos de retroalimentação e a obtenção da saída gráfica. Neste quesito o estudante mostrou domínio da ação, realizando tais atividades de acordo com seus principais ícones e funções e que foram gravadas da tela do computador. Em tal atividade realizou a transposição do diagrama de fluxo para o *software* STELLA, interagindo facilmente com o modelo no computador, utilizando corretamente os símbolos dos tanques, taxas e conversores, adotando sentidos corretos para as setas, interligando corretamente os níveis com as taxas e os respectivos conversores, elaborando corretamente a estrutura do elo de retroalimentação dominante, adotando o padrão de interação linear entre taxas e níveis e obtendo como resultado o diagrama de fluxo e a saída gráfica (figuras 58 e 59).

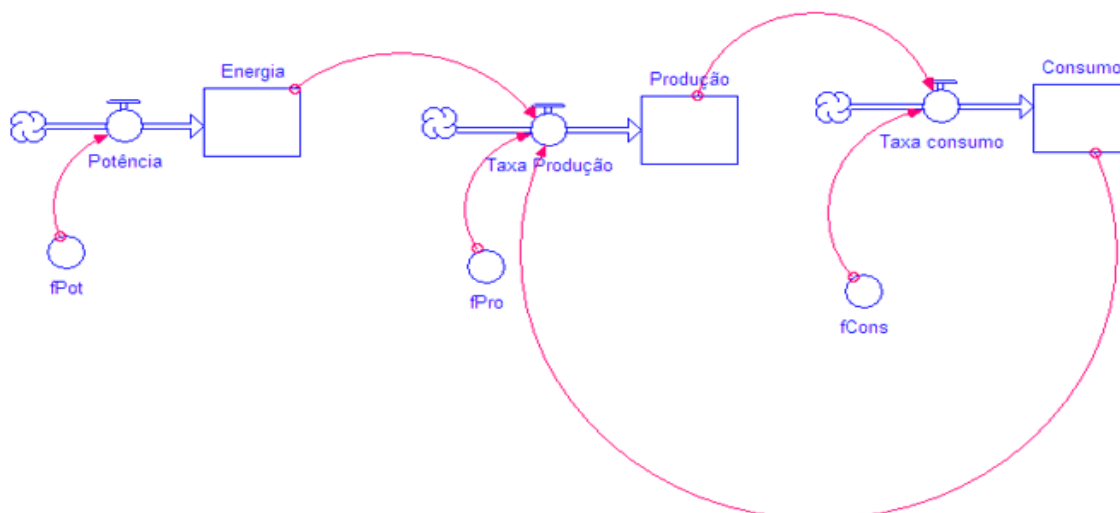


Figura 58 – Diagrama de fluxo elaborado pelo estudante A4

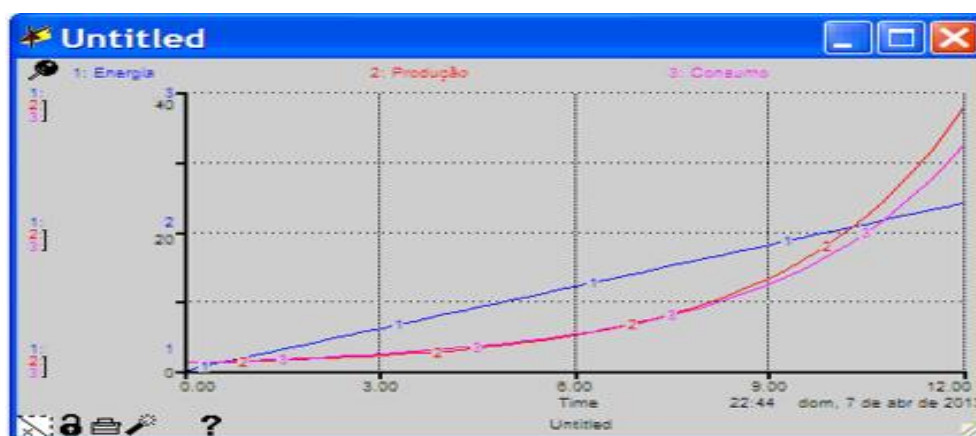


Figura 59 – Saída gráfica elaborada pelo estudante A4

Terceiro aspecto (habilidades)

Analisa as habilidades do estudante quanto às atividades expressivas propostas pelo material instrucional. Nesse processo o mesmo identificou com facilidade as taxas, os níveis e conversores que dizem respeito aos fenômenos discutidos no texto “Bases do desenvolvimento sustentável” (BRAGA et al., 2010). Nessa atividade, o estudante observando corretamente o laço de retroalimentação do diagrama causal desenvolvido pelo pesquisador, demonstrou habilidade na transposição do diagrama causal para o diagrama de fluxo, realizando também de forma adequada a transposição do diagrama de fluxo para a ferramenta computacional STELLA, utilizando adequadamente os símbolos como os tanques e os reguladores de fluxo que se associaram aos níveis e as taxas com seus respectivos conversores. Quanto a associar o modelo com a realidade, observamos que o estudante se

apoiou em ideias consistentes e bem definidas sobre o tema apresentado no material instrucional, entendendo o modelo apresentado como uma representação da realidade.

Quarto aspecto (Dificuldades)

Amparado nas informações apresentadas podemos concluir que os estudantes não mostraram dificuldades em desenvolver as atividades propostas no material instrucional.

Quinto aspecto (interação entre pesquisador e estudante)

A tendência do estudante foi de realizar questionamentos a respeito das atividades desenvolvidas. Neste sentido tivemos o cuidado de não induzir o raciocínio ou a forma de pensar do estudante sendo que as dúvidas existentes foram sanadas consensualmente no transcorrer do encontro.

Convém ressaltar que eventuais dificuldades encontradas pelos estudantes no encontro, foram superadas através de explicações que aconteceram em reuniões posteriores onde, cada um dos grupos de estudantes realizou as mesmas atividades do material instrucional, seguindo os pressupostos didático-pedagógicos da MP.

2) Análise dos dados e resultados referentes às atividades expressivas com o modelo M2. Nesse processo foram analisados os seguintes aspectos das redes sistêmicas apresentadas na figura 44:

Primeiro aspecto (Diagrama causal)

Diz respeito à transposição do diagrama causal para o diagrama de fluxo, a identificação das entidades e a análise da natureza, *status* e estrutura final do elo de retroalimentação. Nesse aspecto o estudante A4 desenvolveu esta atividade de maneira parcialmente correta (não utilizou o modelo clássico do decaimento ou crescimento exponencial populacional), conforme os registros apresentados na transposição do diagrama causal para o diagrama de fluxo (figura 60), em que o mesmo adotou o raciocínio semiquantitativo.

Nessa atividade, o estudante colocou os sinais dos pares de causa e efeito corretamente utilizando adequadamente os símbolos como os tanques e os reguladores de fluxo, adotando as variáveis quantitativas *Energia*, *Área Impactada* e *População* como níveis e a *Taxa de Natalidade*, *Taxa Mortalidade* e *Potência* como taxas. Adotou também como eventos/processos semiquantitativos a *Produção* e *Consumo* como níveis e a *Taxa EA*, *Taxa produção*, *Taxa consumo* como taxas.

Quanto ao elo de retroalimentação existente no diagrama de fluxo, pudemos observar o raciocínio complexo e sistêmico do estudante quando este identifica sua natureza,

interligando os diferentes processos simultaneamente por causação e associação, observando as ações simultâneas que produzem as alterações das entidades níveis influenciadas pelas taxas de entrada e de saída. Quanto ao *status*, este foi considerado razoável uma vez que a direção ou associação está correta e a maioria dos sinais e as entidades que dizem respeito ao diagrama de fluxo estão corretos e adequados. Convém ressaltar que o estudante comparativamente com o diagrama de fluxo proposto pelo pesquisador, utilizou o modelo clássico populacional diferentemente daquele apresentado no material instrucional (apêndice 4) que, em termos didático-pedagógicos, está associado ao crescimento e decaimento exponencial. Porém, como na realidade, por várias razões, o crescimento populacional não será estritamente exponencial, aceitamos o elo elaborado pelo estudante com o *status* de razoável. Assim podemos entender, que os estudantes que utilizam e explicam pelo menos um elo de retroalimentação vinculando as entidades razoavelmente, em princípio podemos identificá-los como pensando em nível de sistema.

Segundo aspecto (diagrama de fluxo)

Observa a transposição do diagrama de fluxo do papel para o *software* STELLA, a simbologia utilizada, os elos de retroalimentação e a saída gráfica obtida pelo estudante. Nesse quesito o estudante A4 mostrou conhecimento desta ação conforme pode ser verificado nas atividades gravadas da tela do computador, onde o mesmo utilizou seus principais ícones e funções. Tal procedimento nos permitiu inferir que, quanto à transposição do diagrama de fluxo para o *software* STELLA, o estudante desenvolveu a atividade utilizando corretamente os símbolos dos tanques, taxas e conversores do referido *software*, dando sentidos corretos para as setas, interligando os níveis com as taxas com os respectivos conversores. Elaborou parcialmente a estrutura dos elos de retroalimentação uma vez que não utilizou o modelo clássico do decaimento ou crescimento exponencial populacional, tendo obtido como resultado final o diagrama de fluxo (figura 60) e saída gráfica (figura 61).

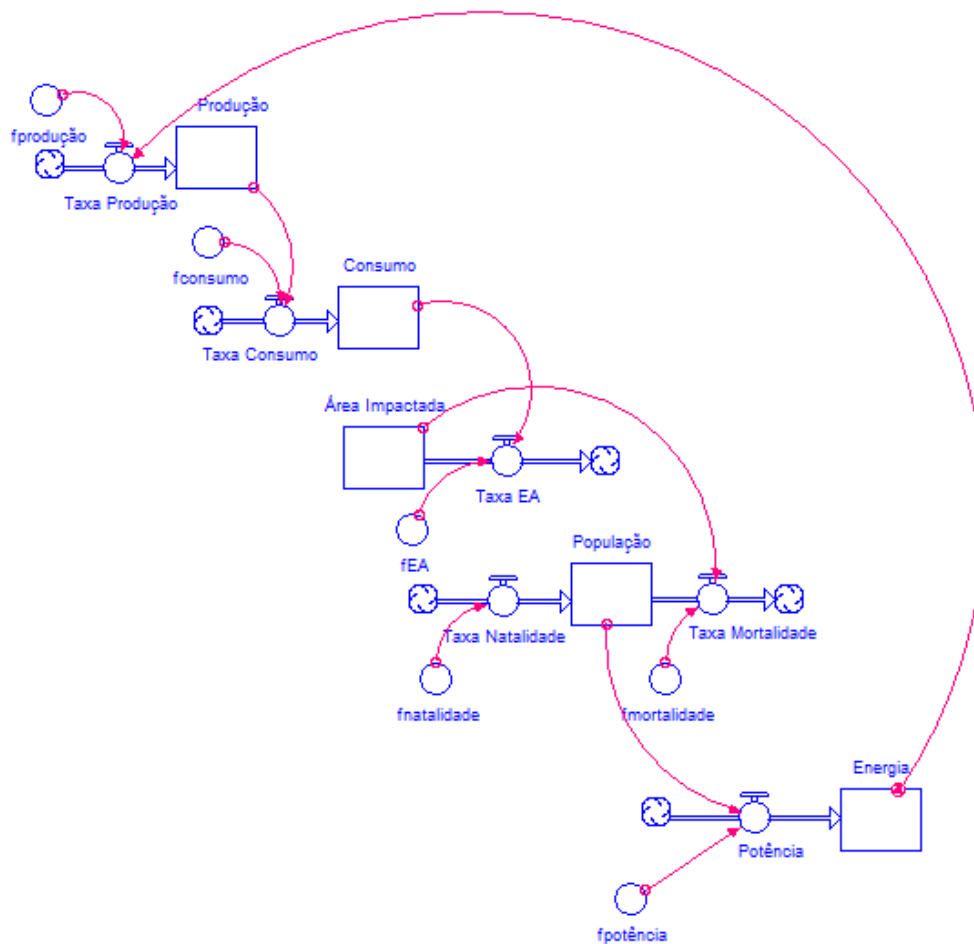


Figura 60 – Diagrama de fluxo elaborado pelo estudante A4

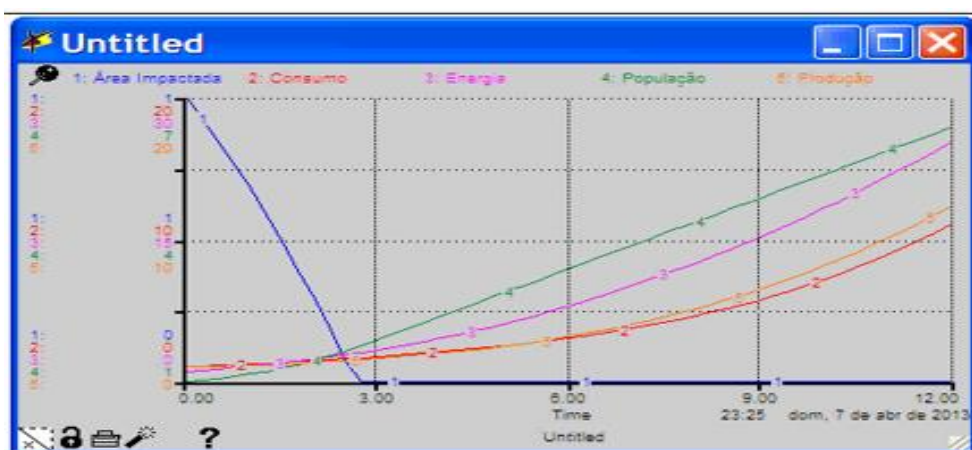


Figura 61 – Saída gráfica elaborada pelo estudante A4

O terceiro aspecto (habilidades)

Diz respeito às habilidades do estudante A4 quanto às atividades expressivas propostas pelo material instrucional. Nesta atividade o mesmo identificou com facilidade as taxas, os níveis e conversores que dizem respeito aos fenômenos discutidos na transcrição do texto

“Bases do desenvolvimento sustentável”. Nesse processo o estudante visualizou corretamente o laço de retroalimentação do diagrama causal desenvolvido pelo pesquisador, demonstrando habilidade na transposição do diagrama causal para o diagrama de fluxo e realizando também de forma adequada a transposição do diagrama de fluxo para a ferramenta computacional STELLA conforme podemos observar na figura 60. Quanto a associar o modelo com a realidade, observou-se que o estudante se apoiou em ideias consistentes e razoavelmente definidas sobre o tema apresentado no material instrucional, entendendo o modelo apresentado como uma representação parcial da realidade uma vez que utilizou para o modelo populacional o padrão de interação entre taxas e níveis mais simples que é o padrão linear. Tal situação vem a comprovar a tendência da utilização do pensamento analítico alcançado nos cursos de Engenharia Civil, o que induz a pensar sobre fenômenos do meio ambiente de forma linear.

Quarto aspecto (Dificuldades)

Não visualizou, num primeiro momento, o comportamento não-linear do modelo clássico populacional. Tal procedimento veio a demonstrar certa dificuldade em modelar na totalidade os fenômenos utilizando este padrão dinâmico, uma vez que os estudantes de engenharia são induzidos a utilizar gráficos lineares em diferentes situações da realidade.

Quinto aspecto (Interação entre estudante e pesquisador)

A tendência do estudante foi de manter questionamentos com o pesquisador a respeito das atividades desenvolvidas. Neste sentido o pesquisador teve o cuidado em suas intervenções de não induzir o raciocínio ou a forma de pensar do estudante, uma vez que nestes questionamentos, conforme registros feitos em sala de aula, se evidenciaram a dificuldade do estudante em visualizar elos de retroalimentação não-lineares e que estão associados a uma maior familiaridade com o raciocínio em nível sistêmico. Novamente ressaltamos que as dificuldades encontradas pelos estudantes durante as atividades, foram superadas através de explicações que aconteceram em reuniões posteriores onde, cada um dos grupos de estudantes realizou as mesmas atividades do material instrucional orientados pelos pressupostos didático-pedagógicos da MP.

6.4.2.2 Síntese das análises de dados e resultados fornecidos pelos grupos experimentais A e B referentes às atividades expressivas com os modelos M1 e M2

Nesse processo foram analisados os seguintes aspectos da rede sistêmica:

Primeiro aspecto (Diagrama causal)

Nesse aspecto os estudantes dos grupos A e B desenvolveram esta atividade de maneira correta no modelo M1 e parcialmente correta no modelo M2 conforme podemos perceber nas redes sistêmicas das figuras 51 e 52, onde estão registradas as análises dessas atividades. Nesses processos, todos os estudantes, utilizando o raciocínio semiquantitativo, colocaram corretamente os sinais dos pares causais, utilizando adequadamente os símbolos como os tanques e os reguladores de fluxo. Para tanto, no modelo M1, adotaram como níveis a variável quantitativa *Energia* e os eventos/processos semiquantitativos *produção e consumo* e como taxa a variável quantitativa *Potência* e os eventos/processos semiquantitativos *taxa de produção e taxa de consumo*.

No modelo M2 adotaram como níveis as variáveis quantitativas *Energia*, *Área Impactada* e *População* e as variáveis quantitativas *Taxa de Natalidade*, *Taxa Mortalidade* e *Potência* como taxas. Adotaram também os eventos/processos semiquantitativos *Produção e Consumo* como níveis e os eventos/processo semiquantitativo *Taxa EA*, *Taxa produção* e *Taxa consumo* como taxas.

Quanto ao elo de retroalimentação existente nos diagramas de fluxo dos dois modelos M1 e M2, pudemos observar nos dois grupos o raciocínio complexo e sistêmico dos estudantes quando estes identificam sua natureza, interligando os diferentes processos simultaneamente por causalção e associação, observando as ações simultâneas que produzem as alterações das entidades níveis influenciadas pelas taxas de entrada e de saída. Quanto ao *status* do elo, este foi considerado razoável nos modelos M1 e M2, uma vez que a direção ou associação está correta e a maioria dos sinais e as entidades que dizem respeito ao diagrama de fluxo estão corretas e adequadas. Convém ressaltar que a maioria dos estudantes, comparativamente com o digrama de fluxo do modelo M2 proposto pelo pesquisador, utilizou o modelo clássico populacional diferentemente daquele que, em termos didático-pedagógicos, está associado ao crescimento e decaimento exponencial. Como já dissemos, na realidade, por várias razões, o crescimento populacional não será estritamente exponencial e, portanto, pudemos aceitar o elo elaborado pelos estudantes com o *status* de razoável, o que, de acordo com as razões apresentadas na seção 6.4.1.1, em princípio nos leva a interpretar os estudantes como pensando sistemicamente.

Segundo aspecto (diagrama de fluxo)

Observa a transposição do diagrama de fluxo do papel para o *software* STELLA, a simbologia utilizada, a estrutura dos elos de retroalimentação e a obtenção da saída gráfica. Nesse quesito os estudantes dos grupos A e B mostraram conhecimento dessa ação, conforme pode ser verificado nos registros das redes sistêmicas das figuras 49 e 50. Tal procedimento

nos permitiu inferir que, quanto à transposição do diagrama de fluxo para o *software* STELLA, os estudantes desenvolveram a atividade utilizando corretamente os símbolos dos tanques, taxas e conversores utilizados no referido *software*, dando sentidos corretos para as setas, interligando corretamente os níveis com as taxas e os respectivos conversores, elaborando corretamente a estrutura do elo dominante do modelo M1 e parcialmente as estruturas dos elos do modelo M2.

O terceiro aspecto (habilidades)

Neste aspecto os estudantes tiveram habilidades em identificar as taxas, os níveis e conversores que dizem respeito aos fenômenos discutidos na transcrição do texto “Bases do desenvolvimento sustentável” (BRAGA et al., 2010), visualizando corretamente o laço de retroalimentação do diagrama causal desenvolvido pelo pesquisador. Quanto à transposição do diagrama causal para o diagrama de fluxo, e a elaboração deste junto à ferramenta computacional STELLA, os estudantes demonstraram habilidades conforme podemos observar nas informações registradas nas redes sistêmicas das figuras 49 e 50. Quanto a associar o modelo com a realidade, observou-se que os estudantes se apoiaram em ideias consistentes e bem definidas sobre o tema apresentado no modelo M1, modelando a situação, utilizando o padrão de interação entre taxas e níveis mais simples que é o padrão linear. Quanto ao modelo M2, os estudantes na sua maioria se apoiaram em ideias consistentes, porém utilizaram o modelo clássico populacional, diferentemente daquele apresentado no material instrucional que, em termos didático-pedagógicos, está associado ao crescimento e decaimento exponencial.

Quarto aspecto (Dificuldades)

Os estudantes dos grupos A e B não visualizaram, num primeiro momento, o comportamento não-linear do modelo clássico populacional. Tal procedimento veio a demonstrar certa dificuldade em modelar os fenômenos utilizando este padrão dinâmico, uma vez que os estudantes de Engenharia são induzidos a utilizar gráficos lineares para explicar as diferentes situações da realidade. Tal dificuldade foi sanada, quando da realização do trabalho extraclasse com os grupos.

Quinto aspecto (Interação entre estudante e pesquisador)

A tendência dos estudantes foi de manter questionamentos com o pesquisador a respeito das atividades desenvolvidas. Neste sentido o pesquisador teve o cuidado em suas intervenções de não induzir o raciocínio ou a forma de pensar do estudante, uma vez que nestes questionamentos, conforme registro feito em sala de aula ficou evidenciada a

dificuldade dos estudantes dos grupos A e B, em visualizar elos de retroalimentação não-lineares que estão associados a uma maior familiaridade com o raciocínio em nível sistêmico.

6.5 Análise final dos dados fornecidos pelos estudantes dos grupos A e B a respeito das atividades expressivas e exploratórias com o *software* STELLA

Após as análises das atividades exploratórias e expressivas com o *software* STELLA, pudemos concluir que a proposta de utilizar esta ferramenta como agente que pudesse colaborar para o alcance do Pensamento Sistêmico no campo ambiental, foi alcançada uma vez que os estudantes, após a realização das atividades propostas pelo material instrucional (apêndices 2, 3 e 4), passando a pensar sistemicamente, puderam construir concepções que os permitiram compreender melhor os princípios da complexidade, reestruturando as maneiras com que percebiam a realidade do mundo.

Para tanto, os estudantes foram sensibilizados para compreender algumas dinâmicas que dizem respeito à interação do homem com o meio ambiente utilizando técnicas de simulação computacional com o *software* STELLA onde este foi utilizado, não somente como uma ferramenta que pudesse colaborar para a aprendizagem da linguagem, teorias e metodologias que envolvem o Pensamento Sistêmico, mas também como um agente de ensino que pôde colaborar para o desenvolvimento de capacidades e habilidades que trouxeram para os estudantes novos níveis de percepção, sensibilidade e consciência onde possivelmente passaram em algumas situações de suas práxis a explicar, descrever e fazer previsões, reformular os diferentes processos sistêmicos ao corrigi-los recursivamente, lidando construtivamente com a mudança, manejando a informação expostos a incerteza e a não-causalidade podendo com isso, começar a construir um conhecimento que melhor enxergasse a complexidade ambiental.

Tal processo pode ser observado nas redes das figuras 49 a 52 que orientaram as atividades com o *software* STELLA, e estas, ao atuar como ferramentas que adicionaram aprendizagem ao processo, permitiram que os estudantes observassem o comportamento dos sistemas no futuro, olhando para a situação com menos dúvidas, utilizando para tanto os diagramas de fluxo que os permitiram especificar as interpelações de uma forma matemática e explícita. Para tanto, utilizaram modelos que envolveram diferentes graus de complexidade, onde um elemento influenciava o outro, olhando não apenas para aquela relação, mas também observando, com a relativa exatidão das saídas gráficas, como um elemento, ao interagir com outro, influenciava o sistema como um todo. Ainda, através dos diagramas de fluxos

trabalhados no STELLA, os estudantes perceberam que poderiam traduzir qualquer situação, mesmo aquela qualitativa e imensurável, partindo das entidades nível, taxas e conversores, vindo com isso a construir o conhecimento das relações que governam algumas dinâmicas importantes dos sistemas naturais e sociais, como crescimento e decaimento linear e exponencial. Em todas essas situações foram exigidas atividades com o material instrucional, as quais estavam associadas aos conhecimentos prévios dos estudantes de Engenharia Civil tais como a computação, os impactos ambientais negativos, a geração de energia elétrica, a potência, as funções matemáticas, as Leis da termodinâmica e os conhecimentos de Mecânica dos Fluidos. Estes conhecimentos puderam ser vistos como organizadores prévios, uma vez que, sendo primitivos à construção do STELLA, puderam facilitar a utilização da modelagem em computador, tornando-a um agente motivador para estudar as estruturas mais complexas dos fenômenos que dizem respeito às questões ambientais no curso de Engenharia Civil, resultando em indícios de aprendizagens significativas, uma vez que ficou caracterizada a interação cognitiva daquilo que os estudantes já conheciam com o novo conhecimento.

CAPÍTULO 7

Este capítulo apresenta a análise dos dados pertinentes às concepções dos estudantes, quanto às afirmativas do primeiro (pré-teste) e segundo (pós-teste) questionários.

7.1 Considerações iniciais

As análises das atividades aqui apresentadas, dizem respeito à intervenção desenvolvida junto aos estudantes de Engenharia Civil que compõem os grupos de controle e experimental desta pesquisa-ação. Tal análise aconteceu a partir dos posicionamentos e justificativas expressadas pelos estudantes, após a aplicação do primeiro (pré-teste) e do segundo (pós-teste) questionários, das anotações realizadas pelo pesquisador, das gravações em fitas de vídeo referentes às atividades em sala de aula, das atividades extraclases voltadas para a sensibilização dos estudantes quanto aos objetivos da EA, e dos registros por escrito e gravações das atividades realizadas em sala de aula.

Os critérios adotados para esta análise, explicitados na seção 5.2.6.5, envolveram as opções e os comentários das justificativas apresentadas para cada uma das afirmativas dos questionários, permitindo com isso definir o perfil das concepções dos componentes dos grupos de pesquisa quanto às categorias que dizem respeito aos objetivos da EA, antes e depois da intervenção. Tais procedimentos, estando associados às análises dos registros feitos pelos estudantes, no material instrucional do apêndice 1, possibilitaram, na análise dos questionários, inter-relacionar as concepções dos estudantes com os aspectos que dizem respeito ao Pensamento Sistêmico e às categorias dos objetivos da EA, podendo com isso desvelar aspectos cognitivos que, tendo sido influenciados pela intervenção, vieram a colaborar na verificação de indícios de aprendizado significativo (AUSUBEL, 1968), que dizem respeito à emergência do conhecimento da SD.

Os procedimentos para a análise dos dados fornecidos pelos estudantes seguiram as seguintes etapas:

1) Primeiramente, foi realizada a análise qualitativa e quantitativa dos dados do primeiro questionário de acordo com os procedimentos descritos na seção 5.2.6.5. Como vimos, o questionário foi aplicado no início da intervenção, em 14 estudantes dos grupos de controle e experimental; destes, de acordo com o método adotado, 7 estudantes pertencentes ao grupo de controle passaram a ser identificados como C1, C2, C3, C4, C5, C6 e C7 e os outros 7 estudantes do grupo experimental, mantendo o mesmo critério do grupo de controle, passaram a se denominar A1, A2, A3, A4, B1, B2 e B3. Nesse processo, buscamos destacar e comparar aspectos dos modelos mentais dos estudantes, através das atitudes e comentários apresentados a respeito das categorias dos objetivos da EA, antes da realização da intervenção programada. Nesta primeira etapa foram realizados os seguintes procedimentos:

a) Uma análise qualitativa das opções e justificativas apresentadas pelos estudantes e que refletiam as suas concepções a respeito dos temas apresentados em cada afirmativa do primeiro questionário, utilizando como parâmetro de avaliação as respostas elaboradas pelo pesquisador na seção 5.2.6.2. Para demonstrar como foi realizado esse processo, apresentamos a análise detalhada do estudante C1 do grupo de controle e a do estudante B3 do grupo experimental. A síntese das análises qualitativas, que envolve as concepções de cada estudante, do grupo de controle e do grupo experimental, é apresentada juntamente com as redes sistêmicas das figuras 62 a 66 para o grupo de controle e figuras 70 a 74 para o grupo experimental.

b) Uma análise quantitativa que, seguindo os procedimentos da seção 5.2.6.5, desenvolveu-se em três etapas. Na primeira, quando cada justificativa recebeu uma pontuação que correspondeu a um nível de concepção (critério 1). Na segunda, quando foram determinados os índices de posicionamentos corretos em função da porcentagem de ocorrência das afirmativas (critério 2). E, por último através da combinação do critério 1 com o critério 2, que resultou no perfil das concepções de cada estudante e do grupo analisado.

2) Tendo em mãos as informações do questionário final, pudemos analisar os posicionamentos e as justificativas fornecidas pelos estudantes do grupo experimental, repetindo o mesmo procedimento metodológico adotado na análise do questionário inicial (seção 5.2.6.5). Ao finalizar esse procedimento, foi possível confrontar as análises dos dados do primeiro com o segundo questionários, verificando aspectos dos modelos mentais e o perfil das concepções que sugerem indícios da aprendizagem significativa através do método adotado para a intervenção.

7.2 Análise qualitativa e quantitativa dos dados fornecidos pelo grupo de controle relativa à aplicação do primeiro questionário (pré-teste)

Os dados aqui apresentados e suas interpretações buscaram analisar o perfil das concepções e confirmar alguns aspectos dos modelos mentais dos estudantes antes da intervenção.

7.2.1 Análise qualitativa das opções e justificativas apresentadas pelo estudante C1 e apresentação das redes sistêmicas que sintetizam as análises do grupo de controle

Uma forma sintetizada da análise do estudante C1 bem como a dos outros estudantes do grupo de controle, poderá ser acompanhada através das leituras das redes sistêmicas e comentários apresentados ao final da análise de cada uma das categorias que dizem respeito aos objetivos da EA.

a) Análise das concepções que dizem respeito aos princípios da complexidade ambiental envolvendo as questões 10, 19, 20, 21, 22, 23 e 24. Nestes posicionamentos e justificativas, o estudante obteve um total de 6 pontos, resultantes das seguintes observações:

a1) Nenhum ponto referente aos comentários discordantes e sem muita coerência que justificaram a afirmativa 23 que envolve aspectos da entropia em sistemas complexos. a2) Um total de 6 pontos obtidos através das justificativas concordantes que dizem respeito aos conteúdos das afirmativas 10, 19, 20, 21 e 24. Neste contexto, o estudante mostrou que concordava fortemente com o pesquisador, ao ter optado pela letra E na afirmativa 20 onde, *com alguma coerência* apresentou um pequeno resumo sobre o princípio do círculo retroativo e recursivo, dizendo na sua justificativa que “*Todas as atitudes que o homem tiver com relação ao meio ambiente terão consequências. Um exemplo simples é o da água. Devido à grande poluição atualmente, a porcentagem de água potável em alguns anos será pequena para a população.*”, tendo obtido nesta afirmativa 1,50 ponto. Nas afirmativas 10, 19, 21 e 24, o estudante mostrou concordar com o pesquisador ao ter optado pelos posicionamentos B, D, D e B respectivamente, apresentando um pequeno resumo sobre os fenômenos envolvidos apenas nas questões 19, 21 e 24. Na afirmativa 19, o estudante, *com muita coerência*, interpreta a complexidade ambiental como um todo que envolve problemas que buscam ser solucionados. Para tanto, “*devemos ter sensibilidade para conhecer os fatores que influenciaram para que ele acontecesse*”, obtendo com isso 1,50 ponto. Na questão 21, o estudante justifica, *com muita coerência*, que a emergência da complexidade ambiental envolve “*Não somente os aspectos da natureza, mas também os aspectos da sociedade.*”,

obtendo assim 1,50 ponto. Na questão 24, o estudante, com *alguma coerência*, explica que na busca do equilíbrio, o homem, para se organizar em termos de sociedade, acaba “*criando uma desorganização, ou até mesmo um desequilíbrio global*”, obtendo com isso 1,0 ponto. Por último, o estudante obteve 0,5 ponto ao não justificar e apenas concordar com a afirmativa 10, entendendo que os conhecimentos das leis da termodinâmica e do eletromagnetismo são necessárias aos estudos dos impactos ambientais,

a3) Na justificativa de afirmativa 22, embora o estudante tenha se posicionado com dúvida a respeito do fenômeno discutido, interpreta com *alguma coerência*, que os sistemas vivos podem evoluir espontaneamente para um estado limiar entre a ordem e o caos, uma vez que “*o meio ambiente se refaz sem a interferência do homem*”, obtendo com isso 0,5 ponto.

Após esta análise pudemos concluir que o estudante, na grande maioria das afirmativas, não tinha certeza se estas estavam corretas. Entretanto, apresentou uma série de justificativas até certo ponto coerentes, resultado de uma aprendizagem em que o estudante lembra vagamente das informações recebidas e que correspondem, na nossa análise, a um conhecimento que se aproxima do senso comum no que diz respeito aos temas que envolvem os princípios da complexidade.

a4) Rede sistêmica (figura 62) das concepções do grupo de controle, envolvendo os princípios da complexidade ambiental.

		GRUPO DE CONTROLE							
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	
Concepções sobre a complexibilidade ambiental	Princípio da reintrodução do conhecimento (Q 10)	Concorda Fortemente (A/E)					X		
		Concorda (B/D)						X	
		Tem dúvida (C)	X		X				
		Discorda		X	X		X		
	Princípio holográfico (Q 19)	Concorda Fortemente		X	X				X
		Concorda	X			X	X		
		Tem dúvida							
		Discorda							X
	Princípio do círculo retroativo e recursivo (Q 20)	Concorda Fortemente	X	X		X	X	X	
		Concorda			X				
		Tem dúvida							
		Discorda							
	Princípio das propriedades emergentes (Q 21)	Concorda Fortemente		X					
		Concorda	X			X			
		Tem dúvida			X				X
		Discorda						X	X
	1º e 2º Lei da Termodinâmica (Q 22)	Concorda Fortemente							
		Concorda		X			X	X	
		Tem dúvida							
		Discorda	X						
	Princípio da não-linearidade (Q 23)	Concorda Fortemente		X					X
		Concorda			X				
		Tem dúvida							
		Discorda	X			X	X		
Princípio dialógico da auto-organização (Q 24)	Concorda Fortemente							X	
	Concorda	X						X	
	Tem dúvida		X						
	Discorda			X	X	X			

Figura 62 – Rede sistêmica das concepções apresentadas pelo grupo de controle que dizem respeito à categoria que envolve os princípios da complexidade
 Fonte: Autoria própria, 2014.

Observando as opções e as justificativas que estruturaram a rede sistêmica da figura 62, verificou-se que nas afirmativas 10, 19, 21, 22, 23 e 24 houve comentários discordantes do pesquisador e que correspondem a concepções erradas ou desconhecimento do assunto discutido. Por sua vez, as afirmativas concordantes foram justificadas através da reprodução do texto ou comentários, em que os estudantes não tinham certeza se a afirmativa estava correta, apresentando pequenos resumos até certo ponto coerentes em relação àqueles apresentados pelo ensino formal, antecipando um nível de concepções que resultaram de uma vaga lembrança no que diz respeito aos conhecimentos dos assuntos envolvidos. Quanto à opção fortemente concordante e com muita coerência, esta ocorreu apenas na afirmativa 20, em que o estudante C7 interpretou corretamente o princípio retroativo e recursivo da complexidade.

b) Concepções que dizem respeito aos conceitos científicos que possuem interface com a SD e que envolveram as questões 2, 3, 4, 7, 8, 12, 16 e 17. Nestes posicionamentos e justificativas o estudante C1 obteve um total de 5,5 pontos resultantes das seguintes observações.

b1) Nenhum ponto referente aos comentários discordantes e sem muita coerência que justificaram as afirmativas 4, 7, 12 e 16 e que tratam dos efeitos do atual MDE e que acabam por repercutir negativamente em processos que dizem respeito à educação e as questões ambientais.

b2) Um total de 5 pontos obtidos das justificativas concordantes referentes aos comentários das afirmativas 2, 8 e 17. Neste contexto, o estudante mostrou que concordava fortemente com o pesquisador, ao optar pela letra E e A respectivamente nas afirmativas 2 e 8. Na justificativa 2 o estudante mostrou conhecimento sobre o fenômeno discutido, em que, *com muita coerência*, apresenta um pequeno resumo sobre a capacidade do meio ambiente de reciclar matéria e absorver resíduos explicando “*que o meio ambiente possa se recompor e absorver resíduos até certo ponto. Em alguns lugares essa reconstituição do ambiente natural possa levar alguns anos*”, obtendo com essa justificativa, 2 pontos. Na justificativa 8 que trata dos impactos negativos causados nos ecossistemas pelo incentivo à produção e ao consumo, mostrou conhecimento sobre o fenômeno discutido e *com muita coerência*, interpretou que “*Quanto mais consumimos, mais descartamos e maior é a produção. Esse consumismo demasiado do que não precisamos acaba causando um grande desequilíbrio*”, obtendo com isso 2 pontos. Apenas concordando com o pesquisador, na justificativa da afirmativa 17 onde optou pela letra D, o estudante apresenta um pequeno resumo, demonstrando algum conhecimento, ao entender coerentemente que geração de energia

elétrica, com utilização de combustíveis fósseis, não altera somente o ambiente atmosférico, mas também os outros ecossistemas escrevendo com alguma coerência “*que quando um ambiente se altera, essa mudança reflete diretamente nos outros ambientes*”, obtendo assim mais 1 ponto.

b3) Por último, embora o estudante tivesse se posicionado com dúvida a respeito da afirmativa 3, na sua justificativa interpretou com *alguma coerência*, que o aumento dos impactos ambientais está associado ao pouco investimento em educação, dizendo que “*nem todos sabem o quanto prejudiciais esses impactos podem ser*”, recebendo por isso 0,5 ponto.

Após a análise desta categoria constatamos que o estudante, na maioria das questões, apresentou um nível de concepções erradas ou desconhecimento dos temas abordados.

b4) Rede sistêmica (figura 63) que apresenta uma síntese das concepções do grupo de controle a respeito dos conceitos científicos que fazem interface com o conhecimento da SD.

Observando as opções e as justificativas que estruturaram a rede sistêmica da figura 63, verifica-se que nas afirmativas 2, 3, 4, 7, 12, 16 e 17 houve comentários discordantes do pesquisador, antecipando que os estudantes possuíam concepções erradas ou desconhecimento do tema abordado. Quanto à maioria das concepções concordantes, estas foram justificadas através da reprodução do texto ou comentários nos quais os estudantes não tinham certeza se a afirmativa estava correta, apresentando justificativas com alguma coerência em relação às apresentadas pelo ensino formal, antecipando um nível de concepções que resulta de uma vaga lembrança no que diz respeito aos conceitos que fazem interface com a SD. Quanto às opções fortemente concordantes, estas ocorreram apenas nas afirmativas 2, 8 e 17. Neste caso, o estudante C1 demonstrou com muita coerência, possuir concepções corretas a respeito da capacidade limitada do meio ambiente de absorver e reciclar resíduos, demonstrando consciência de que o avanço tecnológico, ao incrementar a produção e o consumo, acaba por gerar uma grande instabilidade ecossistêmica. Já o estudante C7, também com muita coerência explicou que a utilização dos combustíveis fósseis, além de afetar o ambiente atmosférico, afeta também os outros ambientes dos diferentes ecossistemas.

c) Concepções a respeito dos comportamentos que devemos ter frente às questões ambientais e que envolveram as questões 1 e 6. Nestes posicionamentos e justificativas o estudante C1 obteve um total de 1,5 ponto resultantes das seguintes observações.

c1) Um total de 1,5 ponto obtido das justificativas concordantes referentes às afirmativas 1 e 6. Neste contexto, o estudante mostrou que concordava fortemente com o pesquisador, ao optar pelas letras E e A respectivamente. Na justificativa da afirmativa 1 o estudante apresenta um pequeno resumo, em que, *sem muita coerência*, declara que a sua qualidade de vida e das gerações futuras depende “*da maneira que eu me comportar*”, obtendo com isso 1,0 ponto. Ainda apresentando uma justificativa *sem muita coerência* na afirmativa 6, interpreta a relação entre o sistema produtivo, o lucro desenfreado e a qualidade de vida da sociedade, dizendo que “*quando pensamos somente no lucro deixamos de tomar pequenas escolhas que podem fazer a diferença*”, obtendo 0,5 ponto.

Após a análise desta categoria, constatamos que o estudante C1 apresentou um nível de concepções que mostrava certo desconhecimento do tema abordado.

c2) Rede sistêmica (figura 64) das concepções do grupo de controle que dizem respeito ao comportamento que devemos ter diante das questões ambientais.

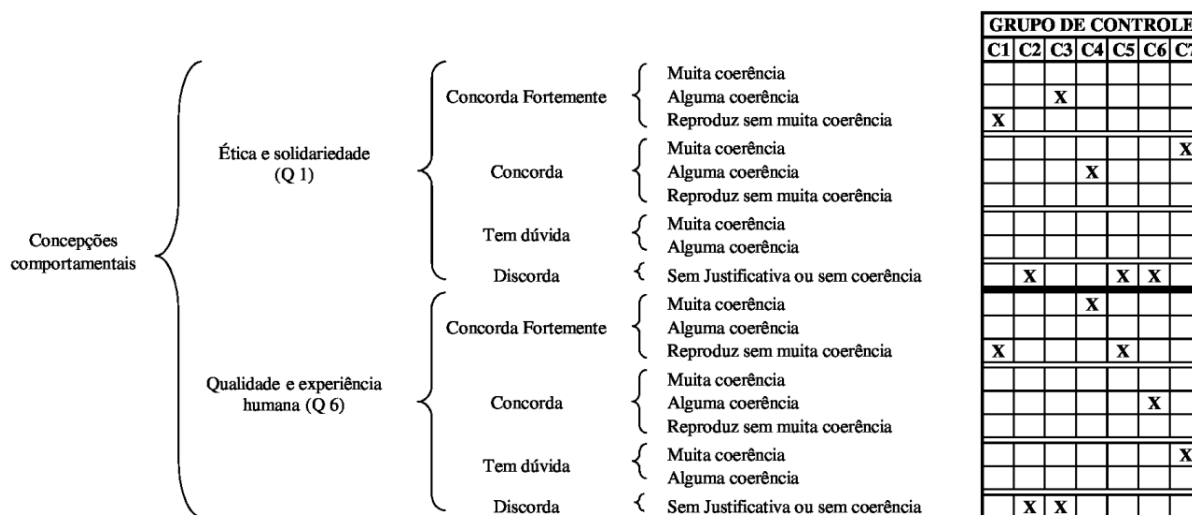


Figura 64 – Rede sistêmica das concepções apresentadas pelo grupo de controle que dizem respeito à categoria comportamental
Fonte: Autoria própria, 2014.

Observando as opções e as justificativas que estruturaram a rede sistêmica da figura 64, verifica-se que nas afirmativas 1 e 6 houve alguns comentários discordantes do pesquisador, antecipando que estes estudantes possuíam concepções erradas ou desconhecimento do tema abordado. Quanto à maioria das concepções concordantes, estas foram justificadas através da reprodução do texto ou comentários, em que os estudantes não tinham certeza se a afirmativa estava correta, apresentando justificativas com *alguma coerência* em relação àquelas apresentadas no ensino formal, antecipando um nível de concepções que resulta de uma vaga lembrança dos conteúdos que dizem respeito à temática apresentada nas afirmativas do questionário. Quanto a opção fortemente concordante, esta ocorreu na afirmativa 6 através do posicionamento do estudante C4. Em sua justificativa, o estudante C4 apresentou *com muita coerência* uma definição correta da SD, ressaltando a importância dos aspectos éticos e solidários que devemos ter com respeito às necessidades vitais das gerações futuras e também um entendimento dos malefícios que o lucro exacerbado traz para a qualidade de vida da sociedade.

d) Concepções a respeito dos conhecimentos que nos permitem avaliar os problemas ambientais e que envolveram as questões 5, 9, 13, 14, 15, 18. Nestes posicionamentos e justificativas o estudante C1 obteve um total de 5,5 pontos resultantes das seguintes observações.

d1) Nenhum ponto referente aos comentários equivocados e *sem muita coerência*, apresentados na afirmativa 5 que relaciona a solução dos problemas ambientais na Engenharia Civil com os órgãos públicos de fiscalização.

d2) Um total de 5 pontos obtidos das justificativas concordantes referentes aos conteúdos das afirmativas 9, 13, 14 e 18. Nesse contexto, o estudante mostrou que *concordava fortemente* com o pesquisador, ao optar pelas letras E, A e E nas afirmativas 9, 13 e 18 respectivamente. Na afirmativa 13, mostrou conhecimento e compreensão sobre o fenômeno discutido quando na sua justificativa, apresenta um resumo com *alguma coerência*, prevendo que a EA auxilia na gestão das atividades do Engenheiro Civil, auxiliando a “*formar profissionais com uma maior responsabilidade ambiental*”, obtendo com esta justificativa 1,5 ponto. Na afirmativa 18, o estudante, *fortemente concordante* com o pesquisador com *alguma coerência*, declara que só conhece a “*ISO 14001 pela mídia.*”, obtendo com isso 1,5 ponto. Ainda *fortemente concordante* na afirmativa 9, o estudante se limitou a apresentar um pequeno resumo, em que, *sem muita coerência*, reproduziu o texto que relaciona os conhecimentos dos problemas ambientais com as disciplinas dos currículos de Engenharia, obtendo com isso 1,0 ponto. Apenas *concordando* com o pesquisador na justificativa da afirmativa 14, o estudante apresenta um pequeno resumo, em que com *alguma coerência*, identifica que no curso de Engenharia Civil o tema que diz respeito à preservação da vida no planeta “*não é muito discutido*”, obtendo assim 1,0 ponto.

d3) Por último, o estudante, tendo optado pela posição *tenho dúvidas* no que se refere à afirmativa 15, na sua justificativa, interpreta com *alguma coerência* que no curso de Engenharia Civil, os aspectos éticos, econômicos, políticos, científicos e tecnológicos que dizem respeito ao meio ambiente são analisados “*em poucas disciplinas*”, obtendo assim 0,5 ponto.

Após a análise desta categoria, constatamos que o estudante C1 na maioria das questões, apresentou um nível de concepções erradas ou desconhecimento do tema abordado.

d4) Rede sistêmica (figura 65) das concepções do grupo de controle e que dizem respeito à categoria associada aos aspectos avaliadores.

		GRUPO DE CONTROLE												
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7						
Concepções avaliadoras	Instrumentos de controle (Q 5)	Concorda Fortemente	Muita coerência											
			Alguma coerência											
			Reproduz sem muita coerência					X						
		Concorda	Muita coerência							X	X			
			Alguma coerência			X								
			Reproduz sem muita coerência											
		Tem dúvida	Muita coerência											
			Alguma coerência											
		Discorda	Sem Justificativa ou sem coerência	X	X		X							
		Ecologização disciplinar (Q 9)	Concorda Fortemente	Muita coerência		X								
				Alguma coerência										
	Reproduz sem muita coerência			X										
	Concorda		Muita coerência											
			Alguma coerência								X			
			Reproduz sem muita coerência											
	Tem dúvida		Muita coerência											
			Alguma coerência											
	Discorda		Sem Justificativa ou sem coerência		X		X		X	X				
	Gestão ambiental sistêmica (Q 13)		Concorda Fortemente	Muita coerência	X	X								
				Alguma coerência			X	X		X				
		Reproduz sem muita coerência												
		Concorda	Muita coerência							X				
Alguma coerência														
Reproduz sem muita coerência											X			
Tem dúvida		Muita coerência												
		Alguma coerência												
Discorda		Sem Justificativa ou sem coerência												
Preservação dos recursos naturais (Q 14)		Concorda Fortemente	Muita coerência						X					
			Alguma coerência											
	Reproduz sem muita coerência													
	Concorda	Muita coerência	X											
		Alguma coerência		X										
		Reproduz sem muita coerência												
	Tem dúvida	Muita coerência												
		Alguma coerência		X						X	X			
	Discorda	Sem Justificativa ou sem coerência						X						
	Aspectos políticos e sociais ligados a preservação ambiental (Q 15)	Concorda Fortemente	Muita coerência										X	
			Alguma coerência											
Reproduz sem muita coerência														
Concorda		Muita coerência								X	X			
		Alguma coerência												
		Reproduz sem muita coerência				X								
Tem dúvida		Muita coerência												
		Alguma coerência	X											
Discorda		Sem Justificativa ou sem coerência		X		X								
Avaliação de impactos ambientais (Q 18)		Concorda Fortemente	Muita coerência	X					X		X			
			Alguma coerência											
	Reproduz sem muita coerência													
	Concorda	Muita coerência												
		Alguma coerência												
		Reproduz sem muita coerência												
	Tem dúvida	Muita coerência												
		Alguma coerência												
	Discorda	Sem Justificativa ou sem coerência												
			X	X	X				X					

Figura 65 – Rede sistêmica das concepções apresentadas pelo grupo de controle que dizem respeito à categoria avaliadora das questões ambientais

Fonte: Autoria própria, 2014.

Observando as opções e as justificativas que estruturaram a rede sistêmica da figura 65, verifica-se que nas afirmativas 5, 9, 14, 15 e 18 houve comentários discordantes do pesquisador, antecipando que os estudantes possuíam concepções erradas ou desconhecimento do tema abordado. Quanto à maioria das concepções concordantes, estas

foram justificadas através da reprodução do texto ou comentários, em que o estudante não tinha certeza se a afirmativa estava correta, apresentando justificativas *com alguma coerência* em relação àquelas apresentadas pelo ensino formal, antecipando um nível de concepções que resulta de uma vaga lembrança no que diz respeito às habilidades avaliadoras dos estudantes. Quanto à opção *fortemente concordante*, esta aconteceu através do estudante C3 que, na afirmativa 9, explica a importância de trabalharmos os problemas ambientais no currículo da Engenharia Civil. Já quanto às opções concordantes, estas dizem respeito aos estudantes C6 e C7, quando estes, com *muita coerência* na afirmativa 5, ressaltam a importância da fiscalização ambiental por parte dos órgãos públicos em atividades da Engenharia Civil.

e) Concepções que dizem respeito aos conhecimentos da participação cidadã que tem por objetivo resolver os problemas ambientais e que envolveu a questão 11. Neste posicionamento e justificativa o estudante C1 obteve um total de 1,5 ponto resultante das seguintes observações.

e1) Um total de 1,5 pontos obtidos da justificativa *concordante* referente aos comentários da afirmativa 11. Neste contexto, o estudante mostrou que concordava fortemente com o pesquisador, ao optar pela letra A. Nesta justificativa, o estudante mostrou conhecimento e compreensão sobre o fenômeno discutido ao apresentar um pequeno resumo, em que, com *alguma coerência*, declara que os conteúdos programáticos dos cursos de Engenharia Civil da FURG, no que diz respeito à aproximação com os problemas enfrentados pela sociedade, acabam formando profissionais que “*em grande parte das vezes, não tem ideia da responsabilidade com o meio ambiente que o engenheiro deve ter*”.

Após analisarmos esta categoria, encontramos indícios de que necessariamente foi construída uma concepção correta a respeito do assunto discutido, existindo conhecimento e compreensão (conceitos subsunçores), capazes de evocar as informações e conteúdos necessários para discutir o assunto, possuindo também a habilidade de compreender e dar significado a temática abordada.

e2) Rede sistêmica (figura 66) das concepções do grupo de controle que dizem respeito à formação da cidadania.

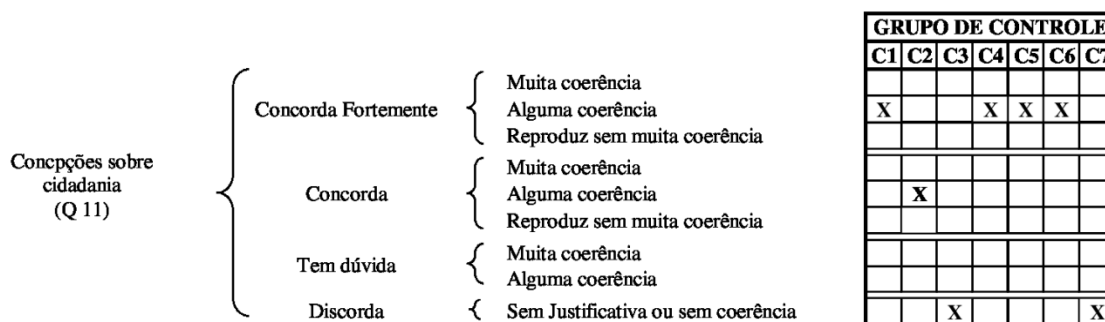


Figura 66 – Rede sistêmica das concepções apresentadas pelo grupo de controle que dizem respeito à categoria que envolve a participação cidadã

Fonte: Autoria própria, 2014.

Analisando a temática da afirmativa apresentada pela rede, podemos inferir que esta diz respeito ao entendimento que os estudantes do grupo de controle possuem a respeito da necessidade de voltar os conteúdos programáticos do curso de Engenharia Civil, para a construção da cidadania de seus discentes, fazendo com que estes possam perceber suas responsabilidades e necessidades de ação para solução dos problemas ambientais em prol da sociedade. Observando as opções e as justificativas que estruturaram a rede sistêmica da figura 66, verificou-se que na afirmativa 11, embora havendo comentários fortemente concordantes com o pesquisador através dos estudantes C1, C4, C5 e C6, nenhum apresentou justificativas *muito coerentes*. Apenas mostraram conhecimento e compreensão sobre o fenômeno discutido ao apresentar um pequeno resumo, em que, com *alguma coerência*, declaram que os conteúdos programáticos dos cursos de Engenharia Civil da FURG, no que diz respeito à aproximação com os problemas enfrentados pela sociedade, acabam formando profissionais que na sua maioria desconhecem os aspectos das questões sociais que envolvem a complexidade ambiental. No caso do estudante C2, que apresentou uma concepção concordante, esta foi justificada através da reprodução do texto ou comentários, em que o estudante não tinha certeza se a afirmativa estava correta, apresentando justificativas *com alguma coerência* em relação àquelas apresentadas pelo ensino formal, antecipando um nível de concepções que resulta de uma vaga lembrança no que diz respeito às habilidades avaliadoras dos estudantes. Já os posicionamentos dos estudantes C3 e C7 discordantes do pesquisador, anteciparam que estes estudantes possuíam concepções erradas ou desconhecimento do tema abordado.

7.2.1.1 Análise geral das redes das concepções dos estudantes e que dizem respeito às categorias que permitem atingir os objetivos da EA

No geral, as diferentes redes refletem um conhecimento fragmentado que foi adquirido informalmente, expresso por justificativas menos complexas do que aquelas apresentadas pelo ensino formal, tendo em vista que os estudantes demonstraram não possuir conhecimentos das leis mais gerais que dizem respeito à formação do engenheiro ecológico como a sensibilização, compreensão, responsabilidade, competência e cidadania ambiental. Assim entendemos que tais concepções foram provavelmente evocadas por reconhecimento ou memória atreladas ao senso comum, uma vez que este conteúdo não foi formalmente apresentado no sistema de ensino do curso de Engenharia Civil da FURG.

7.2.2 Análise quantitativa das concepções do grupo de controle (pré-teste)

Após a realização da análise qualitativa dos dados do primeiro questionário, seguindo os procedimentos previamente determinados na seção 5.2.6.5, elaboramos a análise quantitativa das justificativas e posicionamentos, bem como a apresentação dos resultados do pré-teste, orientados pelos seguintes procedimentos. Primeiramente apresentamos os gráficos (figuras 67 a 69), em que são informadas as médias dos pesos e os percentuais de acerto de cada uma das categorias dos objetivos da EA por estudante e do grupo ao qual pertence, alcançando assim o nível das concepções (critério 1). Posteriormente, observamos as tabelas 1 e 2 do apêndice 6, que informam os índices de posicionamentos (critério 2) das afirmativas. Por último, realizamos a análise quantitativa das concepções de cada estudante e do grupo ao qual pertence, combinando o critério 1 com o critério 2 que resultou no perfil das concepções de cada uma das categorias e do questionário como um todo, de acordo com as cinco possibilidades definidas na seção 5.2.6.5, lembrando que estas dizem respeito aos conhecimentos que estruturam o domínio cognitivo dos estudantes, sendo que cada uma tem como pré-requisito as anteriores. As possibilidades anteriormente citadas são as seguintes:

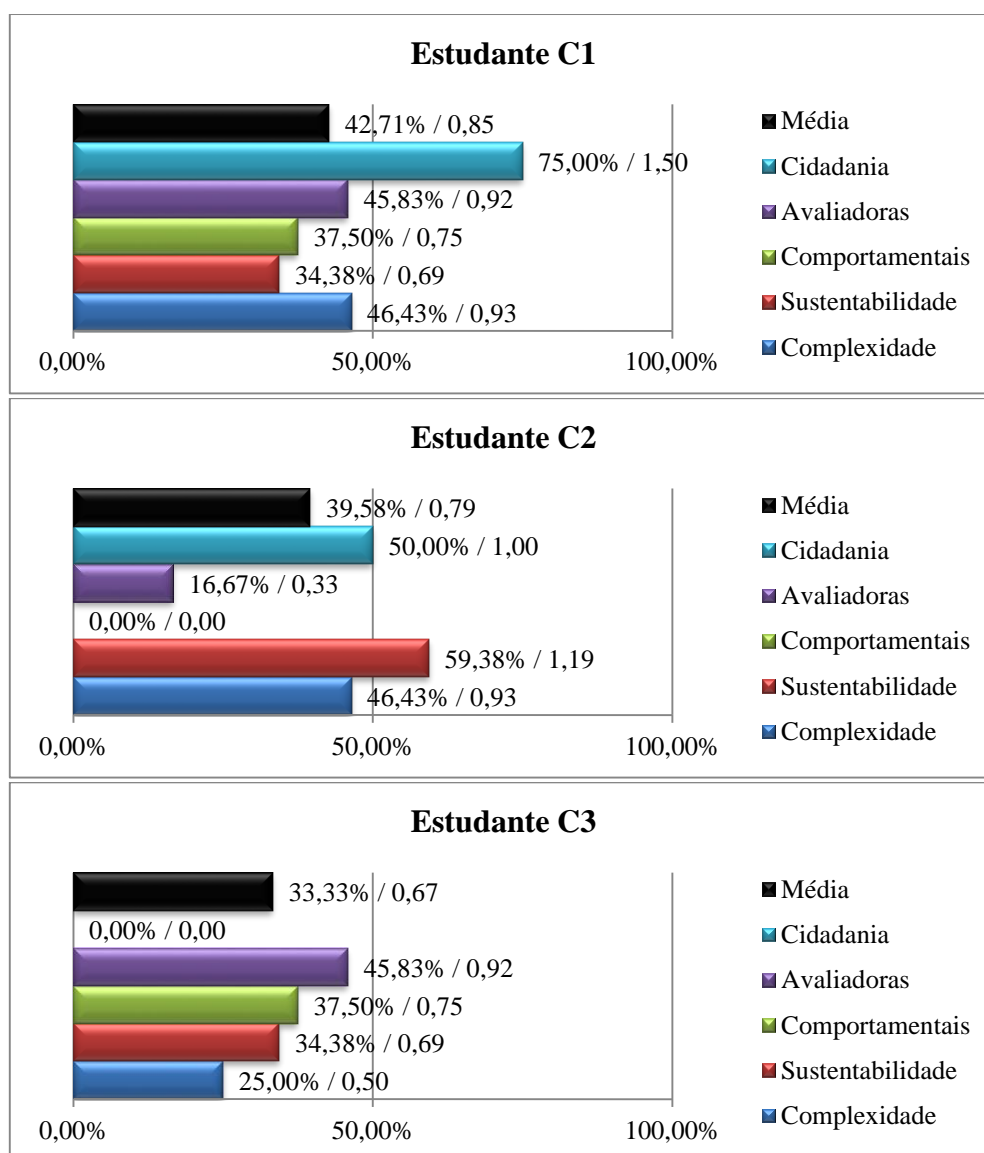
- 1- baixo, quando o nível das concepções foi baixo e o índice de posicionamento também foi baixo;
- 2- regular, quando o nível de concepções foi médio e o índice de posicionamentos foi baixo;
- 3- bom, quando o nível de concepções foi médio e o índice de posicionamentos corretos foi alto, ou quando o nível de concepções foi médio-alto e o índice de posicionamentos corretos foi baixo;

4- muito bom, se o nível de concepções foi médio-alto e o índice de posicionamentos corretos foi alto;

5- ótimo, quando o nível das concepções foi alto, o que sugere que o índice de posicionamentos corretos também foi alto.

Ao final apresentamos o gráfico da figura 68, comparativo entre as médias dos estudantes do grupo de controle, que reflete os resultados encontrados.

a) Gráficos de barras dos percentuais de concepções, bem como das médias dos pontos atribuídos às diferentes categorias (critério 1) dos estudantes do grupo de controle.



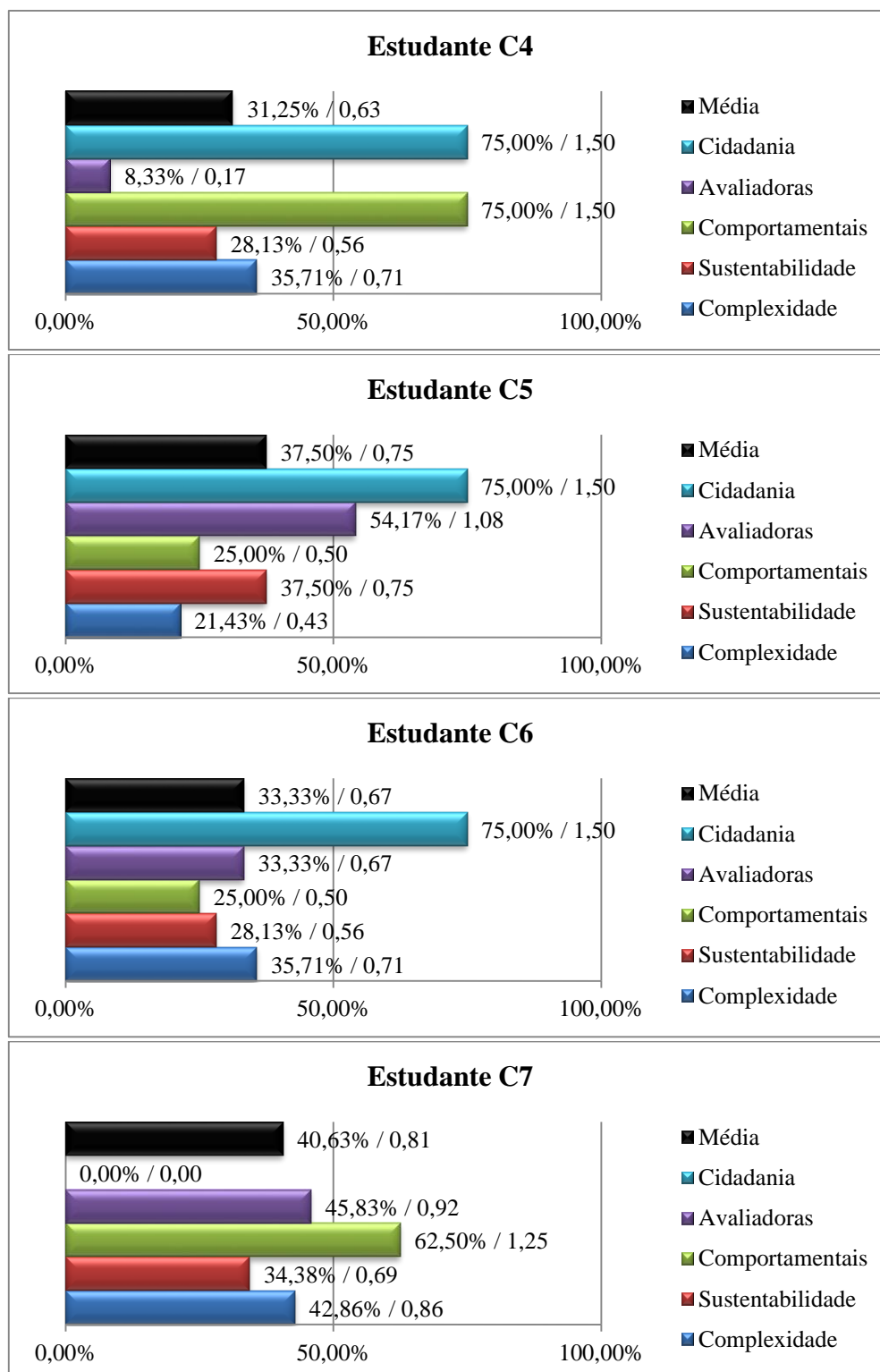


Figura 67 – Gráficos de barras dos percentuais de concepções e das médias dos pontos atribuídos às diferentes categorias dos estudantes do grupo de controle

Fonte: Autoria própria, 2014.

b) Análise quantitativa das concepções dos estudantes do grupo de controle que dizem respeito às categorias dos objetivos da EA.

Nessa situação, as observações dos gráficos acima apresentados, juntamente com a tabela 1 do apêndice 6, nos darão as informações necessárias para determinar o nível (critério 1) e os índices de posicionamentos (critério 2) que, combinados, resultarão no perfil das concepções dos estudantes e seus respectivos grupos.

1) Categoria que diz respeito aos *princípios da complexidade*

Determinando o nível das justificativas encontradas pelo critério 1, constatamos que os estudantes C1, C2, C3, C4, C6 e C7 na categoria que diz respeito à consciência que deveriam ter em relação ao meio ambiente global e aos problemas interconexos, atingiram uma média de pontos atribuídos aos posicionamentos e as justificativas de 0,93, 0,93, 0,50, 0,71, 0,71 e 0,86, o que corresponde a um nível baixo de concepções em cada uma das afirmativas analisadas. Orientado pelo critério 2, pode-se deduzir que os índices de posicionamentos foram baixos na categoria analisada e a combinação do critério 1 com o critério 2 acabou por gerar o critério final que classificou os estudantes num perfil baixo de concepções.

Por sua vez, a análise do estudante C5 destaca que, nesta categoria, o mesmo atingiu uma média de pontos de 0,43, o que corresponde a um nível de concepções erradas ou desconhecimento dos temas abordados.

2) Categoria que diz respeito aos *conceitos que fazem interface com a SD*.

Procurando determinar o nível das justificativas encontradas pelo critério 1, constatamos que os estudantes C1, C3, C4, C5, C6 e C7 na categoria que propõe a construção dos conhecimentos científicos que permitam uma melhor atuação frente aos problemas ambientais, atingiram com seus posicionamentos e justificativas, uma média de pontos de 0,69, 0,69, 0,56, 0,75, 0,56 e 0,69, o que corresponde a um nível baixo de concepções em cada uma das afirmativas analisadas. Orientado pelo critério 2, pode-se deduzir que os índices de posicionamentos foram baixos na categoria analisada e a combinação do critério 1 com o critério 2 acabou por gerar o critério final que classificou esta categorias num perfil baixo de concepções.

Quanto à análise do estudante C2, podemos inferir que o mesmo atingiu, nesta categoria, uma média de pontos igual a 1,19, o que equivale a um nível médio de concepções. Analisando os gráficos da figura 68, orientado pelo critério 2, pode-se perceber que os índices de posicionamentos foram baixos e o resultado da combinação do critério 1 com o critério 2 acabou por gerar um perfil de concepções regular.

3) Categoria que diz respeito às concepções das *questões comportamentais*.

Procurando determinar o nível das justificativas encontradas pelo critério 1, constatamos que os estudantes C1, C3, C5 e C6 na categoria que dizem respeito ao comportamento que devemos ter diante das questões ambientais, atingiram com seus posicionamentos e justificativas uma média de pontos de 0,75, 0,75, 0,5 e 0,5 respectivamente, o que corresponde a um nível baixo de concepções em cada uma das afirmativas analisadas. Orientado pelo critério 2, pôde-se deduzir que os índices de posicionamentos foram baixos e a combinação do critério 1 com o critério 2 acabou por gerar o critério final que classificou esta categoria num perfil baixo de concepções.

Quanto à análise do estudante C7, podemos inferir que o mesmo atingiu, nesta categoria, uma média de pontos igual a 1,25. Analisando os gráficos da figura 68, orientado pelo critério 2, pode-se perceber que os índices de posicionamentos foram baixos e o resultado da combinação do critério 1 com o critério 2 acabou por gerar um perfil de concepções regular.

Por sua vez o estudante C2, nesta mesma categoria, atingiu a média de 0 ponto, o que corresponde a um nível de concepções erradas ou desconhecimento dos temas abordados.

Já o estudante C4, ao apresentar uma média de pontos de 1,5, correspondente a um nível médio alto de concepções.

Orientado pelo critério 2, verificamos um nível alto de posicionamentos do grupo quanto a esta categoria e a combinação do critério 1 com o critério 2 resultou num nível bom.

4) Categoria que diz respeito às concepções avaliadoras.

Procurando determinar o nível das justificativas encontradas pelo critério 1, constatamos que os estudantes C1, C3, C6 e C7 nesta categoria que diz respeito às capacidades que devemos possuir para avaliar as medidas e os programas que procuram soluções para os problemas ambientais, atingiram com seus posicionamentos e justificativas, uma média de pontos de 0,92, 0,92, 0,67 e 0,92 respectivamente, o que corresponde a um nível baixo de concepções em cada uma das afirmativas analisadas. Orientado pelo critério 2, pode-se deduzir que os índices de posicionamentos foram baixos na categoria analisada e a combinação do critério 1 com o critério 2 acabou por gerar o critério final que classificou esta categoria num perfil baixo de concepções.

Quanto à análise do estudante C5, podemos inferir que o mesmo atingiu, nesta categoria, uma média de pontos igual a 1,08, sinalizando para um nível médio de concepções. Analisando a tabela 1 do apêndice 6, orientado pelo critério 2, podemos perceber que os

índices de posicionamentos foram baixos e o resultado da combinação do critério 1 com o critério 2 acabou por gerar um perfil de concepções regular.

Por sua vez, os estudantes C2 e C4, nesta categoria, atingiram as médias de 0,33 e 0,17 ponto, o que corresponde a um nível de concepções erradas ou desconhecimento dos temas abordados.

5) Categoria que diz respeito às concepções sobre *aspectos da cidadania*.

Procurando determinar o nível das justificativas encontradas pelo critério 1 que diz respeito à categoria que analisa a possibilidade da EA despertar nas pessoas o desejo de participar na construção de sua cidadania, constatamos que os estudantes C1, C4, C5 e C6 atingiram com seus posicionamentos e justificativas uma média de pontos de 1,5, 1,5, 1,5 e 1,5 respectivamente, o que corresponde a um nível médio alto de concepções. Orientado pelo critério 2, verificamos um nível alto de posicionamentos do grupo e a combinação do critério 1 com o critério 2 resultou num nível bom.

Quanto à análise do estudante C2, podemos inferir que o mesmo atingiu, nesta categoria, uma média de pontos igual a 1,0, o que equivale a um nível médio de concepções. Analisando a tabela 1 do apêndice 6, orientado pelo critério 2, pode-se inferir que os índices de posicionamentos foram baixos na categoria analisada e o resultado da combinação do critério 1 com o critério 2 acabou por gerar um perfil de concepções regular.

Por sua vez os estudantes C3 e C7, nesta categoria, atingiram a média de 0 ponto, o que corresponde a um nível de concepções erradas ou desconhecimento dos temas abordados.

7.2.2.1 Análise comparativa das médias dos estudantes pertencentes ao grupo de controle

Procurando determinar o perfil das concepções das afirmativas do grupo de controle, nas categorias que permitem ao estudante tomar a decisão de atingir os objetivos da EA, encontramos para os estudantes C1, C2, C3, C4, C5, C6 e C7 uma média de pontos atribuídos aos posicionamentos e as justificativas de 0,85, 0,79, 0,67, 0,63, 0,75, 0,67 e 0,81 respectivamente, o que corresponde a um nível baixo de concepções em cada um das categorias analisadas. Ao analisarmos o critério 2 pudemos perceber que os índices de posicionamentos, foram baixos nas quatro categorias analisadas e o resultado da combinação do critério 1 com o critério 2 resultou no critério final que classificou estas categorias num perfil baixo de concepções do grupo.

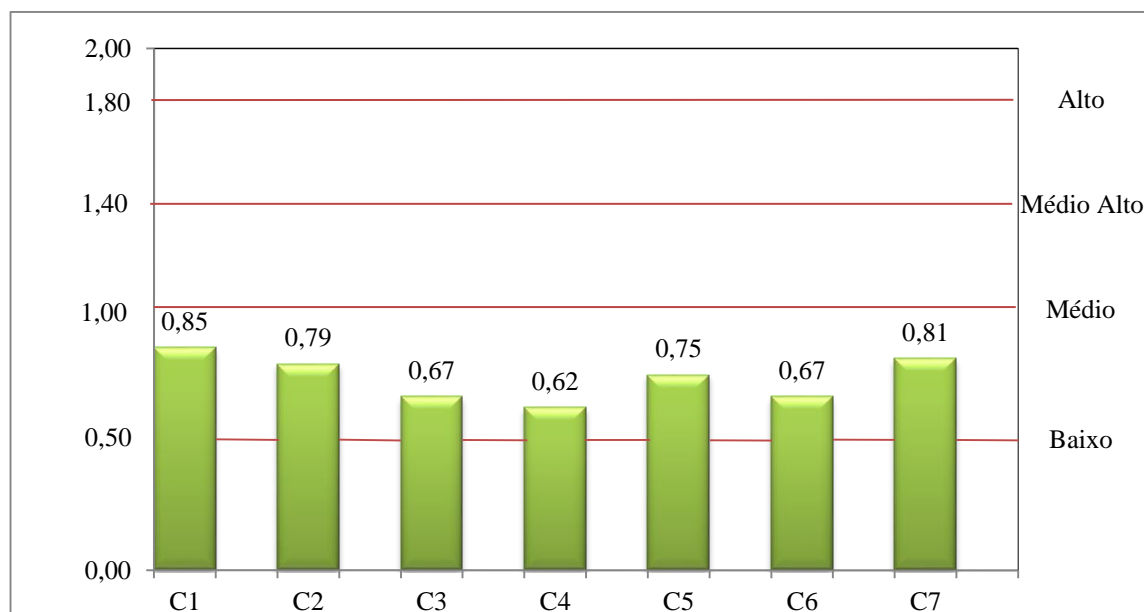


Figura 68 – Gráfico do perfil das concepções dos estudantes do grupo de controle
Fonte: Autoria própria, 2014.

7.2.2.2 Análise da média geral das concepções do grupo de controle e que dizem respeito a cada uma das categorias dos objetivos da EA

Observando o gráfico (figura 69) e procurando determinar o perfil das concepções das afirmativas do grupo de controle, nas categorias *complexidade*, *sustentabilidade*, *comportamentais e avaliadoras*, encontramos uma média de pontos atribuídos aos posicionamentos e as justificativas de 0,72, 0,73, 0,75 e 0,71 respectivamente, o que corresponde a um nível baixo de concepções em cada um das categorias analisadas. Ao analisar a tabela 1 do apêndice 6, orientados pelo critério 2, podemos perceber que os índices de posicionamentos foram baixos nas quatro categorias analisadas e o resultado da combinação do critério 1 com o critério 2 resultou no critério final que classificou estas categorias num perfil baixo de concepções do grupo.

Quanto às concepções do grupo de controle, que dizem respeito à categoria *cidadania*, os estudantes apresentaram uma média de pontos igual 1,00, o que corresponde a um nível médio de concepções. Analisando a tabela 1 do apêndice 6, orientado pelo critério 2, percebemos um nível médio de posicionamentos do grupo quanto a esta categoria e, combinando o critério 1 com o critério 2 encontramos um perfil bom nestas justificativas.

Finalmente, analisando as concepções do grupo de controle como um todo, podemos inferir que, quanto ao conhecimento das categorias que nos permitem atingir os objetivos da EA, os estudantes obtiveram uma média geral de 0,74 pontos (figura 69), o que corresponde a um nível baixo de concepções na média das categorias analisadas. Ao analisar a tabela 1 do

apêndice 6, orientado pelo critério 2, podemos perceber que os índices de posicionamentos foram baixos nas cinco categorias analisadas e, a combinação do critério 1 com o critério 2, resultou no critério final que classificou as concepções do grupo de controle, a respeito dos objetivos da EA, num perfil baixo. Sendo assim, quando o nível das concepções foi baixo e o índice de posicionamento também foi baixo; os estudantes demonstraram não ter certeza se a afirmativa estava correta, apresentando uma justificativa até certo ponto coerente que refletia uma aprendizagem mecânica e memorística, demonstrando capacidade de lembrar vagamente das informações e conteúdos e ao mesmo tempo não saber utilizá-las, estando tais concepções associadas ao senso comum adquirido pela aprendizagem informal.

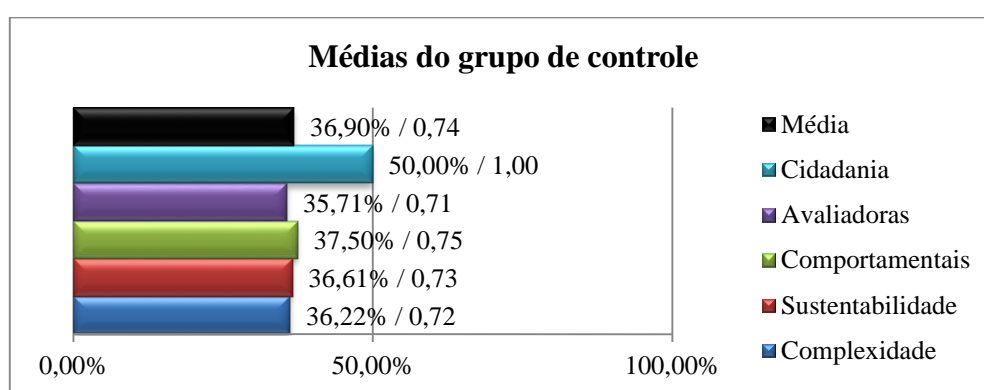


Figura 69 – Médias das categorias do grupo de controle
Fonte: Autoria própria, 2014.

7.3 Análise qualitativa e quantitativa do grupo experimental (pré-teste)

Os dados aqui apresentados e suas interpretações buscaram analisar o perfil das concepções e encontrar alguns aspectos dos modelos mentais dos estudantes antes da intervenção.

7.3.1 Análise qualitativa das opções e justificativas apresentadas pelo estudante B1 e apresentação das redes sistêmicas que sintetizam as análises do grupo experimental

A análise dos dados do grupo experimental foi realizada seguindo os procedimentos adotados para o grupo de controle. Primeiramente realizamos a análise das informações prestadas pelos estudantes do grupo experimental, seguindo os procedimentos realizados para a análise do estudante B1. Posteriormente, estas informações são apresentadas de forma sintetizada, estruturando as redes sistêmicas das figuras 70 a 74, que aparecem após a análise de cada uma das categorias dos objetivos da EA. Na sequência foram realizadas as análises

quantitativas de cada estudante, bem como a análise do grupo como um todo, de acordo com a metodologia sugerida na seção 5.2.6.5.

a) Análise das concepções que dizem respeito aos princípios da complexidade ambiental envolvendo as questões 10, 19, 20, 21, 22, 23 e 24. Nestes posicionamentos e justificativas o estudante B1 obteve um total de 4 pontos resultantes das seguintes observações.

a1) Nenhum ponto referente aos comentários discordantes e *sem muita coerência* que justificaram as afirmativas 19, 22 e 23, que dizem respeito às concepções sobre o Pensamento Sistêmico e a emergência da complexidade ambiental.

a2) Um total de 4 pontos obtidos através das justificativas concordantes que dizem respeito aos conteúdos das afirmativas 10, 20, 21 e 24. Neste contexto, o estudante mostrou que concordava fortemente com o pesquisador, ao ter optado pela letra A nas afirmativas 10 e 20, quando com *alguma coerência*, na justificativa da questão 20, apresentou um pequeno resumo sobre o princípio do círculo retroativo e recursivo, explicando que “*o homem muitas vezes destrói o meio ambiente, mas não pensa que está fazendo mal para si mesmo.*”, obtendo com essa explicação 1,50 ponto. Ainda concordando fortemente com o pesquisador na afirmativa 10 que trata da importância histórica do conhecimento exigindo que o mesmo seja revisitado, o estudante apresentou um resumo sem muita coerência dizendo que “*é difícil para um leigo resolver de maneira mais rápida os impactos negativos causados ao meio ambiente*”, obtendo nessa afirmativa 1,0 ponto.

Nas afirmativas 21 e 24, o estudante concordou com o pesquisador ao ter optado pelos posicionamentos D e B respectivamente, apresentando um pequeno resumo sobre os fenômenos envolvidos nas questões. Na afirmativa 21 o estudante, em uma justificativa *sem muita coerência*, interpreta a emergência de complexidade ambiental de uma forma equivocada afirmando que “*problemas ambientais muitas vezes tem origem*”, obtendo assim 0,5 ponto. Na questão 24 o estudante, com alguma coerência, afirma que o homem, na busca permanente do equilíbrio para se organizar em termos de sociedade, “*muitas vezes desmata, polui, apenas para sentir um melhor conforto físico*”, tendo com isso obtido 1,0 ponto.

a3) Rede sistêmica (figura 70) das concepções do grupo experimental, envolvendo os princípios da complexidade ambiental.

		GRUPO A				GRUPO B		
		A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3
Concepções sobre a complexibilidade ambiental	Princípio da reintrodução do conhecimento (Q 10)	Concorda Fortemente (A/E)	Muita coerência					
			Alguma coerência	X	X		X	
			Reproduz sem muita coerência	X			X	
		Concorda (B/D)	Muita coerência					
			Alguma coerência					X
		Tem dúvida (C)	Muita coerência					
			Alguma coerência					
		Discorda	Sem Justificativa ou sem coêrencia	X				
				X				
		Concorda Fortemente	Muita coerência					
				Alguma coerência	X	X		X
				Reproduz sem muita coerência				
		Concorda	Muita coerência					
				Alguma coerência		X		
				Reproduz sem muita coerência				
		Tem dúvida	Muita coerência					
				Alguma coerência				
				Sem Justificativa ou sem coêrencia			X	X
		Concorda Fortemente	Muita coerência					
				Alguma coerência		X		X
				Reproduz sem muita coerência				
					X			
		Concorda	Muita coerência					
			Alguma coerência	X	X		X	
			Reproduz sem muita coerência					
				X				
	Tem dúvida	Muita coerência						
			Alguma coerência					
			Sem Justificativa ou sem coêrencia					
	Discorda	Muita coerência						
			Alguma coerência					
			Reproduz sem muita coerência					
				X				
	Concorda Fortemente	Muita coerência						
			Alguma coerência					
			Reproduz sem muita coerência		X			
				X				
	Concorda	Muita coerência						
			Alguma coerência		X			
			Reproduz sem muita coerência					
				X			X	
	Tem dúvida	Muita coerência						
			Alguma coerência					
			Sem Justificativa ou sem coêrencia			X		
				X				
	Discorda	Muita coerência						
			Alguma coerência					
			Reproduz sem muita coerência					
				X				
	Concorda Fortemente	Muita coerência						
			Alguma coerência					
			Reproduz sem muita coerência					
				X				
	Concorda	Muita coerência						
			Alguma coerência		X			
			Reproduz sem muita coerência					
				X			X	
	Tem dúvida	Muita coerência						
			Alguma coerência					
			Sem Justificativa ou sem coêrencia			X	X	
				X	X			
	Discorda	Muita coerência						
			Alguma coerência					
			Reproduz sem muita coerência		X			
				X			X	
	Concorda Fortemente	Muita coerência						
			Alguma coerência					
			Reproduz sem muita coerência					
				X				
	Concorda	Muita coerência						
			Alguma coerência					
			Reproduz sem muita coerência		X			
				X			X	
	Tem dúvida	Muita coerência						
			Alguma coerência					
			Sem Justificativa ou sem coêrencia			X		
				X				
	Discorda	Muita coerência						
			Alguma coerência					
			Reproduz sem muita coerência					
				X				
	Concorda Fortemente	Muita coerência						
			Alguma coerência					
			Reproduz sem muita coerência					
				X				
	Concorda	Muita coerência						
			Alguma coerência					
			Reproduz sem muita coerência					
				X	X		X	
	Tem dúvida	Muita coerência						
			Alguma coerência					
			Sem Justificativa ou sem coêrencia			X		
				X				
	Discorda	Muita coerência						
			Alguma coerência					
			Reproduz sem muita coerência					
				X	X			

Figura 70 – Rede sistêmica das concepções apresentadas pelo grupo experimental que dizem respeito à categoria que envolve os princípios da complexidade
 Fonte: Autoria própria, 2014.

Observando as opções e justificativas que estruturaram a rede sistêmica da figura 70, verificou-se que nas afirmativas 10, 19, 21, 22, 23 e 24 houve comentários discordantes do pesquisador, que correspondem a concepções erradas ou desconhecimento do assunto discutido. Quanto à maioria das concepções concordantes, estas foram justificadas através da reprodução do texto ou comentários, em que o estudante não tinha certeza se a afirmativa estava correta, apresentando justificativas com *alguma coerência* em relação às aquelas apresentadas pelo ensino formal, antecipando um nível de concepções que resulta de uma vaga lembrança no que diz respeito às habilidades avaliadoras dos estudantes. Quanto às opções fortemente concordantes, ocorreu apenas uma, na afirmativa 19, em que o estudante A1 demonstrou possuir concepções corretas e muito coerentes a respeito do princípio holográfico da complexidade.

b) Concepções que dizem respeito aos conceitos científicos que possuem interface com a SD e que envolveram as questões 2, 3, 4, 7, 8, 12, 16 e 17. Nestes posicionamentos e justificativas o estudante B1 obteve um total de 5 pontos resultantes das seguintes observações.

b1) Nenhum ponto referente à falta de justificativa e também aos comentários discordantes e *sem muita coerência* das afirmativas 4, 7 e 12 que alertam para os efeitos nocivos do atual MDE no que diz respeito às questões que envolvem a educação e o meio ambiente.

b2) Um total de 5 pontos obtidos das justificativas concordantes referentes aos conteúdos das afirmativas 2, 3, 8, 16 e 17. Neste contexto, o estudante mostrou que concordava com o pesquisador, ao optar pela letra D, B, B, D e B respectivamente. Na justificativa 17 o estudante concordando com o pesquisador apresenta um pequeno resumo a respeito das consequências da geração de energia elétrica com combustíveis fósseis, em que com *muita coerência* afirma que “*afeta todos os ambientes pois poluímos o meio aquático e terrestre também*”, obtendo com isso 1,5 ponto. Nas justificativas 2, 8, e 16 o estudante, apresenta *com alguma coerência*, um pequeno resumo sobre cada fenômeno discutido. Na questão 2, afirmando que a massa não pode ser criada nem destruída e sim reciclada, o estudante defende que “*devíamos nos preocupar mais com isso para evitar que retiramos matéria prima de forma desnecessária pois poderia haver reciclagem*”, obtendo com essa justificativa 1 ponto. Na justificativa 8, na qual entendemos que o incentivo à produção e ao consumo promove a exploração dos recursos naturais, o estudante defende que “*devido a produção e consumo utiliza-se cada vez mais recursos portanto desestabilizando o ecossistema*”, obtendo com isso 1 ponto. Na justificativa da afirmativa 16, o estudante apresenta um pequeno resumo, quando, com alguma coerência, entende que o despreparo das instituições governamentais, associado a uma classe política não-atuante, encaminha um sistema

educacional inoperante, dizendo que se houvesse *“uma melhor educação desde a base, certamente teríamos mais pessoas preocupadas com o meio ambiente”*, recebendo por isso 1,5 ponto. Por último, embora o estudante concordasse com o pesquisador na afirmativa 3 que associa os princípios da 2ª Lei da Termodinâmica com os avanços da tecnologia e com os problemas advindos desse progresso, apresenta um pequeno resumo onde, *sem muita coerência* defende que *“a população cresce num ritmo mais elevado que a produção de alimentos no entanto deveríamos analisar cuidadosamente os impactos negativos para que não haja um colapso futuramente”*, recebendo 0,5 ponto pela justificativa.

b3) Rede sistêmica (figura 71) das concepções do grupo experimental e que dizem respeito aos conhecimentos científicos que fazem interface com o conhecimento da SD.

Observando as opções e as justificativas que estruturaram a rede sistêmica da figura 71, verificou-se que nas afirmativas 4, 7, 8, 12, 16 e 17 houve comentários discordantes do pesquisador, que correspondem a concepções erradas ou desconhecimento do assunto discutido. Quanto à maioria das concepções concordantes, estas foram justificadas com alguma coerência através da reprodução do texto ou comentários, em que o estudante não tinha certeza se a afirmativa estava correta, antecipando um nível de concepções que resulta de uma vaga lembrança no que diz respeito aos conceitos que fazem interface com a SD.

Quanto às opções fortemente concordantes, em que os estudantes demonstraram, *com muita coerência*, possuir concepções corretas a respeito do assunto, estas ocorreram através dos estudantes A2, A3 e A4, na afirmativa 2 onde explicam a capacidade do meio ambiente de reciclar e absorver resíduos, na afirmativa 16 onde o estudante B2 disserta sobre a necessidade da conscientização para os aumentos dos impactos ambientais resultantes do atual MDE que incentiva o pouco investimento em educação e também através dos estudantes A3 e B3 que na afirmativa 17, alertam para os impactos ambientais causados pela geração de energia elétrica com utilização de combustíveis fósseis.

c) Concepções a respeito dos comportamentos que devemos ter frente as questões ambientais e que envolveram as questões 1 e 6. Nestes posicionamentos e justificativas o estudante B1 obteve um total de 2,0 pontos resultantes das seguintes observações.

c1) Um total de 2 pontos obtidos das justificativas concordantes referentes aos conteúdos das afirmativas 1 e 6. Neste contexto, o estudante mostrou que concordava fortemente com o pesquisador, ao optar pelas letras E e A respectivamente. Na justificativa da afirmativa 1 que aborda os aspectos éticos e da solidariedade no que diz respeito às questões do meio ambiente, o estudante apresenta um pequeno resumo *sem muita coerência*, em que, reproduz o texto da afirmativa dizendo que “*se não cuidarmos dos nossos recursos certamente isto acarretara prejuízo para as próximas gerações*”, obtendo com isso 1,0 ponto. Ainda apresentando uma justificativa *sem muita coerência* reproduzindo o texto na afirmativa 6 que trata da qualidade da experiência humana e sua relação com o sistema produtivo e o lucro, o estudante afirma que “*vivemos numa sociedade onde em tudo se vê um forma de obter lucro*”, obtendo 1,0 ponto.

c2) Rede sistêmica (figura 72) das concepções do grupo experimental composto pelos grupos A e B e que dizem respeito aos aspectos comportamentais.

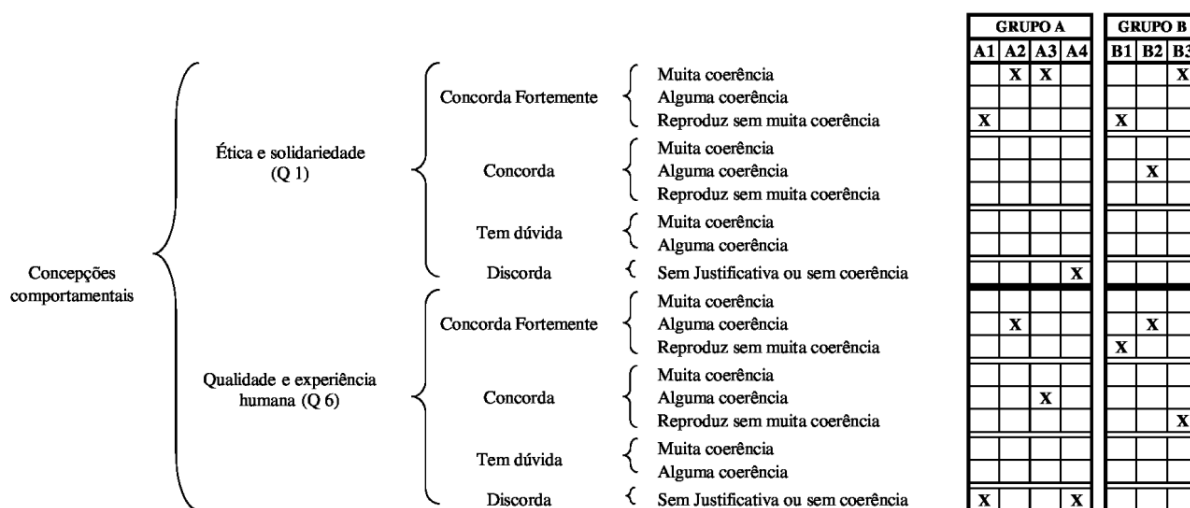


Figura 72 – Rede sistêmica das concepções apresentadas pelo grupo experimental que dizem respeito à categoria comportamental
 Fonte: Autoria própria, 2014.

Observando as opções e as justificativas que estruturaram a rede sistêmica da figura 72, verificou-se que nas afirmativas 1 e 6 houve comentários discordantes do pesquisador, que correspondem a concepções erradas ou desconhecimento do assunto discutido. Quanto à maioria das concepções concordantes, estas foram justificadas através da reprodução do texto ou comentários, em que o estudante não tinha certeza se a afirmativa estava correta, apresentando justificativas *com alguma coerência* em relação àquelas apresentadas pelo ensino formal, antecipando um nível de concepções que resulta de uma vaga lembrança dos conteúdos que dizem respeito ao questionário. Quanto às opções fortemente concordantes, onde os estudantes demonstraram possuir concepções corretas a respeito do assunto, estas ocorreram apenas na afirmativa 1, na qual os estudantes A2, A3 e B3 apresentaram uma definição adequada da SD, ressaltando a importância dos aspectos éticos e solidários que devemos ter para com as necessidades das gerações futuras ao refletirmos sobre as consequências ambientais dos nossos atos.

d) Concepções a respeito dos conhecimentos que nos permitem avaliar os problemas ambientais e que envolveram as questões 5, 9, 13, 14, 15 e 18. Nestes posicionamentos e justificativas o estudante B1 obteve um total de 4,5 pontos resultantes das seguintes observações.

d1) Nenhum ponto referente aos comentários equivocados e sem muita coerência apresentados nas afirmativas 5, 14 e 18 que dizem respeito às soluções dos problemas de engenharia e seus envolvimento com os aspectos da economia, da geração de energia e das questões ambientais.

d2) Um total de 4,5 pontos obtidos das justificativas concordantes referentes aos conteúdos das afirmativas 9, 13 e 15. Neste contexto, o estudante B1 mostrou que *concordava fortemente* com o pesquisador, ao optar pela letra E, na afirmativa 9 apresentando em sua justificativa um resumo onde, *com alguma coerência*, prevê que a EA auxilia na gestão das atividades do engenheiro civil afirmando que “*se tivéssemos um maior conhecimento na área, poderíamos buscar meios de diminuir ao máximo esses dois problemas*”, obtendo nesta questão 1,5 ponto. Apenas concordando com o pesquisador, nas justificativas da afirmativa 13 e 15, o estudante optou pelas letras B e D respectivamente. Na questão 13 apresenta um pequeno resumo, em que, *com muita coerência*, justifica que o engenheiro deve ser educado ambientalmente, pois “*o engenheiro é o profissional que transforma o meio*”, obtendo assim 1,5 pontos. Na afirmativa 15, em onde entendemos que os aspectos éticos, políticos e sociais deveriam ser, mas não são abordados no curso de Engenharia Civil, o estudante interpreta *com muita coerência* que “*de uma forma específica não, esses temas são tratados de forma aleatória dentro das disciplinas*”, recebendo por esta afirmativa 1,5 ponto.

d3) Rede sistêmica (figura 73) das concepções do grupo experimental e que dizem respeito à categoria associada aos aspectos avaliadores.

		GRUPO A				GRUPO B		
		A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3
Concepções avaliadoras	Instrumentos de controle (Q 5)	Concorda Fortemente	Muita coerência	X				
			Alguma coerência					
			Reproduz sem muita coerência					
		Concorda	Muita coerência					X
		Alguma coerência				X		
		Reproduz sem muita coerência		X				
	Tem dúvida	Muita coerência						
		Alguma coerência						
	Discorda	Sem Justificativa ou sem coerência			X	X		
	Ecologização disciplinar (Q 9)	Concorda Fortemente	Muita coerência	X				X
			Alguma coerência			X		
			Reproduz sem muita coerência					
		Concorda	Muita coerência					X
		Alguma coerência						
		Reproduz sem muita coerência	X					
	Tem dúvida	Muita coerência						
		Alguma coerência						
	Discorda	Sem Justificativa ou sem coerência			X			
	Gestão ambiental sistêmica (Q 13)	Concorda Fortemente	Muita coerência	X	X			
			Alguma coerência					
		Reproduz sem muita coerência			X			
Concorda		Muita coerência			X		X	
	Alguma coerência							
	Reproduz sem muita coerência							
Tem dúvida	Muita coerência							
	Alguma coerência							
Discorda	Sem Justificativa ou sem coerência					X		
Preservação dos recursos naturais (Q 14)	Concorda Fortemente	Muita coerência						
		Alguma coerência					X	
		Reproduz sem muita coerência						
	Concorda	Muita coerência						
	Alguma coerência	X		X				
	Reproduz sem muita coerência							
Tem dúvida	Muita coerência							
	Alguma coerência			X				
Discorda	Sem Justificativa ou sem coerência	X				X		
Aspectos políticos e sociais ligados a preservação ambiental (Q 15)	Concorda Fortemente	Muita coerência						
		Alguma coerência						
		Reproduz sem muita coerência						
	Concorda	Muita coerência				X		
	Alguma coerência					X		
	Reproduz sem muita coerência							
Tem dúvida	Muita coerência							
	Alguma coerência	X		X				
Discorda	Sem Justificativa ou sem coerência	X	X			X		
Avaliação de impactos ambientais (Q 18)	Concorda Fortemente	Muita coerência						
		Alguma coerência					X	
		Reproduz sem muita coerência			X			
	Concorda	Muita coerência	X	X				
	Alguma coerência					X		
	Reproduz sem muita coerência							
Tem dúvida	Muita coerência							
	Alguma coerência							
Discorda	Sem Justificativa ou sem coerência			X				

Figura 73 – Rede sistêmica das concepções apresentadas pelo grupo experimental que dizem respeito à categoria avaliadora das questões ambientais

Fonte: Autoria própria, 2014.

Observando as opções e as justificativas que estruturaram a rede sistêmica da figura 73, verificou-se que nas afirmativas 5, 9, 13, 14, 15 e 18 houve comentários discordantes do pesquisador, que correspondem a concepções erradas ou desconhecimento do assunto discutido. Quanto à maioria das concepções concordantes, estas foram justificadas através da

reprodução do texto ou comentários, em que o estudante não tinha certeza se a afirmativa estava correta, apresentando justificativas *com alguma coerência* em relação àqueles apresentados pelo ensino formal, antecipando um nível de concepções que resulta de uma vaga lembrança no que diz respeito às habilidades avaliadoras dos estudantes. Quanto às opções fortemente concordantes que foram apresentadas *com muita coerência* estas ocorreram apenas nas afirmativas 5 e 9. Na afirmativa 5 o estudante A1 reconhece *com muita coerência*, a importância da fiscalização ambiental por parte dos órgãos públicos para que a prática da engenharia aconteça associada aos processo de GAS. Por sua vez na afirmativa 9 os estudantes A1 e B2, *com muita coerência* reforçam a necessidade de trabalharmos os problemas ambientais no currículo da Engenharia Civil.

e) Concepções que dizem respeito aos conhecimentos da participação cidadã que tem por objetivo resolver os problemas ambientais e que envolveu a questão 11. Neste posicionamento e justificativa o estudante B1 obteve um total de 1,0 ponto resultante da seguinte observação.

e1) Um total de 1,0 ponto obtido da justificativa concordante referente aos conteúdos apresentados na afirmativa 11, mostrando que concordava com o pesquisador, ao optar pela letra B. Nesta justificativa, o estudante apresenta uma justificativa, onde reproduz o texto que reconhece a dificuldade com que os conteúdos programáticos dos cursos de Eng. Civil da FURG trabalham os problemas enfrentados pela sociedade, interpretando que “*deveria haver uma maneira para que pudéssemos nos aproximar desses problemas durante o curso para que quando profissional da área buscássemos soluções...*”, recebendo 1,0 ponto nesta afirmativa.

e2) Rede sistêmica (figura 74) das concepções do grupo experimental que dizem respeito à formação da cidadania.

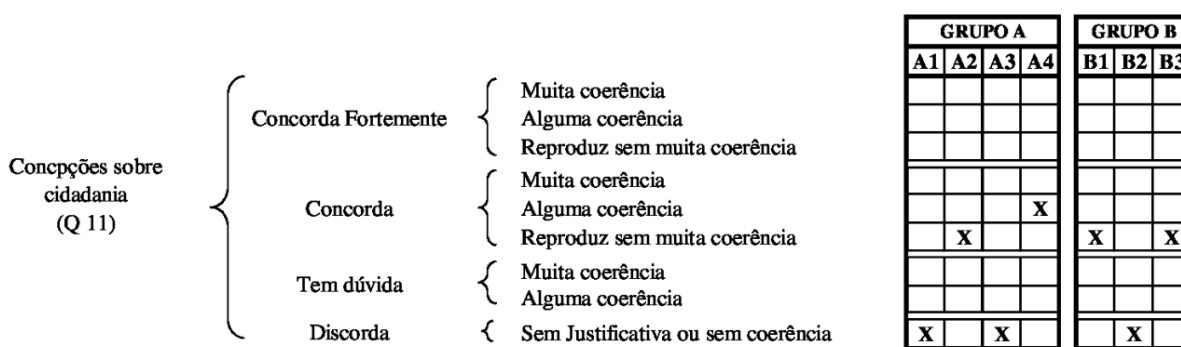


Figura 74 – Rede sistêmica das concepções apresentadas pelo grupo experimental que dizem respeito à categoria que envolve a participação cidadã

Fonte: Autoria própria, 2014.

Analisando a rede da figura 74, podemos inferir que esta diz respeito ao entendimento que os estudantes do grupo de experimental deveriam possuir a respeito da necessidade de voltar os conteúdos programáticos do curso de Engenharia Civil, para a construção da cidadania de seus discentes, fazendo com que estes possam perceber suas responsabilidades e necessidades de ação para solução dos problemas ambientais em prol da sociedade. Observando as opções e as justificativas que estruturaram a rede, verifica-se que na afirmativa 11 houve comentários discordantes do pesquisador, antecipando que estes estudantes possuíam concepções erradas ou desconhecimento do tema abordado. Quanto a maioria das concepções concordantes, estas foram justificadas através da reprodução do texto ou comentários, onde os estudantes não tinham certeza se a afirmativa estava correta, apresentando justificativas *com alguma coerência* em relação àqueles apresentados pelo ensino formal, antecipando um nível de concepções que resulta de uma vaga lembrança no que diz respeito às suas habilidades avaliadoras.

7.3.1.1 Análise geral das redes das concepções dos estudantes e que dizem respeito às categorias que permitem atingir os objetivos da EA

No geral, como ocorreu com as redes sistêmicas elaboradas para os estudantes do grupo de controle, cada uma das diferentes redes reflete um conhecimento fragmentado que foi adquirido informalmente e expresso por justificativas menos complexas do que aquelas apresentadas pelo ensino formal, uma vez que os estudantes demonstraram não possuir conhecimentos das leis mais gerais que dizem respeito às categorias que formam o engenheiro ecológico como a sensibilização, compreensão, responsabilidade, competência e cidadania ambiental. Assim entendemos que tais concepções foram provavelmente evocadas por reconhecimento ou memória atreladas ao senso comum, tendo em vista que estes conteúdos não foram formalmente apresentados no sistema de ensino do curso de Engenharia Civil.

7.3.2 Análise quantitativa individual e dos grupos experimentais A e B (pré-teste)

Após a realização da análise qualitativa dos dados do primeiro questionário, seguindo os procedimentos previamente determinados na seção 5.2.6.5, tal qual para o grupo de controle, elaboramos para o grupo experimental a análise quantitativa dos dados e a apresentação dos resultados do pré-teste, orientado pelos seguintes procedimentos. Primeiramente apresentamos os gráficos (figuras 75 a 77), onde estão registrados os pesos e os percentuais de acerto de cada uma das justificativas, a média por questão e por categoria de

cada estudante e do grupo ao qual pertence. Posteriormente foi realizada, utilizando a tabela 1 do apêndice 6, a análise quantitativa das concepções de cada estudante e do grupo experimental como um todo a respeito de cada uma das categorias dos objetivos da EA. Finalmente apresentamos o gráfico comparativo (figura 78) entre as médias dos estudantes do grupo experimental.

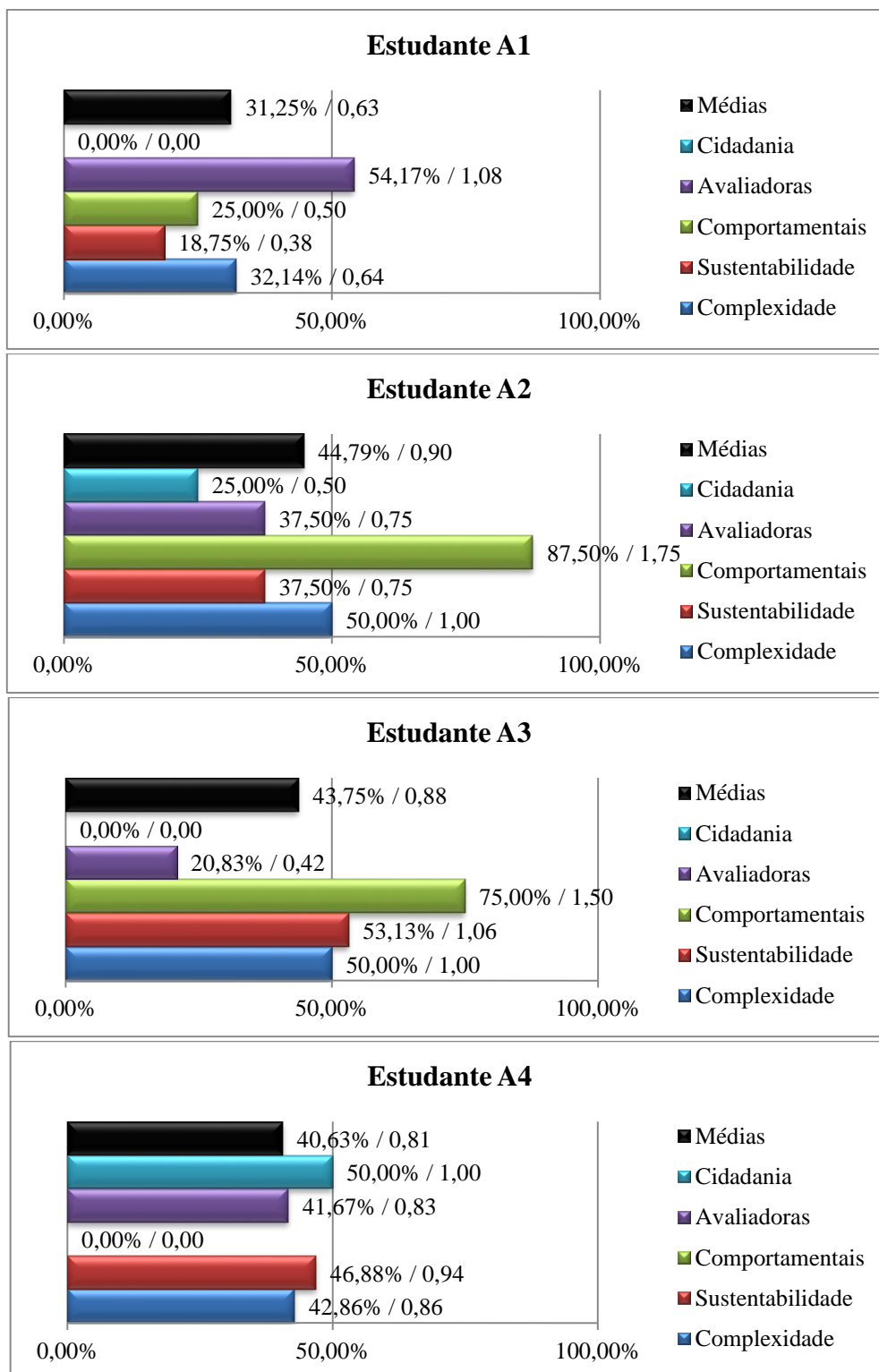
7.3.2.1 Análise quantitativa dos dados informados pelos estudantes do grupo experimental quando da realização do pré-teste

Após a realização da análise qualitativa dos dados do primeiro questionário, seguindo os procedimentos previamente determinados na seção 5.2.6.5, elaboramos para o grupo experimental a análise quantitativa das justificativas e posicionamentos, bem como a apresentação dos resultados do pré-teste, orientados pelos seguintes procedimentos. Primeiramente analisamos os gráficos (figuras 75 a 77), em que são informadas as médias dos pesos e os percentuais de acerto de cada uma das categorias dos objetivos da EA por estudante e do grupo ao qual pertence, alcançando assim o nível das concepções (critério 1). Posteriormente, observamos a tabela 2 do apêndice 6, que informa os índices de posicionamentos (critério 2) das afirmativas. Por último, realizamos a análise quantitativa das concepções de cada estudante e do grupo ao qual pertence, combinando o critério 1 com o critério 2 que resultou no perfil das concepções de cada uma das categorias e do questionário como um todo, de acordo com as cinco possibilidades definidas na seção 5.2.6.5, lembrando que estas dizem respeito aos conhecimentos que estruturam o domínio cognitivo dos estudantes, sendo que cada uma tem como pré-requisito as anteriores. As possibilidades anteriormente citadas são as seguintes:

- 1- baixo, quando o nível das concepções foi baixo e o índice de posicionamento também foi baixo;
- 2- regular, quando o nível de concepções foi médio e o índice de posicionamentos foi baixo;
- 3- bom, quando o nível de concepções foi médio e o índice de posicionamentos corretos foi alto, ou quando o nível de concepções foi médio-alto e o índice de posicionamentos corretos foi baixo;
- 4- muito bom, se o nível de concepções foi médio-alto e o índice de posicionamentos corretos foi alto;
- 5- ótimo, quando o nível das concepções foi alto, o que sugere que o índice de posicionamentos corretos também foi alto.

Ao final apresentamos o gráfico (figura 78) comparativo entre as médias dos estudantes do grupo de controle que reflete os resultados encontrados.

a) Gráficos de barras dos percentuais de concepções bem como as médias dos pontos atribuídos as diferentes categorias (critério 1) dos estudantes do grupo experimental.



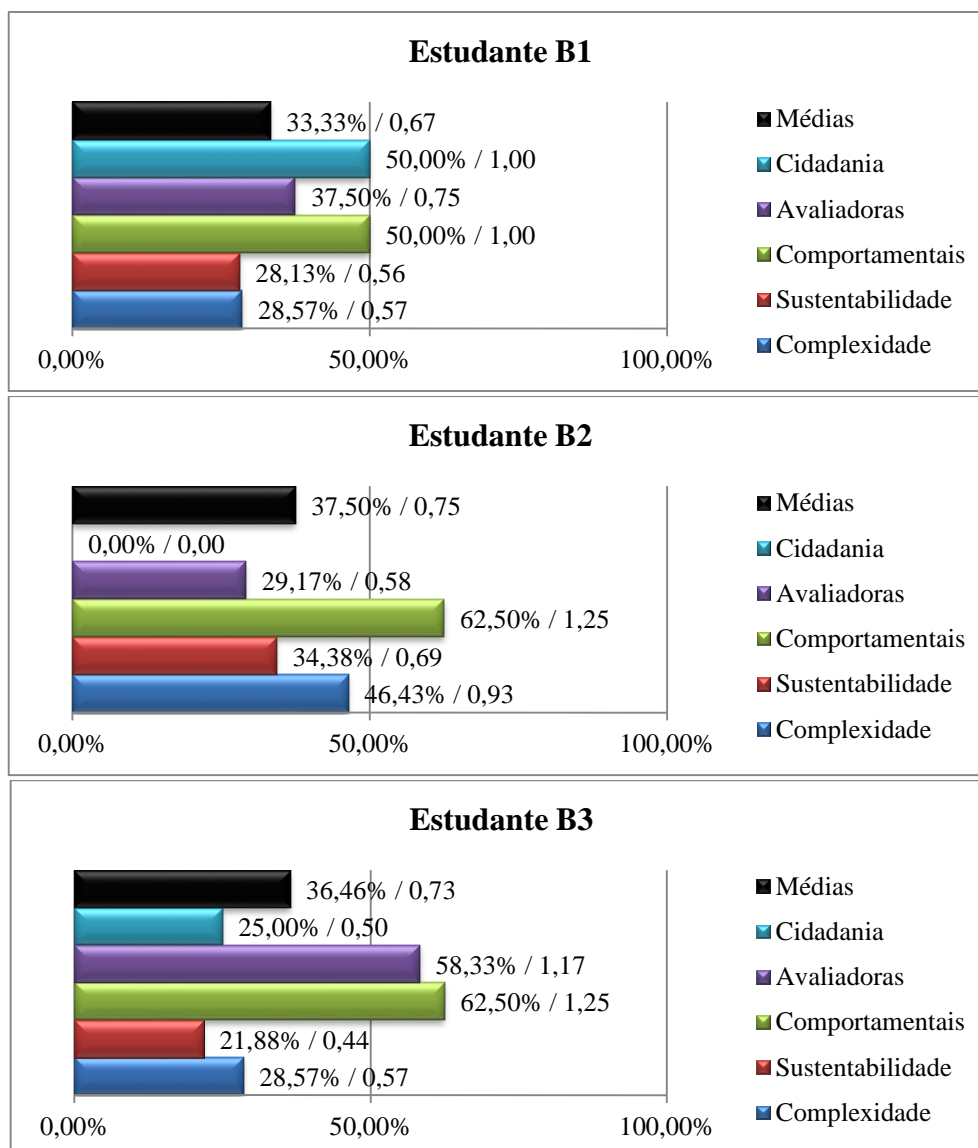


Figura 75 – Gráficos de barras dos percentuais e das médias dos pontos atribuídos às diferentes categorias dos estudantes do grupo experimental

Fonte: Autoria própria, 2014.

Os gráficos acima apresentados, juntamente com a tabela 2 do apêndice 6, trarão as informações necessárias para determinar o nível (critério 1), os índices de posicionamentos (critério 2) que, combinados, resultarão no perfil das concepções dos estudantes e seus respectivos grupos.

1) Análise quantitativa da categoria que diz respeito aos princípios da complexidade

Procurando determinar o nível das justificativas encontradas pelo critério 1, constatamos que na categoria que diz respeito à consciência que devemos ter quanto ao meio ambiente global e dos problemas a ele conectados, os estudantes A1, A4, B1, B2 e B3 atingiram uma média de pontos atribuídos aos posicionamentos e as justificativas de 0,64,

0,86, 0,57, 0,93 e 0,57 respectivamente, o que corresponde a um nível baixo de concepções nas afirmativas analisadas. Ao analisarmos o critério 2, pudemos inferir que os índices de posicionamentos foram baixos e o resultado da combinação do critério 1 com o critério 2 acabou por gerar o critério final que classificou esta categoria num perfil baixo de concepções o qual está associado ao conhecimento senso comum adquirido pela aprendizagem informal.

Quanto à análise das concepções dos estudantes A2 e A3, estes atingiram a média de 1,0 ponto, o que corresponde a um nível médio de concepções. Ao analisar a tabela 2 do apêndice 6, orientado pelo critério 2, pudemos perceber que os índices de posicionamentos foram baixos e o resultado da combinação do critério 1 com o critério 2 acabou por gerar um perfil de concepções regular.

2) Análise quantitativa da categoria que diz respeito aos conhecimentos que fazem interface com a SD

Procurando determinar o nível das justificativas encontradas através do critério 1, constatamos que, quanto a construção dos conhecimentos científicos que nos permitem ter uma melhor atuação frente aos problemas ambientais, os estudantes A2, A4, B1 e B2 atingiram uma média atribuída aos posicionamentos e as justificativas de 0,75, 0,94, 0,56 e 0,69 pontos respectivamente, o que corresponde a um nível baixo de concepções em cada um das afirmativas analisadas. Orientado pelo critério 2, pode-se perceber que os índices de posicionamentos foram baixos e o resultado da combinação do critério 1 com o critério 2 acabou por gerar o critério final que classificou estas categorias num perfil baixo de concepções.

Quanto à análise das concepções do estudante A3, estes atingiram uma média de 1,00 ponto, correspondendo a um nível médio de concepções. Ao analisar a tabela 2 do apêndice 6, orientado pelo critério 2, pode-se inferir que os índices de posicionamentos foram baixos e o resultado da combinação do critério 1 com o critério 2 acabou por gerar um perfil de concepções regular.

Por sua vez, os estudantes A1 e B3 atingiram a média de 0,38 e 0,44 pontos respectivamente, o que corresponde a um nível de concepções erradas ou desconhecimento dos temas abordados.

3) Análises quantitativas da categoria que diz respeito aos aspectos comportamentais.

Procurando determinar o nível das justificativas encontradas através do critério 1, constatamos que na categoria que diz respeito ao comportamento que devemos ter quanto as questões ambientais, os estudantes B1 e B2 atingiram uma média de 1,0 e 1,25 ponto atribuídos ao posicionamento e à justificativa, que corresponde a um nível médio de

concepções. Orientado pelo critério 2, pudemos perceber que os índices de posicionamentos foram baixos e o resultado da combinação do critério 1 com o critério 2 acabou por gerar um perfil de concepções regular.

Por sua vez, o estudante A1 ao alcançar a média de 0,50 ponto, atingiu um nível de concepção baixo. Ao analisarmos a tabela 2 do apêndice 6, orientado pelo critério 2, pudemos perceber que os índices de posicionamentos foram baixos e o resultado da combinação do critério 1 com o critério 2 acabou por gerar um perfil de concepções baixo.

Já os estudantes A2, A3 e B3, alcançaram as médias de pontos de 1,75 1,50 e 1,25 respectivamente, que correspondem a um nível médio alto de concepções. Analisando a tabela 2 do apêndice 6, orientados pelo critério 2, percebemos um nível alto de posicionamentos do grupo e a combinação do critério 1 com o critério 2 resultou num nível bom dessa categoria, indicando um conhecimento que associamos a uma concepção alternativa. Por sua vez o estudante A4, nesta categoria, atingiu a média de 0 ponto, o que corresponde a um nível de concepções erradas ou desconhecimento dos temas abordados.

4) Análises quantitativas da categoria que diz respeito aos aspectos avaliadores

Procurando determinar o nível das justificativas encontradas pelo critério 1, constatamos que na categoria que diz respeito às capacidades para avaliar as medidas e os programas relacionados ao meio ambiente, os estudantes A2, A4, B1 e B2 atingiram a média de pontos de 0,75, 0,83, 0,75 e 0,58 respectivamente, o que corresponde a um nível baixo de concepções em cada uma das afirmativas. Orientado pelo critério 2, pode-se perceber que os índices de posicionamentos foram baixos e o resultado da combinação do critério 1 com o critério 2 acabou por gerar o critério final que classificou essa categoria num perfil baixo de concepções.

Analisando os dados quantitativos dos estudantes A1 e B3 podemos inferir que os mesmos atingiram nesta categoria, uma média de pontos igual a 1,08 e 1,17 respectivamente, o equivalente a um nível médio de concepções. Orientado pelo critério 2, pudemos perceber que os índices de posicionamentos foram baixos e o resultado da combinação do critério 1 com o critério 2 acabou por gerar um perfil de concepções regular. Por sua vez o estudante A3, atingiu a média de 0,42 ponto, o que corresponde a um nível de concepções erradas ou desconhecimento dos temas abordados.

5) Análises quantitativas da categoria que diz respeito aos aspectos da cidadania

Procurando determinar o nível das justificativas encontradas de acordo com o critério 1 constatamos que na categoria que procura verificar como entendemos a possibilidade da EA de participar de nossa cidadania, os estudantes A1, A3 e B2 atingiram a média de 0,0 ponto, o que corresponde a um nível de concepções erradas ou desconhecimento dos temas abordados.

Já os estudantes A2 e B3 alcançaram nessa categoria uma média de 0,5 ponto, que corresponde a um nível baixo de concepções em cada uma das afirmativas. Orientado pelo critério 2, pudemos perceber que os índices de posicionamentos foram baixos e o resultado da combinação do critério 1 com o critério 2 acabou por gerar um perfil de concepções regular. Quanto aos dados quantitativos dos estudantes A4 e B1, podemos observar que os mesmos atingiram uma média de pontos igual a 1,0, o que equivale a um nível médio de concepções. Orientados pelo critério 2 pudemos perceber que os índices de posicionamentos foram altos e o resultado da combinação do critério 1 com o critério 2 acabou por gerar um perfil de concepções médio. Por sua vez o estudantes A1, A3, B2, nesta categoria, atingiram a média de 0 ponto, o que corresponde a um nível de concepções erradas ou desconhecimento dos temas abordados.

7.3.2.2 Análise da média geral de cada estudante dos grupos experimental A e B e que dizem respeito às concepções dos objetivos da EA

Quanto à análise das concepções gerais que dizem respeito às cinco categorias dos objetivos da EA, observando o gráfico (figura 76), constatamos que os estudantes A1, A2, A3, A4, B1, B2 e B3 apresentaram, pelo critério1, uma média de pontos igual a 0,63, 0,90, 0,88, 0,81, 0,67, 0,75 e 0,73 respectivamente. Ao analisar a tabela 2 do apêndice 6, orientado pelo critério 2, vemos que os índices de posicionamentos foram baixos e o resultado da combinação do critério 1 com o critério 2 resultou no critério final que classificou as concepções num perfil baixo.

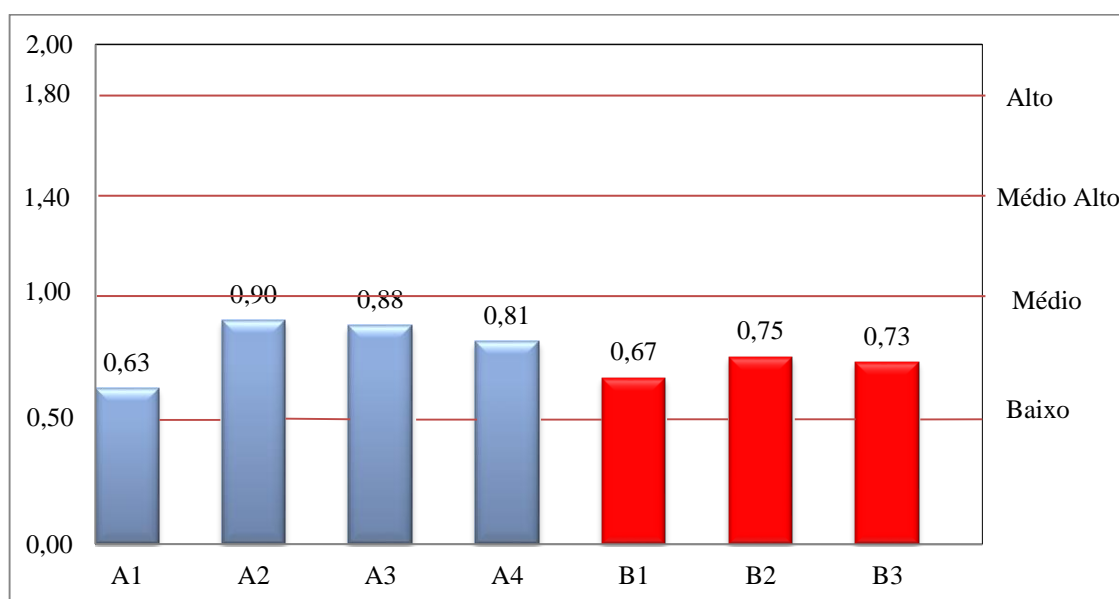


Figura 76 – Gráfico do perfil das concepções dos estudantes do grupo experimental
Fonte: Autoria própria, 2014.

7.3.2.3 Análise da média geral das concepções dos grupos experimentais A e B e comparação com o grupo de controle no que diz respeito às categorias dos objetivos da EA

Observando os gráficos da figura 77, procurando determinar o perfil das concepções das afirmativas dos grupos A e B experimentais, nas categorias *complexidade*, *sustentabilidade*, *comportamentais*, *avaliadoras e cidadania*, encontramos uma média de pontos atribuídos aos posicionamentos e as justificativas de 0,88, 0,78, 0,94, 0,77 e 0,38 para o grupo A respectivamente e 0,69, 0,56, 0,83 e 0,5 para o grupo B respectivamente, sendo que as médias não ultrapassaram 0,99 ponto, o que corresponde a um nível baixo de concepções nas categorias analisadas, com exceção do grupo B que obteve 1,17 na categoria *comportamento*. Ao analisarmos o critério 2 pudemos perceber que os índices de posicionamentos, foram baixos nas cinco categorias analisadas e o resultado da combinação do critério 1 com o critério 2 resultou no critério final que classificou estas categorias num perfil baixo de concepções do grupo. Quanto às concepções do grupo B, que dizem respeito à categoria *comportamento*, os estudantes apresentaram uma média de pontos igual a 1,17, o que corresponde a um nível médio de concepções. Analisando o critério 2, percebemos um nível médio de posicionamentos do grupo quanto a esta categoria, e combinando o critério 1 com o critério 2, encontramos um nível bom nestas justificativas.

Por fim, analisando as concepções do grupo experimental no geral, podemos inferir que, quanto às categorias que dizem respeito a atingir os objetivos da EA, os estudantes do grupo A e do grupo B atingiram a média geral de 0,80 e 0,72 pontos respectivamente, o que corresponde a um nível baixo de concepções. Ao analisarmos o critério 2 pudemos perceber que os índices de posicionamentos foram baixos nas cinco categorias analisadas e, a combinação do critério 1 com o critério 2, resultou no critério final que classificou as concepções do grupo de controle, a respeito dos objetivos da EA, num perfil baixo e que indica a impossibilidade do sistema de ensino do curso de engenharia Civil da FURG de formar um sujeito ecológico, uma vez que estes não apresentam concepções que os possibilitem tomarem a decisão de atingir os objetivos propostos pela EA.

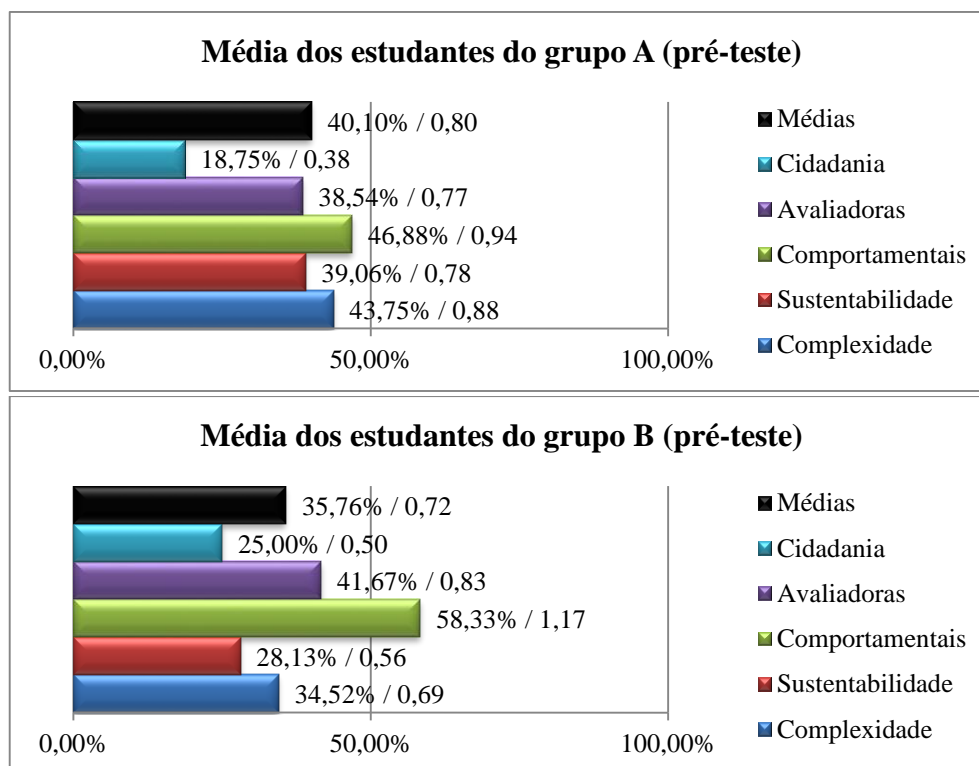


Figura 77 – Médias das categorias obtidas pelos estudantes dos grupos experimentais A e B no pré-teste
Fonte: Autoria própria, 2014.

7.3.2.4 Análise final dos dados fornecidos pelos grupos de controle e experimental a respeito do pré-teste

Após as análises qualitativas dos posicionamentos e justificativas apresentados pelos estudantes dos grupos de controle e experimental, pudemos deduzir que as suas concepções diziam respeito a um saber limitado que ficava restrito aos campos especializados de Engenharia Civil, uma vez que apresentaram comentários menos complexos do que aqueles exigidos pelo saber ambiental, mostrando que os conhecimentos necessários para atingir os objetivos da EA e que devem estar associadas à formação do Engenheiro Civil, careciam de capacidades como a sensibilização, compreensão, responsabilidade, competência e cidadania ambiental.

Quanto à análise quantitativa das concepções gerais que dizem respeito aos objetivos da EA, pudemos observar que o grupo de controle, o grupo experimental A e o grupo experimental B atingiram respectivamente, de acordo com critério 1, uma média de pontos igual a 0,74, 0,80 e 0,72, respectivamente, situação que nos levou a concluir que os estudantes construíram um nível baixo de concepções. Analisando as tabelas 1 e 2 do apêndice 6, orientado pelo critério 2, verificamos um índice de posicionamentos baixo em todas as afirmativas que dizem respeito aos conhecimentos necessários para a tomada de decisão em atingir os objetivos da EA e a combinação do critério 1 com o critério 2, pôde demonstrar um perfil geral baixo das concepções dos três grupos.

Sendo assim, observando o gráfico da figura 78, podemos inferir que os estudantes analisados, ao desconhecerem as suas possibilidades, potencialidades e amplitudes quanto a tomada de decisão em atingir os objetivos da EA, necessitavam de uma reforma na maneira de pensar que, ao alcançar o Pensamento Sistêmico e compreender o todo e a interdependência entre todas as coisas que envolvem a interdisciplinaridade e o entendimento da complexidade ambiental, pudessem planejar e materializar uma SD no que diz respeito às interações entre as atividades da Engenharia Civil com os aspectos éticos, econômicos, político-sociais na busca da preservação do meio ambiente.

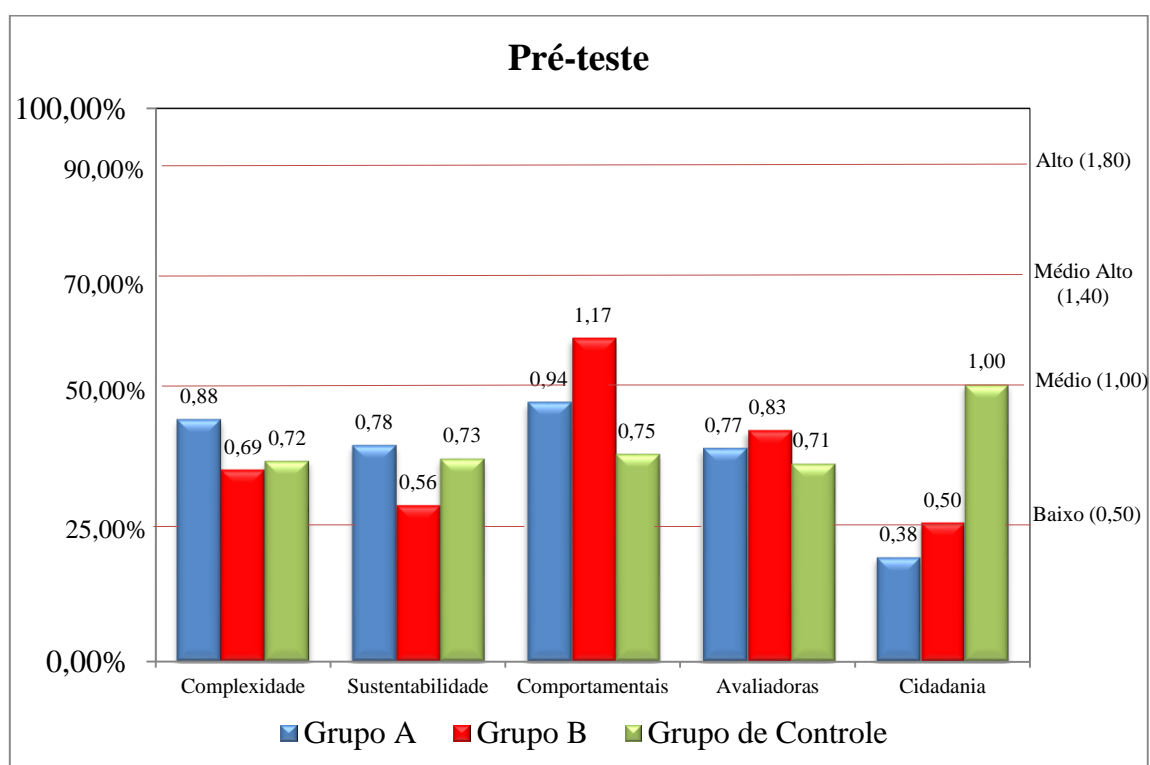


Figura 78 – Gráfico comparativo das médias de cada categoria, obtidas pelos grupos experimental e controle no pré-teste

Fonte: Autoria própria, 2014.

Assim, podemos concluir que a formação de um engenheiro civil ecológico no atual sistema de ensino do curso de Engenharia Civil da FURG não deve acontecer, uma vez que estes estudantes, ao apresentar um baixo conhecimento a respeito das categorias analisadas, mostraram não estarem preparados para tomarem decisões em atingir os objetivos propostos por uma EA efetiva no que diz respeito à gestão do meio ambiente, evidenciando a necessidade de serem sensibilizados para uma forma de pensar complexa que lhes permitisse desenvolver um senso crítico e com isso promover a transformação e a construção de uma sociedade que enxergue as relações entre o ser humano e a natureza de maneira mais construtiva.

Esta constatação veio a contribuir com nossa intervenção, nos motivando a construir um saber ambiental em que, através de instrumentos de sensibilização como o *aprender a aprender* acabamos por envolver procedimentos didático-pedagógicos que se propuseram superar o pensamento analítico que prevalece no sistema de ensino do curso em questão que, alicerçado no paradigma newtoniano-cartesiano, impede os estudantes de lidar com as realidades do meio ambiente, tornando-os ingênuos, acríticos e submetidos às leis do atual MDE.

Por fim, entendemos que a indiferença à aproximação da EA e às questões ambientais por parte dos estudantes de Engenharia Civil é resultado de ações que no cotidiano encaminham um conhecimento informal construído pelas informações veiculadas pela mídia, leituras direcionadas, jornais, internet e outros que, ao serem processados cognitivamente, vieram a colaborar para estruturação dos modelos mentais dos estudantes elaborando uma ponte de ligação com os conhecimentos adquiridos através dos pressupostos do sistema de ensino tecnicista.

7.4 Análise qualitativa e quantitativa dos dados fornecidos pelo grupo experimental relativas à aplicação do segundo questionário (pós-teste)

Os dados aqui apresentados e suas interpretações buscaram analisar o perfil das concepções e encontrar alguns aspectos dos modelos mentais dos estudantes após a intervenção programada por esta pesquisa-ação, de acordo com o método apresentado na seção 5.2.6.5.

7.4.1 Análise qualitativa das opções e justificativas apresentadas pelo estudante B3 e apresentação das redes sistêmicas que sintetizam as análises dos estudantes que integram o grupo experimental

a) Análise das concepções que dizem respeito aos *princípios da complexidade* envolvendo as questões 10, 19, 20, 21, 22, 23 e 24. Nestes posicionamentos e justificativas o estudante B3 obteve um total de 11,50 pontos, resultantes das seguintes observações:

a1) Um total de 11,50 pontos obtidos das justificativas concordantes referentes aos conteúdos das afirmativas 10, 19, 20, 21, 22, 23 e 24. Neste contexto, o estudante mostrou que concordava fortemente com o pesquisador, ao optar pela letra A nas afirmativas 20 e 24. Nestas justificativas o estudante, mostrou conhecimento e compreensão sobre o fenômeno discutido, tendo apresentado *com muita coerência*, um pequeno resumo sobre os fenômenos discutidos. Na afirmativa 20 interpreta o princípio do círculo retroativo e recursivo prevendo que “*se o homem prejudicar o ambiente, ao natural ele será prejudicado de algum modo, seja através do climático, financeiro, enfim. É algo cíclico que “vai e volta”*”. *Retroalimentação*

do pensamento sistêmico.”, obtendo com este relato 2 pontos. Por último, na afirmativa 24, o estudante interpreta que os seres vivos tendem a buscar seu equilíbrio e *“seu bem-estar. Porém, com isso acaba causando uma desorganização global, que é uma tendência natural do ambiente, Devemos ser mais conscientes e pensar mais nas nossas gerações futuras. Buscar a organização tendo consciência da desorganização que poderá ser causada e tentar minimizá-la.”*, obtendo com este comentário 2 pontos. Nas afirmativas 10, 19, 21, 22 e 23 o estudante mostrou concordar com o pesquisador ao optar pelos posicionamentos B, B, D, D e B respectivamente, tendo demonstrado conhecimento e compreensão ao apresentar nas suas justificativas um pequeno resumo sobre os fenômenos envolvidos. Nas afirmativas 19, 21, 22 e 23 o estudante discute cada um dos temas, *com muita coerência*, quando interpreta, na afirmativa 19, o princípio holográfico da complexidade ambiental, dizendo que *“Precisamos primeiramente, conhecer o todo (Meio Ambiente) para depois conhecer as partes, tendo consciência então, da origem das coisas, seus valores, aplicações... Sendo assim, teremos uma melhor relação entre o homem e o meio ambiente.”*, obtendo com isso 1,5 pontos. Na justificativa 21 diz que a emergência da complexidade ambiental não depende apenas das interações dos aspectos da natureza já que *“os sistemas produzidos pelo homem e a relação do homem também interferem na complexidade do meio ambiente.”*, obtendo com essa justificativa 1,5 pontos. Na afirmativa 22 que diz respeito aos aspectos caóticos do meio ambiente, interpreta que *“O meio ambiente, os seres vivos tendem a ser organizados. Porém, o Universo tende a desorganização. Assim, para se organizar acabamos desorganizando algo também.”*, obtendo assim 1,5 pontos. Por último na afirmativa 23, que diz respeito ao princípio da não-linearidade dos sistemas complexos, declara que *“Entre os sistemas complexos há interações não-lineares. As interações internas do sistema complexo até podem ser lineares entre si, sendo um subsistema. Mas o sistema complexo deve ser não-linear.”*, obtendo com esta interpretação 1,5 ponto. Na afirmativa 10, ainda concordando com o pesquisador, o estudante mostrou certo conhecimento e compreensão do fenômeno envolvido, ao apresentar com muita coerência um pequeno resumo, onde tenta aplicar o princípio da reintrodução do conhecimento ao declarar que *“Fica muito mais fácil conhecer/entender os impactos ambientais e suas modificações tendo o conhecimento da geração de energia. Ainda para um melhor entendimento, é bom saber o porquê de aquela energia estar sendo produzida e não somente saber que tem que produzi-la.”*, obtendo com esta interpretação 1.5.

a2) Rede sistêmica (figura 79) das concepções do grupo experimental que dizem respeito aos princípios da complexidade.

		GRUPO A - PÓS				G. B - PÓS			
		A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	
Concepções sobre a complexibilidade ambiental	Princípio da reintrodução do conhecimento (Q 10)	Concorda Fortemente (A/E)	Muita coerência						
			Alguma coerência	X	X		X		
			Reproduz sem muita coerência						
		Concorda (B/D)	Muita coerência	X				X	X
	Alguma coerência								
	Tem dúvida (C)	Muita coerência							
		Alguma coerência							
	Princípio holográfico (Q 19)	Concorda Fortemente	Muita coerência	X					
			Alguma coerência		X	X			
			Reproduz sem muita coerência						
		Concorda	Muita coerência	X			X	X	
	Alguma coerência						X		
	Tem dúvida	Muita coerência							
		Alguma coerência							
	Princípio do círculo retroativo e recursivo (Q 20)	Concorda Fortemente	Muita coerência	X	X	X	X	X	X
			Alguma coerência						
			Reproduz sem muita coerência						
		Concorda	Muita coerência					X	
	Alguma coerência								
	Tem dúvida	Muita coerência							
		Alguma coerência							
	Princípio das propriedades emergentes (Q 21)	Concorda Fortemente	Muita coerência	X			X		
			Alguma coerência						
			Reproduz sem muita coerência						
Concorda		Muita coerência	X	X	X		X	X	
	Alguma coerência								
Tem dúvida	Muita coerência								
	Alguma coerência								
1º e 2º Lei da Termodinâmica (Q 22)	Concorda Fortemente	Muita coerência	X						
		Alguma coerência							
		Reproduz sem muita coerência							
	Concorda	Muita coerência	X	X	X		X	X	
Alguma coerência									
Tem dúvida	Muita coerência					X			
	Alguma coerência								
Princípio da não-linearidade (Q 23)	Concorda Fortemente	Muita coerência	X	X					
		Alguma coerência			X				
		Reproduz sem muita coerência							
	Concorda	Muita coerência					X	X	X
Alguma coerência									
Tem dúvida	Muita coerência	X							
	Alguma coerência								
Princípio dialógico da auto-organização (Q 24)	Concorda Fortemente	Muita coerência	X	X			X		
		Alguma coerência							
		Reproduz sem muita coerência							
	Concorda	Muita coerência	X	X			X	X	
Alguma coerência									
Tem dúvida	Muita coerência								
	Alguma coerência								
Discorda	Muita coerência								
	Alguma coerência								

Figura 79 – Rede sistêmica das concepções apresentadas pelo grupo experimental que dizem respeito à categoria que envolve os princípios da complexidade
 Fonte: Autoria própria, 2014.

Observando a rede, podemos inferir que a maioria dos estudantes dos grupos A e B foram muito concordantes com o pesquisador e também muito coerentes nas suas justificativas, sugerindo a construção de concepções corretas a respeito do assunto abordado uma vez que a maioria dos comentários, que dizem respeito aos princípios da complexidade, indica que os estudantes já teriam atingido o estágio necessário para compreender os objetivos da EA o que implica alcançar o Pensamento Sistêmico no campo ambiental. Para tanto, os estudantes dos grupos A e B expressaram em suas justificativas a importância de revisitar os conhecimentos da Física, sobretudo os das Leis da Termodinâmica e da Entropia dos sistemas complexos, enxergando o meio ambiente na sua totalidade e incorporando em suas estruturas cognitivas os princípios holográfico, retroativo e recursivo e o da não-linearidade situação que lhes permitiu interpretar as interações entre os aspectos, bióticos, abióticos e culturais do ser humano. Ou seja, os estudantes através do método empregado puderam *aprender a aprender* a complexidade ambiental com suas inter-relações tecnológicas, ecológicas, políticas, econômicas, sociais e outras podendo com isso desenvolver um senso crítico e habilidades para pensar sistemicamente os problemas de Engenharia Civil e suas interações com o meio ambiente.

b) Concepções que dizem respeito aos conceitos científicos que possuem interface com a SD e que envolveram as questões 2, 3, 4, 7, 8, 12, 16 e 17. Nestes posicionamentos e justificativas o estudante B3 obteve um total de 13,00 pontos resultantes das seguintes observações.

b1) Um total de 13,00 pontos obtidos das justificativas concordantes referentes aos conteúdos críticos e reflexivos das afirmativas 2, 4, 7, 8, 12, 16, e 17. Neste contexto, o estudante mostrou que *concordava fortemente* com o pesquisador, ao optar pelas letras E, E, A, A e E respectivamente nas afirmativas 2, 4, 7, 8 e 17, mostrando conhecimento e compreensão ao apresentar *com muita coerência*, um pequeno resumo sobre os fenômenos discutidos. Na afirmativa 2 comenta sobre a capacidade do meio em absorver e reciclar resíduos interpretando que “*o meio em que vivemos possui uma capacidade limitada de recursos. Portanto existe uma capacidade de reciclagem mas esta capacidade de meio ambiente em reciclar matéria não é infinita.*”, obtendo com isso 2 pontos. Na justificativa 4, discorrendo sobre a impossibilidade do crescimento contínuo, argumenta que “*para mim ter um crescimento econômico forte, terei que ter grande produção; com isso vou consumir mais do meio ambiente, o que acaba afetando-o fortemente. Infelizmente o lucro capitalista é assim.*” recebendo por isso 2,0 pontos. Na afirmativa 7 que aborda o tema da Lei da oferta e da procura prevê de uma forma reflexiva que “*A lei da oferta e da procura, fundamental para o capitalismo, rege sim o consumo de energia elétrica. Pois quanto maior for meu lucro, mais*

vou ter que produzir, consumindo assim mais energia elétrica.”, obtendo 2 pontos com esta justificativa. Na afirmativa que diz respeito à relação entre produção, consumo e a instabilidade ecossistêmica explica que *“Quando o consumo de um determinado produto é grande, conseqüentemente sua produção terá que aumentar também. Assim, teremos que explorar e utilizar mais o meio ambiente, o que afeta os ciclos biogeoquímicos da natureza, ou seja, causa instabilidade ecossistêmica global.”*, obtendo 2 pontos com esta interpretação. Por último na afirmativa 17, relacionando a geração de energia com a ecologia, declara que a geração de energia com utilização de combustíveis fósseis *“Afeta não somente ao ar, mas todo o ambiente de sua volta. A fauna também é prejudicada; a população pode querer se afastar da cidade por más condições de saúde (qualidade do ar, das águas)..., o que pode prejudicar o desenvolvimento socioeconômico da região.”*, obtendo 2 pontos com esta declaração. Discordante do pesquisador, na afirmativa 3, que corresponde a uma concepção errada, o estudante mostrou desconhecer o fenômeno discutido.

b2) Nas afirmativas 12 e 16 o estudante mostrou concordar com o pesquisador ao optar pelos posicionamentos D e B respectivamente. Nessas justificativas, o estudante, demonstrando conhecimento e compreensão sobre os fenômenos envolvidos, recebeu 1,5 ponto em cada uma das afirmativas, ao apresentar *com muita coerência* um pequeno resumo sobre a temática abordada. Na justificativa 12, que diz respeito aos aspectos da interdisciplinaridade no ensino de engenharia, explica que *“Tendo uma melhor ‘educação’ quanto ao ambiente, certamente seremos bons engenheiros.”*. Por último, na justificativa 16, falando criticamente da relação entre a educação e o atual MDE, interpreta que *“faltam soluções para melhorar isso, e ainda, fiscalizações para essas soluções (leis), que muitas vezes a lei existe mas não é cumprida. Falta desde a educação básica, até a educação dos políticos que visam em grande parte, o capitalismo próprio.”*.

b3) Rede sistêmica (figura 80) das concepções do grupo experimental que dizem respeito aos conhecimentos que fazem interface com o conhecimento da SD.

		GRUPO A - PÓS				GRUPO B - PÓS		
		A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3
Concepções que possuam interface com a sustentabilidade	Conservação da massa (Q 2)	Concorda Fortemente	Muita coerência	Alguma coerência	Reproduz sem muita coerência		X	X
		Concorda	Muita coerência	Alguma coerência	Reproduz sem muita coerência	X		
		Tem dúvida	Muita coerência	Alguma coerência	Reproduz sem muita coerência			
		Discorda	Sem Justificativa ou sem coerência					
	Crescimento populacional (Q 3)	Concorda Fortemente	Muita coerência	Alguma coerência	Reproduz sem muita coerência			X
		Concorda	Muita coerência	Alguma coerência	Reproduz sem muita coerência	X	X	X
		Tem dúvida	Muita coerência	Alguma coerência	Reproduz sem muita coerência			
		Discorda	Sem Justificativa ou sem coerência					X
	Impossibilidade do crescimento contínuo (Q 4)	Concorda Fortemente	Muita coerência	Alguma coerência	Reproduz sem muita coerência	X	X	
		Concorda	Muita coerência	Alguma coerência	Reproduz sem muita coerência			X
		Tem dúvida	Muita coerência	Alguma coerência	Reproduz sem muita coerência			
		Discorda	Sem Justificativa ou sem coerência					X
	Lei da oferta e da procura (Q 7)	Concorda Fortemente	Muita coerência	Alguma coerência	Reproduz sem muita coerência	X	X	X
		Concorda	Muita coerência	Alguma coerência	Reproduz sem muita coerência			X
		Tem dúvida	Muita coerência	Alguma coerência	Reproduz sem muita coerência			
		Discorda	Sem Justificativa ou sem coerência					
	Ciclos biogeoquímicos (Q 8)	Concorda Fortemente	Muita coerência	Alguma coerência	Reproduz sem muita coerência		X	X
		Concorda	Muita coerência	Alguma coerência	Reproduz sem muita coerência	X		
		Tem dúvida	Muita coerência	Alguma coerência	Reproduz sem muita coerência			
		Discorda	Sem Justificativa ou sem coerência					
	Interdisciplinaridade (Q 12)	Concorda Fortemente	Muita coerência	Alguma coerência	Reproduz sem muita coerência		X	
		Concorda	Muita coerência	Alguma coerência	Reproduz sem muita coerência	X		X
		Tem dúvida	Muita coerência	Alguma coerência	Reproduz sem muita coerência			
		Discorda	Sem Justificativa ou sem coerência					
	M D E (Q 16)	Concorda Fortemente	Muita coerência	Alguma coerência	Reproduz sem muita coerência	X	X	X
		Concorda	Muita coerência	Alguma coerência	Reproduz sem muita coerência			X
		Tem dúvida	Muita coerência	Alguma coerência	Reproduz sem muita coerência			
		Discorda	Sem Justificativa ou sem coerência					
	Geração de energia e ecologia (Q 17)	Concorda Fortemente	Muita coerência	Alguma coerência	Reproduz sem muita coerência	X	X	X
		Concorda	Muita coerência	Alguma coerência	Reproduz sem muita coerência			X
		Tem dúvida	Muita coerência	Alguma coerência	Reproduz sem muita coerência			
		Discorda	Sem Justificativa ou sem coerência					

Figura 80 – Rede sistêmica das concepções apresentadas pelo grupo experimental que dizem respeito aos conceitos científicos que fazem interface para a SD

Fonte: Autoria própria, 2014.

Observando a rede, podemos inferir que a maioria dos estudantes dos grupos A e B, com exceção dos estudantes B1 e B3 na afirmativa 3, concordaram fortemente com o pesquisador e também muito coerentes nas suas justificativas. Tal situação sugere a construção de concepções corretas a respeito do assunto abordado, indicando que a maioria dos estudantes construiu os conceitos necessários para introduzir e trabalhar uma SD forte em tomadas de decisão que envolve a interação da Engenharia Civil com o meio ambiente, entendendo que a melhora da qualidade de vida humana, dentro dos limites da capacidade de suporte dos ecossistemas, passa por uma exploração racional e não predatória dos recursos naturais. Em suas justificativas, buscaram, dentro do paradigma da complexidade, superar a distinção entre as ciências sociais e ciências naturais, incentivando uma nova postura integradora para o curso de Engenharia Civil que exige a construção de um conhecimento não-fragmentado e que se apoie num tratamento interdisciplinar, podendo com isso facilitar o diálogo entre os conhecimentos que envolvem a área tecnológica e a preservação do meio ambiente. Com isso os posicionamentos e justificativas apresentadas pelos estudantes sugerem que no transcorrer da intervenção foi possível construir concepções capazes de avaliar e opinar sobre questões ambientais como: os impactos ambientais resultantes da geração de energia elétrica com combustíveis fósseis, práticas políticas que contrariem as tomadas de decisões que afetam a qualidade do meio natural, social e cultural, opinar sobre as vantagens e desvantagens da tecnologia de Engenharia Civil a luz de uma EA que possa superar os conflitos ambientais, a geração de uma estrutura curricular que procure, ao desenvolver pesquisas e inovações tecnológicas, atingir as metas da SD, o investimento numa EA que incentive um novo estilo de vida, contrariando o atual MDE que se fundamenta no lucro a qualquer custo e a desmistificação da lógica da produção e consumo que, ao gerar uma maior pressão sobre os recursos naturais, tem como resultado final a perda da qualidade de vida e experiência humana.

c) Concepções a respeito dos comportamentos que devemos ter frente as questões ambientais e que envolveram as questões 1 e 6. Nestes posicionamentos e justificativas o estudante B3 obteve um total de 4,0 pontos resultantes das seguintes observações.

c1) Um total de 4,0 pontos obtidos das justificativas concordantes referentes aos conteúdos das afirmativas 1 e 6. Neste contexto, o estudante mostrou que concordava fortemente com o pesquisador, ao optar pelas letras E e A respectivamente. Nestas justificativas o estudante, mostrou conhecimento e compreensão sobre o fenômeno discutido apresentando *com muita coerência*, um pequeno resumo sobre os fenômenos discutidos. Na justificativa 1 abordando aspectos da ética e da solidariedade no que diz respeito às questões do meio ambiente prevê

que “*tudo natureza é finito portanto se eu esbanjar, as outras gerações podem não ser beneficiados com isso. Temos que consumir racionalmente, sendo solidários e éticos para com as gerações futuras.*”, obtendo por esta justificativa 2 pontos. Por último, na afirmativa 6 que trata da qualidade da experiência humana o estudante apresenta uma posição crítica a respeito do comportamento de muitos engenheiros, resumindo seus pensamentos da seguinte maneira “*para mim ter um bom lucro preciso explorar, além do ambiente, as pessoas que para mim prestam serviços; pagando salários que, quanto menores, para mim melhor. Assim a desigualdade social aumenta mais ainda, podendo gerar frustrações, violência, enfim, afetando a qualidade de vida das pessoas.*”, obtendo por esta interpretação 2 pontos.

c2) Rede sistêmica (figura 81) das concepções do grupo experimental que dizem respeito ao comportamento que devemos ter diante das questões ambientais.

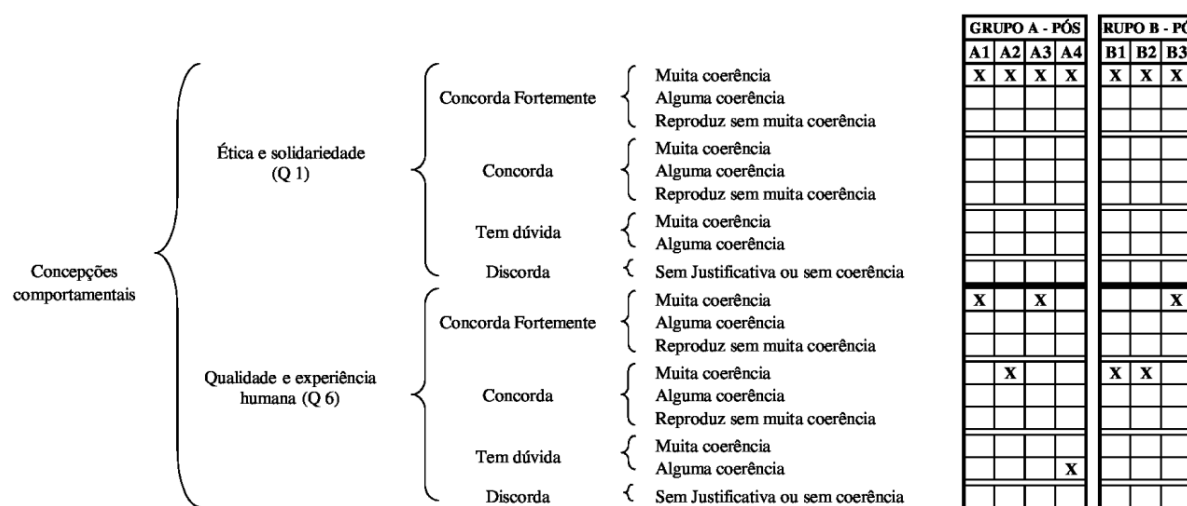


Figura 81 – Rede sistêmica das concepções apresentadas pelo grupo experimental que dizem respeito à categoria comportamental
Fonte: Autoria própria, 2014.

Observando a rede, podemos inferir que os estudantes do grupo A e B concordaram fortemente com o pesquisador e também muito coerentes nas suas justificativas, o que demonstra terem construído concepções coerentes a respeito do assunto abordado uma vez que a maioria dos comentários, dizem respeito aos comportamentos que devemos ter individualmente e coletivamente para melhoria e manutenção da qualidade ambiental e que envolvem decisões e atitudes no tocante a superação das instabilidades ecossistêmicas que possam advir das práticas do Engenheiro Civil. Nesse sentido as justificativas, de maneira geral, apontam para o desprezo às práticas que transformam quase tudo em mercadoria, inclusive o próprio homem, entendendo que para alcançarmos uma melhor qualidade e experiência da vida humana é preciso que nossas decisões, atos e atitudes sejam verdadeiros

ao cooperar e contribuir para a causa ambiental, desenvolvendo um saber e um sentir que contemple os aspectos éticos, estéticos e solidários para com as gerações presentes e futuras.

d) Concepções a respeito dos conhecimentos que nos permitem avaliar os problemas ambientais e que envolveram as questões 5, 9, 13, 14, 15 e 18. Nestes posicionamentos e justificativas o estudante B3, obteve um total de 9,5 pontos resultantes das seguintes observações.

d1) Um total de 9,50 pontos obtidos das justificativas concordantes referentes aos conteúdos das afirmativas 5, 9, 13, 14, 15 e 18. Neste contexto, o estudante mostrou que *concordava fortemente* com o pesquisador, apenas na afirmativa 18 aonde optou pela letra E, mostrando conhecimento e compreensão sobre o fenômeno discutido apresentando com muita coerência, um pequeno resumo sobre a temática que envolve a familiarização dos estudantes de Eng. Civil da FURG com a ISO 14001 interpretando que “*os alunos nem conhecem essa ISO. É uma ISO que visa o pensamento sistêmico, não somente o tecnicismo conhecido na Engenharia habitual.*”, recebendo 2,0 pontos por esta justificativa.

Nas afirmativas 5, 9, 13, 14 e 15 o estudante mostrou apenas concordar com o pesquisador ao ter optado pelos posicionamentos D, D, B, D e D respectivamente. Nesse caso o estudante demonstrou conhecimento e compreensão sobre cada um dos temas das afirmativas 5, 9, 13, 14 e 15, onde apresentou *com muita coerência* um pequeno resumo sobre os fenômenos envolvidos, obtendo por isso um total de 6 pontos. Na justificativa 5 que trata da importância dos instrumentos de controle de impactos ambientais relatou que “*hoje muita coisa mudou. A política Estadual/Nacional tem criado várias leis, a fim de melhorar o País. Muitas dessas leis são ambientais que estão ganhando forças e também está havendo mais fiscalização pelos órgãos competentes.*”. Na justificativa 9 que diz respeito à importância da ecologização disciplinar nos cursos de Engenharia Civil da FURG interpreta “*Até podemos cursar cada disciplina isoladamente uma das outras. Porém, o jeito correto de se pensar é ter uma noção, ao menos básica do todo; associar as disciplinas, pensar na sustentabilidade junto a elas. Assim, certamente seremos profissionais melhor sucedidos e responsáveis para com as pessoas e o meio ambiente.*”. Na afirmativa 13 o estudante mostrou concordar com o pesquisador ao optar pelo posicionamento B. Nesta justificativa o estudante, demonstrando algum conhecimento e compreensão sobre os fenômenos envolvidos, apresentou *com muita coerência*, um pequeno resumo sobre a temática que trata da importância da EA como instrumento de GAS das atividades do Engenheiro Civil dizendo que “*Tendo uma melhor ‘educação’ quanto ao ambiente, certamente seremos bons engenheiros.*”, obtendo 1,5 com esta justificativa. Na justificativa 14, que relaciona a estrutura do curso de Engenharia Civil

da FURG com as questões que dizem respeito à preservação dos recursos naturais declarou que *“o curso é muito baseado no capitalismo e muito bom tecnicamente. Porém, englobando técnica e meio ambiente não se tem muita coisa. Não engloba o meio ambiente e seus recursos”*. Na afirmativa 15 que trata da abordagem dos aspectos éticos e políticos e sociais que regem as atuações humanas sobre o meio ambiente nos cursos de engenharia da FURG, o estudante entende que *“Até são vistas algumas disciplinas sobre o meio ambiente, mas não que envolvam todos os modelos acima citados. Ainda assim, nos são dadas poucas soluções para o que devemos fazer. A maioria delas é baseada no financeiro sem levar muito em conta o ambiente, que fica em “segundo plano”*.

d2) Rede sistêmica (figura 82) das concepções do grupo experimental que dizem respeito às habilidades avaliadoras que devemos ter diante das questões ambientais.

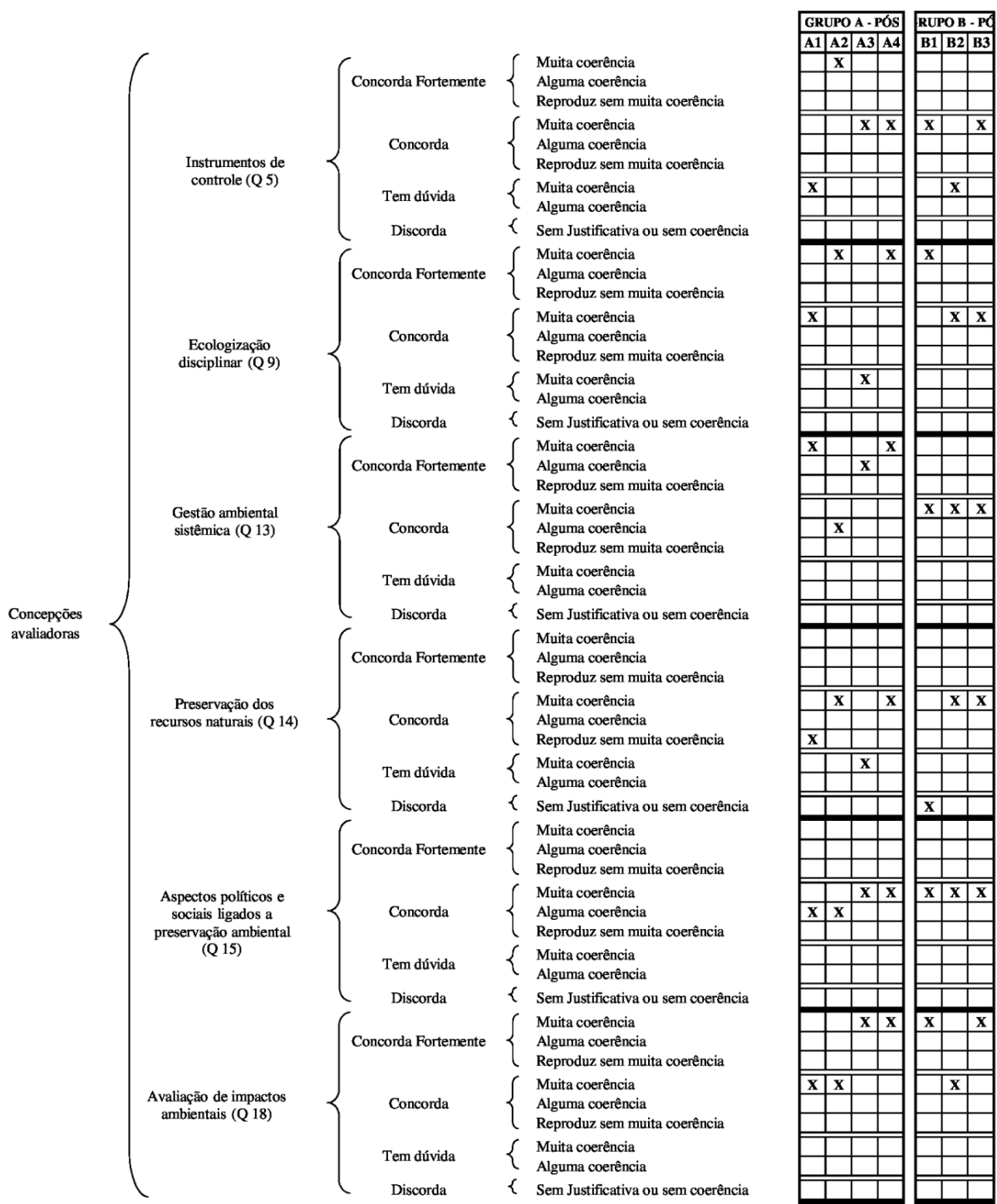


Figura 82 – Rede sistêmica das concepções apresentadas pelo grupo experimental que dizem respeito à categoria avaliadora das questões ambientais
 Fonte: Autoria própria, 2014.

Observando a rede, podemos inferir que a maioria dos estudantes do grupo A e B concordaram fortemente com o pesquisador, sendo muito coerentes nas suas justificativas, exceto o estudante B1 que na afirmativa 14, demonstrou não possuir conhecimento sobre o tema que envolve a preservação dos recursos naturais. Os demais estudantes demonstraram ter construído concepções a respeito do assunto abordado, uma vez que a maioria dos

comentários que dizem respeito às habilidades que os estudantes deveriam possuir para identificar, avaliar e resolver os problemas ambientais envolveu a construção de saberes que apontavam para tomadas de decisões que resultassem numa GAS efetiva dos problemas que envolvem a Engenharia Civil e as questões do meio ambiente. Em suas justificativas os estudantes procuraram decifrar a linguagem técnico-científica que encobrem as questões ambientais bem como pensar sobre os riscos ambientais que podem advir da geração de energia elétrica com combustíveis fósseis, reconhecendo as deficiências existentes no curso de Engenharia para se deparar com a solução deste tipo de problema, valorizando os dispositivos de controle ambiental como a fiscalização do poder público e propondo uma melhor familiarização do curso com instrumentos de GAS privada como a implantação da ISO 14001 na indústria da construção civil.

e) Concepções que dizem respeito aos conhecimentos da participação cidadã que tem por objetivo resolver os problemas ambientais e que envolveu a questão 11. Neste posicionamento e justificativa o estudante B3 obteve um total de 1,5 ponto, resultante das seguintes observações.

e1) Um total de 1,50 pontos obtidos da afirmativa concordante referentes aos conteúdos da afirmativa 11. Neste contexto, o estudante mostrou concordar com o pesquisador, ao optar pela letra B e também muita coerência na sua justificativa, ao expressar concepções corretas a respeito do assunto abordado, apresentando um pequeno resumo a respeito da afirmativa que questiona a forma como os conteúdos programáticos dos cursos de Engenharia Civil da FURG trabalham os atuais problemas da sociedade interpretando criticamente que *“Algumas disciplinas até tem uma relação técnica com outras, mas não tem entre si relação social. Para não generalizar, podemos fazer exceção de alguma cadeira, mas na maioria, os problemas sociais são deixados de lado, já que é um curso muito técnico.”*, obtendo nesta justificativa 1,5 ponto.

e2) Rede sistêmica (figura 83) das concepções do grupo experimental que dizem respeito ao comportamento cidadão que devemos ter diante das questões ambientais.

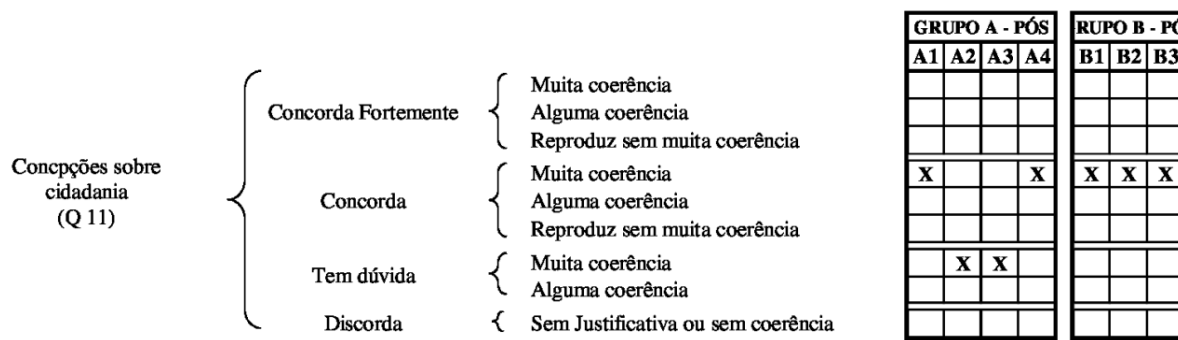


Figura 83 – Rede sistêmica das concepções apresentadas pelo grupo experimental que dizem respeito à categoria que envolve a participação cidadã

Fonte: Autoria própria, 2014.

Observando a rede, podemos inferir que a maioria dos estudantes do grupo A e B foram muito concordantes com o pesquisador e também muito coerentes nas suas justificativas, tendo expressado concepções corretas a respeito do assunto abordado, uma vez que os comentários que dizem respeito às concepções sobre cidadania expressavam o desejo de se construírem como cidadãos, percebendo suas responsabilidades e necessidades de ação imediata para a solução dos problemas ambientais, fazendo valer os seus direitos constitucionais de cidadãos na busca de uma melhor qualidade de vida para si e para as outras gerações.

7.4.1.1 Análise geral das redes sistêmicas do grupo experimental

Observando as redes, podemos inferir que no geral os estudantes dos grupos A e B foram concordantes com o pesquisador e muito coerentes em suas justificativas, indicando a construção de concepções corretas que poderiam refletir conceitos subsunçores associados a conhecimentos, compreensão e aplicação dos conceitos que dizem respeito à formação do engenheiro ecológico e que resulta prioritariamente pela tomada de decisão em atingir os objetivos da EA e com isso poder no futuro e no presente realizar uma efetiva GAS.

Com isso podemos sugerir que a metodologia de ensino e aprendizagem adotada pelo pesquisador permitiu aos estudantes modificar e ampliar os seus subsunçores, que quando evocados, refletiram uma reorganização de conhecimentos em sua estrutura cognitiva, que os permitiram desenvolverem habilidades para compreender e dar significados aos assuntos abordados no questionário, demonstrando um nível alto de concepções que se aproximam da produção do conhecimento científico proposto pelo ensino formal.

7.4.2 Análise quantitativa das concepções dos grupos experimentais A e B (pós-teste)

Após realizar a análise qualitativa dos dados do primeiro questionário, seguindo os procedimentos previamente determinados na seção 5.2.6.5, elaboramos a análise quantitativa dos dados e a apresentação dos resultados do pós-teste, orientado pelos seguintes procedimentos. Primeiramente apresentamos através dos gráficos das figuras 84 a 86, os níveis das concepções (médias de pesos) e os percentuais de acerto e as médias por categoria de cada estudante e do grupo ao qual pertence. Posteriormente foi realizada a análise quantitativa das concepções de cada estudante e do grupo como um todo a respeito de cada uma das categorias dos objetivos da EA. Finalmente apresentamos o gráfico da figura 87, onde pudemos comparar as médias dos estudantes do grupo experimental com as médias dos estudantes do grupo de controle.

7.4.2.1 Análise quantitativa dos dados e resultados informados pelos estudantes do grupo de controle (pós-teste)

Após a realização da análise qualitativa dos dados do segundo questionário, seguindo os procedimentos previamente determinados na seção 5.2.6.5, elaboramos a análise quantitativa das justificativas e posicionamentos, bem como a apresentação dos resultados do pré-teste, orientados pelos seguintes procedimentos. Primeiramente analisamos os gráficos das figuras 84 a 86, em que são informadas as médias dos pesos e os percentuais de acerto de cada uma das categorias dos objetivos da EA por estudante e do grupo ao qual pertence, alcançando assim o nível das concepções (critério 1). Posteriormente, observamos a tabela 3 do apêndice 6, que informa os índices de posicionamentos (critério 2) das afirmativas. Por último, realizamos a análise quantitativa das concepções de cada estudante e do grupo ao qual pertence, combinando o critério 1 com o critério 2 que resultou no perfil das concepções de cada uma das categorias e do questionário como um todo, de acordo com as cinco possibilidades definidas na seção 5.2.6.5, lembrando que estas dizem respeito aos conhecimentos que estruturam o domínio cognitivo dos estudantes, sendo que cada uma tem como pré-requisito as anteriores. As possibilidades anteriormente citadas são as seguintes:

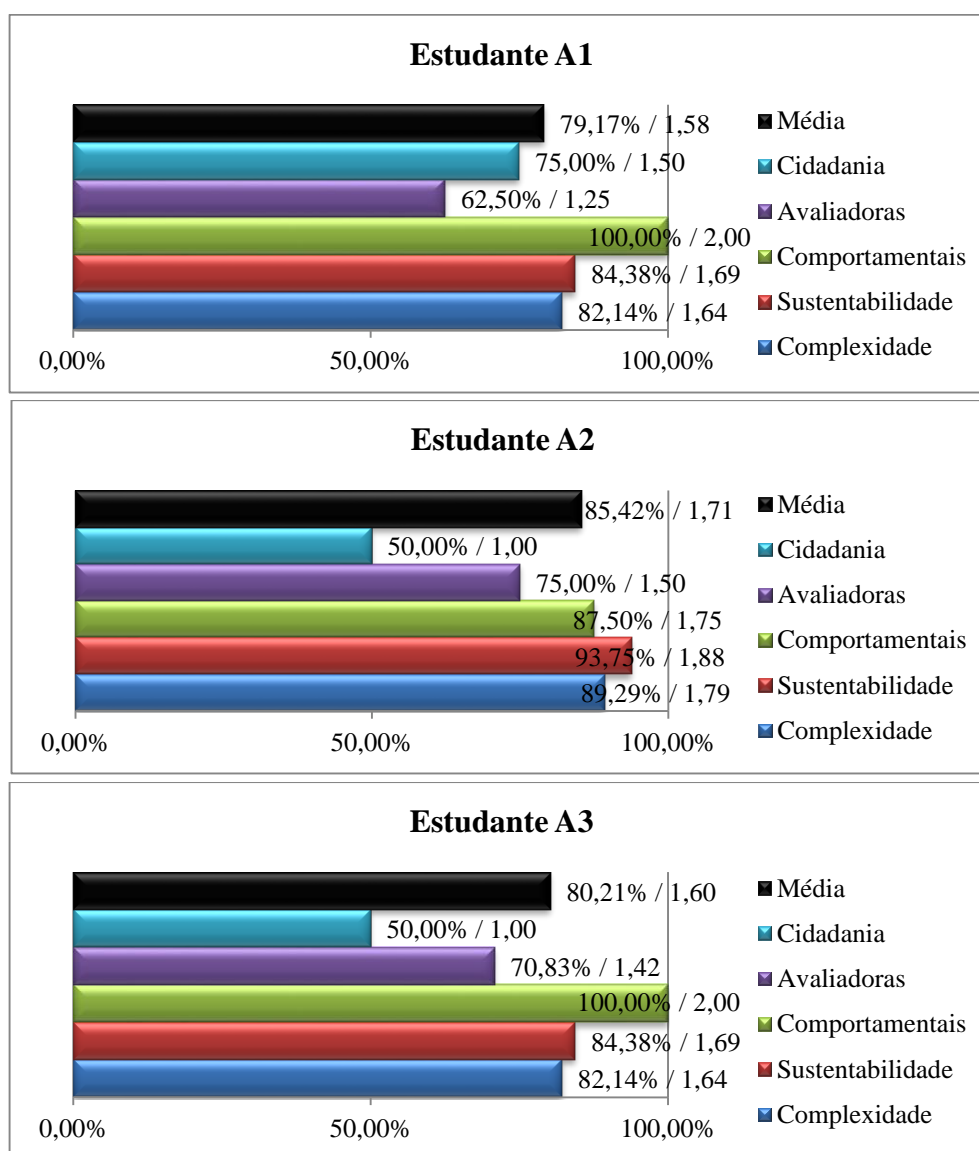
- 1- baixo, quando o nível das concepções foi baixo e o índice de posicionamento também foi baixo;
- 2- regular, quando o nível de concepções foi médio e o índice de posicionamentos foi baixo;
- 3- bom, quando o nível de concepções foi médio e o índice de posicionamentos corretos foi alto, ou quando o nível de concepções foi médio-alto e o índice de posicionamentos corretos foi baixo;

4- muito bom, se o nível de concepções foi médio-alto e o índice de posicionamentos corretos foi alto;

5- ótimo, quando o nível das concepções foi alto, o que sugere que o índice de posicionamentos corretos também foi alto.

Ao final apresentamos o gráfico (figura 85) comparativo entre as médias dos estudantes do grupo de controle que reflete os resultados encontrados.

a) Gráficos de barras dos percentuais de acertos por categoria, das médias dos pontos atribuídos às diferentes categorias (critério 1) e da média geral de cada estudante do grupo experimental no pós-teste.



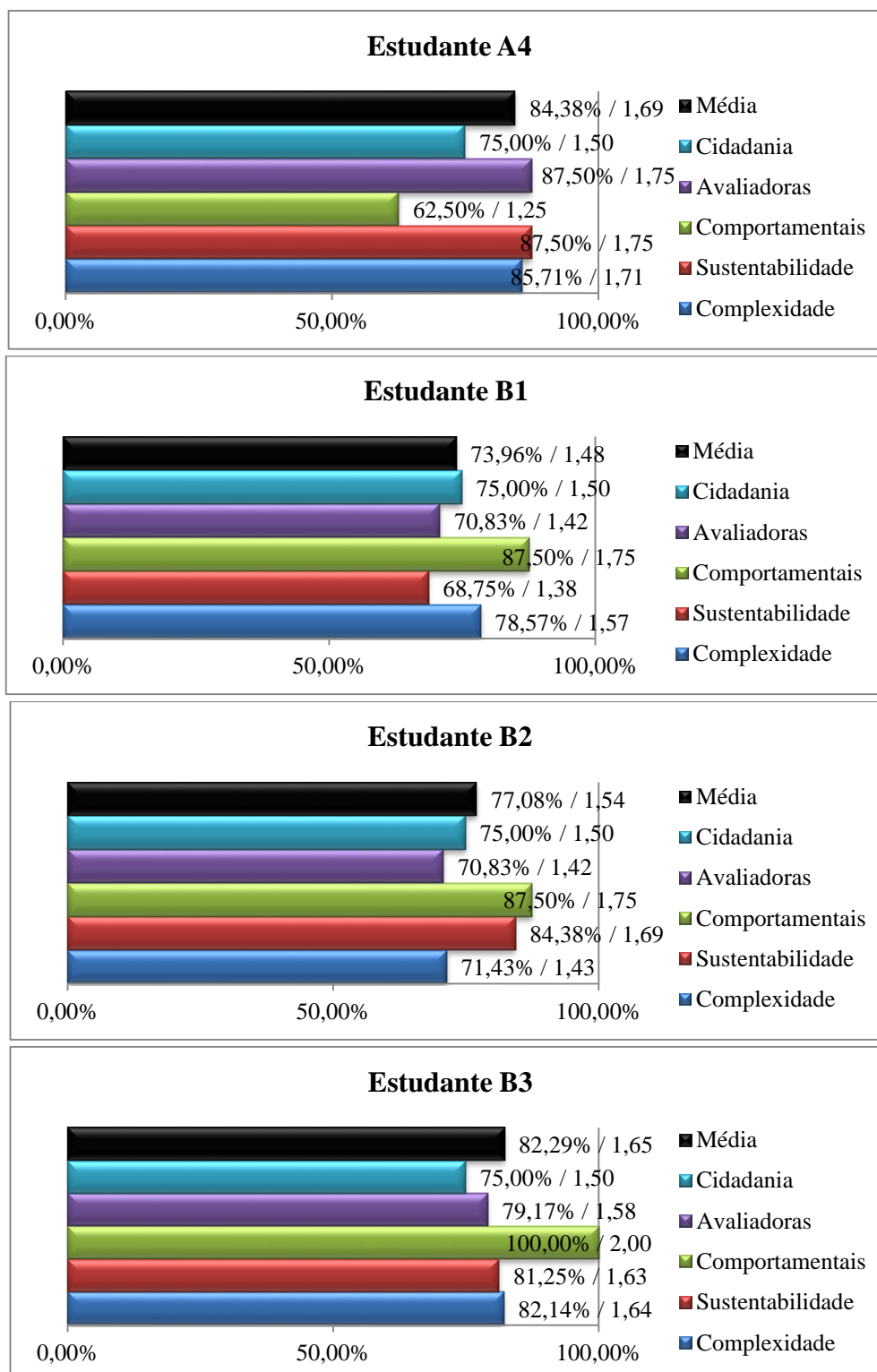


Figura 84 – Gráficos de barras dos percentuais e das médias dos pontos atribuídos às diferentes categorias dos estudantes do grupo experimental no pós-teste

Fonte: A autoria própria, 2014.

1) Categoria que diz respeito aos princípios da complexidade

Buscando determinar o perfil das concepções dos estudantes na categoria que diz respeito à consciência que estes devem ter quanto ao meio ambiente global e dos problemas a

ele conectados, pudemos constatar pelo critério 1 que os estudantes A1, A2, A3 A4, B1, B2 e B3, atingiram uma média de pontos de 1,64, 1,79, 1,64, 1,71, 1,57, 1,43 e 1,64 respectivamente que, correspondem a um nível médio alto de concepções. Orientado pelo critério 2, pudemos perceber um índice alto de posicionamentos do grupo quanto a esta categoria e, a combinação do critério 1 com o critério 2, resultou num perfil bom de concepções.

2) Categoria que diz respeito aos conhecimento dos conceitos que fazem interface com os conhecimentos da SD

Buscando determinar o perfil das concepções dos estudantes quanto a construção dos conhecimentos científicos que lhes permitem uma melhor atuação frente aos problemas ambientais, pudemos constatar pelo critério 1, que os estudantes A1, A3, A4, B2 e B3 alcançaram uma média de pontos de 1,69, 1,69, 1,75, 1,69 e 1,63 respectivamente que, corresponde a um nível médio alto de concepções. Orientado pelo critério 2, pudemos perceber um índice alto de posicionamentos do grupo quanto a esta categoria e a combinação do critério 1 com o critério 2 resultou num perfil muito bom. Analisando os dados quantitativos do estudante B1, podemos inferir que o mesmo atingiu, nesta categoria, uma média de 1,38 pontos, e que equivale pelo critério 1 a um nível médio de concepções. Ao analisar a tabela 3 do anexo 5, orientado pelo critério 2, pudemos perceber que os índices de posicionamentos foram altos na categoria analisada e o resultado da combinação do critério 1 com o critério 2 resultou num perfil de concepções considerado bom. Quanto ao estudante A2, observamos que este alcançou nesta categoria uma média de pontos igual a 1,88 pontos que corresponde a um nível alto de concepções. Analisando o critério 2, percebemos um índice alto de posicionamentos do grupo quanto a esta categoria e a combinação do critério 1 com o critério 2 resulta num nível ótimo desta categoria.

3) Categoria que diz respeito ao comportamento que devemos ter para atingirmos os objetivos da EA

Orientados pelo critério 1, buscando determinar o perfil das concepções que os estudantes devem ter a respeito do comportamento diante das questões ambientais, pudemos constatar que os estudantes A2, B1 e B2 atingiram uma média de pontos respectivamente de 1,75, 1,75 e 1,75 correspondentes a um nível médio alto de concepções. Analisando o critério 2, percebemos um índice alto de posicionamentos do grupo e a combinação do critério 1 com o critério 2 resultou num perfil bom desta categoria.

Revedo os dados quantitativos do estudante A4, podemos inferir que o mesmo atingiu, nesta categoria, uma média de 1,25 pontos, o que equivale pelo critério 1 a um nível

médio de concepções. Ao analisar a tabela 3 do apêndice 6, orientado pelo critério 2, pudemos perceber que os índices de posicionamentos foram altos na categoria analisada e o resultado da combinação do critério 1 com o critério 2 resultou num perfil de concepções considerado bom.

Quanto aos estudantes A1, A3 e B3 observamos que estes alcançaram nesta categoria uma média de pontos igual a 2,0 pontos que corresponde a um nível alto de concepções. Analisando o critério 2, percebemos um índice alto de posicionamentos do grupo quanto a esta categoria e a combinação do critério 1 com o critério 2 resulta num nível ótimo desta categoria.

4) Categoria que diz respeito aos conhecimentos avaliadores que devemos ter para atingirmos os objetivos da EA

Orientados pelo critério 1, buscando determinar o perfil das concepções dos estudantes quanto as capacidades que devem possuir para avaliar as medidas e programas relacionadas com a solução dos problemas ambientais, pudemos constatar que os estudantes A2, A3, A4, B1, B2 e B3, atingiram uma média de pontos respectivamente de 1,50, 1,42, 1,75, 1,42, 1,42 e 1,58 correspondentes a um nível médio alto de concepções. Analisando o critério 2, percebemos um índice alto de posicionamentos do grupo e a combinação do critério 1 com o critério 2 resultou num perfil bom desta categoria.

Revisando os dados quantitativos do estudante A1, podemos inferir que o mesmo atingiu, nesta categoria, uma média de 1,25 pontos, o que equivale pelo critério 1 a um nível médio de concepções. Ao analisar a tabela 3 do apêndice 6, orientado pelo critério 2, pudemos perceber que os índices de posicionamentos foram altos na categoria analisada e o resultado da combinação do critério 1 com o critério 2 resultou num perfil de concepções considerado bom.

5) Categoria que diz respeito à cidadania que devemos exercer para atingirmos os objetivos da EA

Orientados pelo critério 1, buscando determinar o perfil das concepções dos estudantes quanto ao desejo de participar da sua cidadania, pudemos constatar que os estudantes A1, A4, B1, B2 e B3, atingiram uma média de pontos respectivamente de 1,50, 1,50, 1,50, 1,50 e 1,50 correspondentes a um nível médio alto de concepções. Analisando o critério 2, percebemos um índice alto de posicionamentos do grupo e a combinação do critério 1 com o critério 2 resultou num perfil bom de concepções nesta categoria.

Revedo os dados quantitativos dos estudantes A2 e A3, podemos inferir que os mesmos atingiram, nesta categoria, uma média de 1,00 ponto, o que equivale pelo critério 1 a

um nível médio de concepções. Ao analisar a tabela 3 do apêndice 6, orientado pelo critério 2, pudemos perceber que os índices de posicionamentos foram altos na categoria analisada e o resultado da combinação do critério 1 com o critério 2 resultou num perfil de concepções considerado bom.

6) Análise da média geral de cada estudante dos grupos experimentais A e B e que dizem respeito às concepções dos objetivos da EA encontradas no pós-teste.

Quanto à análise das médias das concepções que dizem respeito às cinco categorias dos objetivos da EA (ver figura 85), os estudantes do A1, A2, A3, A4, B1, B2 e B3 apresentaram pelo critério1, uma média de 1,58, 1,71, 1,60, 1,69, 1,48, 1,54 e 1,65 pontos, sinalizando para um nível médio alto de concepções. Ao analisar a tabela 3 do apêndice 6, orientado pelo critério 2, pudemos perceber que os índices de posicionamentos foram altos nas cinco categorias analisadas e o resultado da combinação do critério 1 com o critério 2 resultou no critério final que classificou estas categorias num perfil muito bom de concepções.

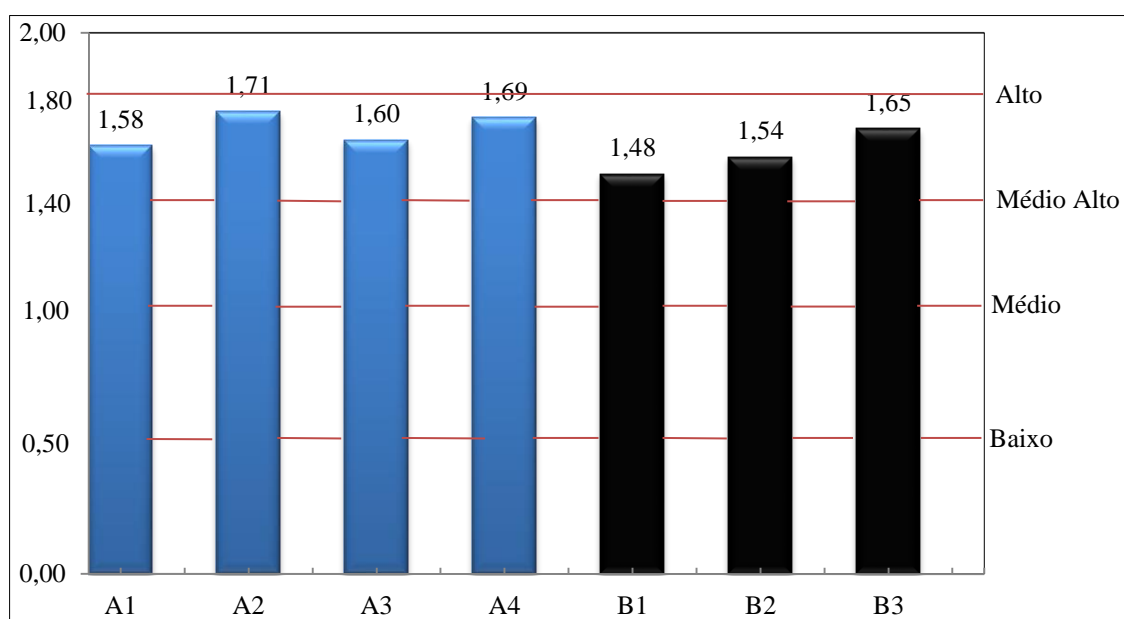


Figura 85 – Gráfico do perfil das concepções dos estudantes do grupo experimental no pós-teste
Fonte: Autoria própria, 2014.

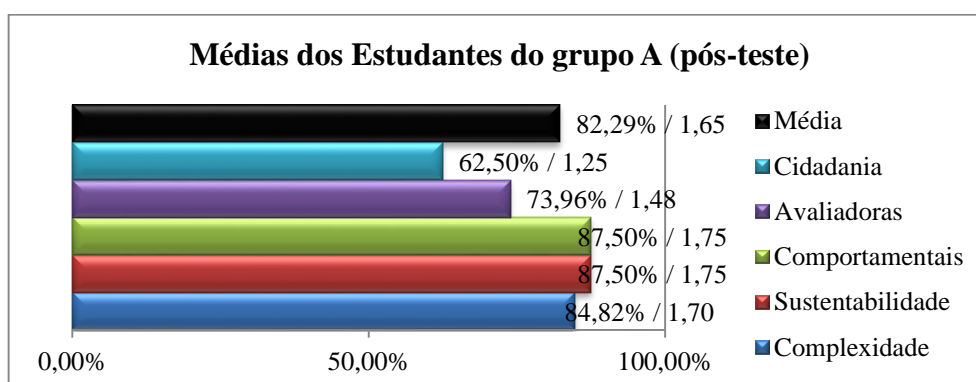
7.4.2.2 Análise dos dados pertinentes às concepções dos grupos experimentais A e B e que dizem respeito a cada uma das categorias dos objetivos da EA

Observando os gráficos da figura 86, procurando determinar o perfil das concepções dos grupos experimentais A e B que dizem respeito às categorias *complexidade*, *sustentabilidade*, *comportamentais*, *avaliadoras* e *cidadania* encontramos por categoria uma média de 1,70, 1,75, 1,75, 1,48 e 1,25 pontos respectivamente para o grupo A e 1,55, 1,56,

1,47 e 1,50 pontos respectivamente para o grupo B sendo que estas médias, com exceção da categoria *comportamentais* do grupo B que atingiu o valor de 1,83 pontos, correspondem a um nível médio alto de concepções. Ao analisarmos o critério 2 pudemos perceber que os índices de posicionamentos, foram altos nas cinco categorias analisadas e o resultado da combinação do critério 1 com o critério 2 resultou no critério final que classificou estas categorias num perfil muito bom de concepções.

7.4.2.3 Análise da média geral das concepções dos grupos experimentais A e B e que dizem respeito às categorias dos objetivos da EA

Quanto às análises quantitativas das concepções dos grupos experimentais A e B, que dizem respeito às cinco categorias dos objetivos da EA, pudemos observar, de acordo com os gráficos da figura 86, que os estudantes atingiram uma média geral de 1,65 e 1,56 pontos respectivamente, indicando pelo critério 1 um perfil médio alto das concepções. Ao analisarmos o critério 2 pudemos perceber que os índices de posicionamentos nos grupos foram altos nas cinco categorias analisadas e, o resultado da combinação do critério 1 com o critério 2, resultou no critério final que classificou as concepções a respeito das cinco categorias analisadas num perfil muito bom. Nesta situação há evidências de que necessariamente existiram aprendizagens significativas uma vez que as lembranças das informações e conteúdos existem estabelecendo uma conexão entre o novo e o conhecimento previamente adquirido, dando ao estudante a habilidade de compreender e dar significados a eles, utilizando-os numa situação nova e/ou específica, estando tais concepções alternativas predominantemente associadas a um conhecimento resultante de uma aprendizagem formal muito boa.



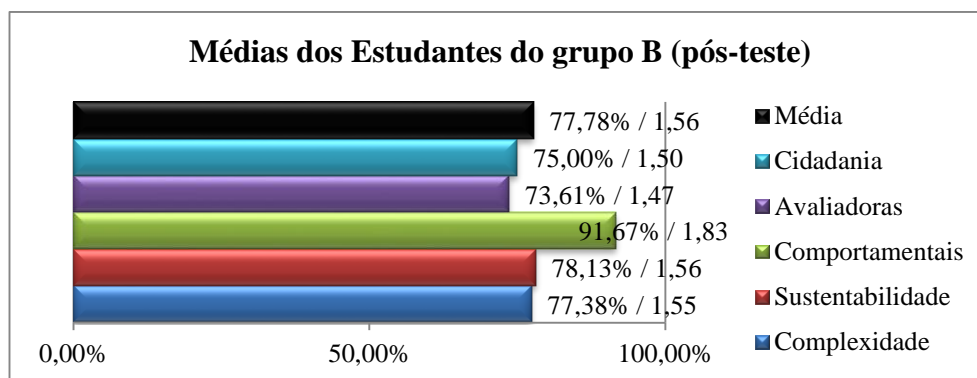


Figura 86 – Médias das categorias obtidas pelos estudantes dos grupos experimentais A e B no pós-teste
Fonte: Autoria própria, 2014.

7.4.2.3.1 Comparações das médias dos estudantes integrantes de cada um dos grupos experimentais A e B e também as comparações das médias destes com as dos estudantes do grupo de controle no pré-teste e no pós-teste

As comparações entre todas as médias das concepções dos estudantes do grupo experimental e do grupo de controle antes e depois da intervenção, estão apresentadas nos gráficos da figura 87 e nos permitem concluir que:

- Antes da intervenção todos os estudantes e os respectivos grupos alcançaram médias de pontuações a respeito de cada categoria que estavam associadas a um perfil baixo de concepções, excetuando-se as concepções sobre a categoria cidadania na qual o grupo de controle possuía um perfil regular que, como todas as outras, estavam associadas as concepções do senso comum adquirido informalmente.
- Após a intervenção podemos concluir que isoladamente e no geral, em todas as categorias, os estudantes e os seus respectivos grupos A e B, alcançaram médias que atingiram um perfil muito bom de concepções, sugerindo, com exceção da categoria comportamento, na qual os estudantes do grupo A, superando as expectativas, atingiram um perfil ótimo.

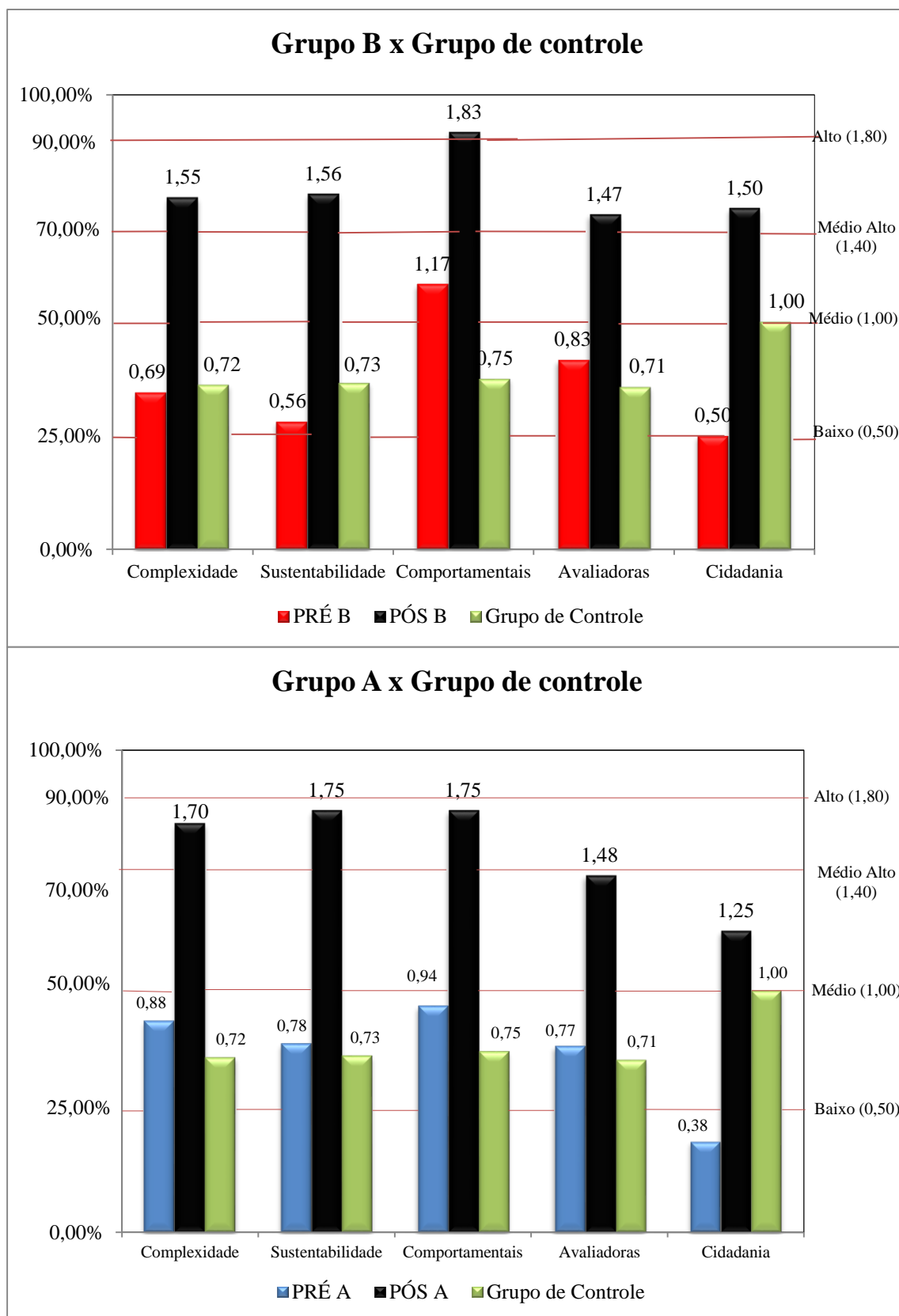


Figura 87 – Estudo comparativo entre o pré-teste e o pós-teste (grupos A, B e controle)
 Fonte: Autoria própria, 2014.

Com isso, podemos concluir que aquelas concepções prévias adquiridas informalmente por todos os estudantes de Engenharia Civil da FURG, até o início da intervenção, possuíam um perfil baixo e que mesmo estando associadas ao senso comum, permitiram aos mesmos formarem a ponte entre a velha e a nova informação, desencadeando o processo de assimilação com significado pretendida que, após a intervenção ficaram mais elaborados e mais estáveis, demonstrando a eficácia do método didático-pedagógico elaborado para esta pesquisa-ação.

7.4.2.4 Análise final e resultados dos dados fornecidos pelos grupos A e B a respeito do pós-teste

Após as análises qualitativas e quantitativas dos posicionamentos e justificativas apresentadas pelos estudantes dos grupos experimentais A e B e que dizem respeito às afirmativas apresentadas no segundo questionário, pudemos concluir que a proposta de preparar o estudante de Engenharia Civil para se tornar um sujeito ecológico foi alcançada uma vez que estes, após a intervenção orientada pela MP, pensando sistemicamente o campo ambiental, puderam construir concepções que os permitiu compreender os princípios, as finalidades e os objetivos da EA, reestruturando as maneiras com que passaram a perceber a complexa realidade do mundo.

Para tanto, a intervenção se orientou pelo método apresentado na seção 5.2.9.1 que, encaminhando a construção de um pensar sistêmico imprescindível para a compreensão conceitual da EA, buscou a formação de um estudante de engenharia questionador, flexível, inovador, tolerante, liberal e capaz de enfrentar as incertezas e ambiguidades da complexidade ambiental.

Dentro desta proposta, partimos dos conhecimentos prévios que formavam os modelos mentais dos estudantes antes da intervenção e, lidando com essas concepções construímos uma dinâmica de ensino que sendo crítica, reflexiva e questionadora, acabou por concretizar processos nos quais os estudantes, compartilhando significados em relação aos conteúdos educativos propostos, acabaram por tomar a decisão de construir os conhecimentos que os levassem a atingir os objetivos propostos por uma EA efetiva na materialização da SD nas atividades do Engenheiro Civil.

Para que pudéssemos atingir este objetivo, amparado no paradigma da complexidade, desenvolvemos a intervenção, buscando, em suas diferentes etapas, modificar alguns aspectos que estruturam o pensamento analítico dos estudantes, permitindo aos mesmos, ao refletir sobre as complexas e dinâmicas situações que envolvem a interação entre suas práxis e o meio

ambiente, superar a aprendizagem mecânica instituída no curso de Engenharia que, sendo imposta de maneira arbitrária, sempre induziu a fraca retenção dos conhecimentos construídos.

No gráfico da figura 88, podemos observar o perfil das concepções relativas aos posicionamentos e justificativas dos estudantes e que dizem respeito às categorias dos objetivos da EA após a realização do segundo questionário (pós-teste).

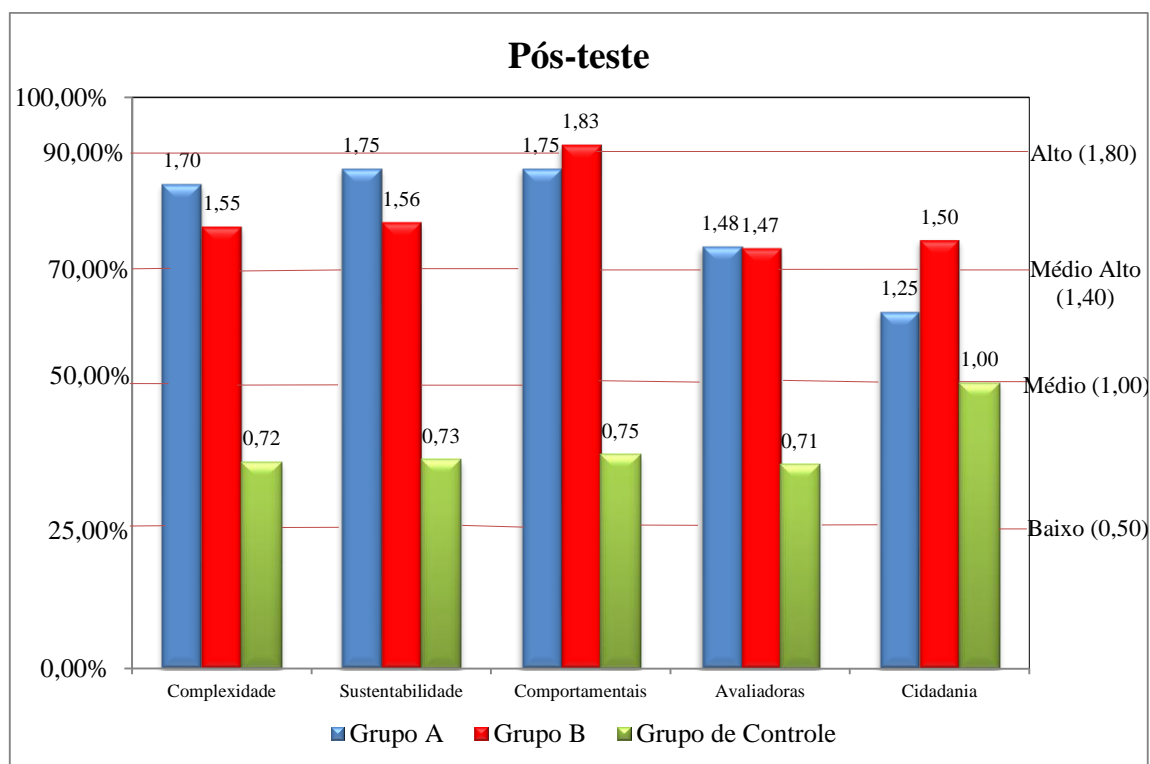


Figura 88 – Estudo comparativo das médias das concepções dos estudantes dos grupos A e B no pós-teste com as médias do grupo de controle no pré-teste
Fonte: Autoria própria, 2014.

Observando o gráfico, podemos inferir que as colunas das diferentes categorias referentes às concepções dos estudantes do grupo A quase espelham as do grupo B, sugerindo que na média, o aprendizado individual e de grupo teria sido compartilhado, fortalecendo com isso uma das propostas do método pedagógico adotado pelo pesquisador (ver seção 5.2.9.1). Neste processo é importante ressaltar que os estudantes dos grupos experimentais A e B teriam adquirido uma representação interna dos objetivos da EA semelhantes, assumindo dessa forma o comprometimento mútuo de manter essa visão, não só individualmente, mas no conjunto como um todo. Como afirma Senge (2005), nessa situação os estudantes compartilharam uma visão das suas concepções, mantendo-se unidos por uma aspiração comum, incentivados pelo desejo de se sentirem conectados a uma iniciativa importante.

Nesse caso, as representações internas individuais foram realmente compartilhadas nos grupos, concentrando energia e criando uma identidade comum entre pessoas diferentes, onde o estímulo em arriscar e experimentar e tentar chegar a um objetivo os manteve comprometidos com a pesquisa, mantendo o foco para o longo prazo, ignorando com isso os imediatismos, que sugerem soluções paliativas e simplistas. Com isso, podemos inferir que os grupos de estudantes, ao inter-relacionar o ensino com pesquisa, o Pensamento Sistêmico e as categorias dos objetivos da EA, passaram a compartilhar da mesma visão do conhecimento da SD, onde cada um pôde perceber a sua própria representação desse conhecimento, buscando percebê-lo de maneira semelhante a dos outros, podendo com isso compartilhar o entendimento com o todo, através das reflexões, da interação pessoal e dos questionamentos do pesquisador que, ao propor o seu modelo mental, facilitou os indícios de aprendizagem significativa expostos pelas análises de dados apresentadas no presente capítulo.

Sendo assim, podemos verificar através das análises realizadas nas seções anteriores que na média, os estudantes do grupo experimental atingiram um perfil muito bom das categorias analisadas, excetuando-se a categoria comportamental onde estes mostraram ter adquirido um perfil ótimo de concepções. Nessa categoria os estudantes, ao interagir com os seus conhecimentos prévios, puderam perceber valores que despertam o interesse em participar da melhoria e proteção do meio ambiente, entendendo de que nada adianta incentivar o desenvolvimento econômico e/ou o desenvolvimento social sem que tenhamos um ambiente saudável que encaminhe uma melhor qualidade de vida. Para tanto, expressaram em suas justificativas um sentido de valores sociais, o sentimento de interesse pelo meio ambiente e a vontade de contribuir para sua proteção e qualidade, tomando consciência de que para atingir esse objetivo, se faz necessário modificar o comportamento individual e social das pessoas. Ou seja, puderam expressar que é preciso adotar um comportamento que permita à sociedade uma distribuição igualitária de seus benefícios econômico-sociais, assegurando a qualidade ambiental para as gerações presentes e futuras.

Quanto às concepções sobre os princípios da complexidade ambiental, a figura 88 demonstra um perfil muito bom das concepções analisadas, uma vez que os estudantes, já pensando sistemicamente, relacionaram os problemas ambientais com o meio ambiente global, posicionando-se como parte integrante desse contexto, enxergando o meio ambiente como um sistema composto pelos aspectos bióticos, abióticos e pela cultura humana e entendendo a complexidade ambiental a partir de suas interdependências ecológicas, políticas, econômicas, sociais e tecnológicas. Também se posicionaram favoráveis a necessidade da introdução da historicidade do conhecimento como um processo libertador, uma vez que esta

perspectiva histórica permitiria aos mesmos, ao fazer análise dos fatos do passado diante do presente, poder planejar o futuro, caracterizando com isso indícios de aprendizagem significativa, uma vez que propõe a interação cognitiva entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio. Ainda nessa categoria expressaram um saber ambiental que se construiu a partir da concepção de uma totalidade que não se limita a divisões preconcebidas da ciência moderna, demonstrando em seus posicionamentos e justificativas, enxergar os fenômenos na sua totalidade, desenvolvendo um senso crítico e as habilidades necessárias para construir e transformar a sociedade sob um olhar sistêmico, enfocando na relação entre o ser humano e a natureza de forma retroativa e recursiva. Também, dentro do paradigma da complexidade, demonstraram a construção de um conhecimento que, a partir da totalidade do saber, não ficou limitado às divisões preconcebidas do ensino de Engenharia Civil, olhando para os prós e os contras das tecnologias apresentadas no curso, à luz de uma EA que fomenta a conscientização dos problemas ambientais e das soluções que poderiam ser pensadas para saná-los, não se deixando levar por utopias, como os das tecnologias científicas, que oferecem propostas de organização sem desorganização.

Quanto à compreensão dos problemas ambientais advindos da prática da Engenharia Civil, buscando se aproximar da SD foi possível verificar que os estudantes, em seus posicionamentos e justificativas, já conhecendo os princípios da complexidade e do pensamento sistêmico, demonstraram ter construído o conhecimento dos mecanismos que regem o sistema natural, confirmando definições, metodologias e leis que dizem respeito ao meio ambiente, reconhecendo o ser humano como o principal protagonista na determinação da garantia da manutenção do planeta, entendendo com isso as bases da SD através da interdependência dos aspectos econômicos, social e ambiental. Também demonstraram vislumbrar as potencialidades e amplitudes que surgem das ações interdisciplinares e que resultam na aproximação das ciências naturais com as ciências sociais, ao expressar através de um posicionamento crítico e inovador a respeito do ensino de engenharia, suas concepções a respeito da fragmentação do conhecimento no curso em questão, uma vez que este, ao se estruturar em conceitos, métodos e categorias próprias de cada disciplina, acaba por afastar o estudante dos conhecimentos que envolvem os problemas socioambientais. Apresentaram também posicionamentos e justificativas que alertam para os impactos negativos resultantes da interdependência entre o crescimento populacional e o atual MDE que incentiva o aumento desregrado da produção e consumo na área da indústria da construção civil.

Na categoria avaliadora, os estudantes também possuindo um perfil muito bom de concepções, demonstraram ter adquirido o conhecimento necessário para poder avaliar os

diferentes sistemas que envolvem a interação dos aspectos da engenharia com o meio ambiente, bem como poder participar desse processo, resgatando direitos e promovendo uma ética capaz de conciliar a natureza e a sociedade. Em seus posicionamentos e justificativas mostraram concepções a respeito das capacidades que devemos possuir para avaliar as medidas e programas relacionados com o meio ambiente e que estão associados a uma ordem ecológica, política, econômica, social, estética e educativa, decifrando a linguagem dos projetos de risco ambiental, procurando desvendar a linguagem técnico-científica que mascara práticas que encaminham os problemas ambientais e também, quando possível, reconheceram suas próprias deficiências no que diz respeito à solução dos problemas ambientais.

Quanto à categoria cidadania, que diz respeito à afirmativa 11, os estudantes atingiram um perfil muito bom, entendendo a possibilidade de uma EA que possa despertar nas pessoas o desejo de participar na construção de sua cidadania, percebendo suas responsabilidades e necessidades de ação imediata para a solução dos problemas ambientais.

CAPÍTULO 8

Neste capítulo, responderemos as questões de pesquisa, apresentando as conclusões alcançadas por esta pesquisa-ação, e algumas recomendações que possam colaborar com trabalhos futuros na área estudada.

8.1 Considerações iniciais

Para finalizarmos o trabalho, se fez necessário inter-relacionar as propostas de cada um dos capítulos anteriores, onde foram desenvolvidas teorias e práticas orientadas para os objetivos do trabalho, encaminhando as respostas das questões de pesquisa formuladas na seção 1.3.1. Nesse processo, analisamos os dados e descrevemos os resultados obtidos, apresentando nossas conclusões, bem como algumas recomendações para trabalhos futuros que pudessem contribuir para a transversalização da EA no curso de Engenharia Civil da FURG, incentivando com isso a realização de ações didático-pedagógicas que, amparadas nos princípios do Pensamento Sistêmico e na ferramenta de modelagem computacional STELLA, viessem a introduzir e trabalhar com os princípios da SD nos planos de ensino do referido curso. Antecedendo as recomendações finais, apresentamos um breve histórico dos problemas que originaram esta pesquisa-ação e dos objetivos que acabaram por encaminhar as questões de pesquisa, cujas respostas apresentamos no transcorrer deste capítulo.

8.2 O problema

Os impactos ambientais provocados pelo exercício das atividades da Engenharia Civil vêm se agravando e já podem ser percebidos em nosso cotidiano, através da maneira como a população esgota os recursos naturais, notadamente os materiais da indústria da construção civil. Embora, nos dias atuais, tais impactos ambientais sejam cada vez mais divulgados pela mídia, temos observado que os envolvidos com o sistema de ensino da área de Engenharia Civil da FURG, ao não valorizarem a importância desses impactos, acabam por não

estabelecer uma relação entre as atividades de docência com os pressupostos didático-pedagógicos da EA. Assim, iniciamos este estudo apoiados, tanto em nossas experiências docentes como nas atividades profissionais de engenheiro civil, verificando que a maioria dos atores envolvidos com o ensino e com os procedimentos administrativos que respondem pelo funcionamento deste sistema, acabam por incentivar a utilização da metodologia tecnicista, estabelecendo uma aprendizagem mecânica, forjando modelos mentais que trabalham os conteúdos disciplinares de forma fragmentada e isolada, num contexto em que os estudantes, ao se tornarem acríticos e ingênuos, perdem a capacidade de pensar os problemas de forma concreta, afastando-se cada vez mais de uma realidade complexa na qual o meio ambiente se modifica continuamente.

Sendo assim, entendendo que esse sistema de ensino, é um dos impeditivos à transversalização da EA no referido curso, nos propusemos apoiados no paradigma da complexidade, a pesquisar ações que pudessem colaborar com a mudança desejada, entendendo que as soluções para os problemas advindos da interação dos sistemas antrópicos da Engenharia Civil com o meio ambiente, não podem ficar atreladas a métodos e teorias que propõem a análise de objetos e de suas partes constituintes, o reducionismo, o determinismo, as relações de causa e efeito lineares com suas aditividades e a ideia da que universo funciona de acordo com mecanismos como se fosse uma máquina.

8.3 Objetivos

Do acima exposto, entendemos que para modificar essa situação, faz-se necessário inserir em todas as dimensões que envolvem o ensino e aprendizagem do curso em questão, uma EA com seus princípios, objetivos e finalidades que, estimulando docentes e discentes a pensarem sistemicamente o campo ambiental, pudessem adquirir a habilidade para entender e interagir com as peculiaridades inerentes à complexidade ambiental.

Assim esta pesquisa-ação teve como objetivo geral, abordando conceitos de diferentes campos dos saberes, agregar conhecimentos para a elaboração de um método que, sob a perspectiva do paradigma da complexidade, pudesse articular os aspectos didático-pedagógicos da EA no ambiente de modelagem computacional com utilização do STELLA, incentivando com isso docentes e discentes do curso de Engenharia Civil da FURG, a tomar a decisão em atingir os objetivos propostos pela EA que, em última análise, busca construir e trabalhar os conhecimentos da SD forte no âmbito do sistema de ensino do curso analisado. Dessa maneira, pretendendo dar os primeiros passos para a elaboração de um sistema de

conhecimento e aprendizagem que, alcançando o Pensamento Sistêmico, pudesse colaborar para a transversalização da EA no referido curso, na busca do objetivo geral, deparamo-nos com os objetivos específicos desta pesquisa-ação, que foram os seguintes:

a) Realizar uma pesquisa bibliográfica que nos permitisse, ao inter-relacionar diferentes aspectos interdisciplinares, estruturar uma rede sistêmica de conhecimentos que pudesse colaborar para o encaminhamento de uma práxis didático-pedagógica sistêmica associada ao objetivo geral da pesquisa-ação.

b) Dar os primeiros passos na direção de um método de ensino e aprendizagem interdisciplinar que, utilizando como tecnologia inovadora a modelagem computacional com STELLA, pudesse propiciar a construção de conhecimentos que permitissem colaborar para os estudos dos processos mitigadores, que dizem respeito aos problemas ambientais na área de ensino analisada.

c) Propiciar aos estudantes de Engenharia Civil da FURG, a utilização de um material instrucional inovador que, alcançando o Pensamento Sistêmico apoiado pela tecnologia inovadora do *software* STELLA, possibilitasse problematizar situações que dizem respeito aos impactos ambientais envolvidos com o processo de ensino na Engenharia Civil, verificando evidências da construção desse conhecimento em suas estruturas cognitivas.

d) Verificar, quando da utilização do método, indícios de aprendizagem significativa de acordo com a teoria de Ausubel e Novak (ver seção 4.3.1), no que diz respeito ao domínio cognitivo.

e) Dar os primeiros passos na direção de um método que pudesse, após a coleta e a análise dos dados, expressar os avanços e as dificuldades encontradas pelos estudantes no que diz respeito às concepções construídas durante a sua aplicação.

f) Através do método, verificar as vantagens e desvantagens dos procedimentos propostos no que diz respeito a evidências da construção de conhecimentos das categorias dos objetivos da EA, pelos estudantes do curso de Engenharia Civil da FURG.

g) Analisar os resultados de aprendizagem objetivando o predomínio do domínio cognitivo, onde são enfatizadas a recordação ou a resolução de alguma tarefa intelectual e, se possível, observar a utilização das capacidades psicomotoras e afetivas, que se expressam em termos de interesses, atitudes, valores e tendências emocionais que pudessem colaborar com o nosso propósito maior.

h) Promover a utilização do método como um instrumento capaz de introduzir a EA no curso de Engenharia Civil da FURG.

8.4 As questões de pesquisa e suas respostas

Tendo evidências das dificuldades que existem, para inserção da EA como instrumento primordial na construção do conhecimento da SD (ver seção 8.5) no contexto da FURG, principalmente no âmbito dos cursos técnicos, mais especificamente na Engenharia Civil, e acreditando que esta é o instrumento primordial na formação dos discentes que irão se deparar com a atual realidade ambiental, formulamos de maneira mais detalhada as questões de pesquisa, que agora são respondidas fundamentadas na análise dos dados realizada nos capítulos 6 e 7.

a) Qual é o perfil dos estudantes de Engenharia Civil da FURG, no que diz respeito às suas concepções sobre teorias e práticas que podem encaminhar, através da EA, uma futura gestão ambiental sistêmica (GAS) quando da interação de sua práxis com o meio ambiente?

Observando os resultados apresentados nas seções 7.2.2.2 e 7.3.2.3 e que estruturam o gráfico da figura 78, podemos inferir da análise qualitativa que os posicionamentos e justificativas apresentados pelos grupos de controle e experimental refletem concepções que diziam respeito a um saber científico compartimentado e restrito aos campos especializados de Engenharia Civil, mencionados em comentários simplistas e menos complexos do que aqueles exigidos pelo saber ambiental e que pouco poderiam influenciar na tomada de decisão em atingir os objetivos propostos por uma EA efetiva nos processos de GAS. Constatamos ainda nesta análise, que tais comentários careciam das capacidades e habilidades necessárias para encaminhar a sensibilização, a compreensão, a participação, os comportamentos e os conhecimentos necessários à realização de um projeto de engenharia ambientalmente sustentável.

Quanto às análises quantitativas dos posicionamentos e justificativas apresentadas pelos estudantes, pudemos averiguar, a partir dos resultados encontrados, que os mesmos possuíam um perfil baixo de concepções a respeito das categorias dos objetivos da EA que, sendo condizentes com um nível e um índice de posicionamento baixo das concepções, encaminhavam uma realidade na qual os estudantes demonstraram não ter certeza se as afirmativas estavam corretas, apresentando justificativas até certo ponto coerentes, mas que refletiam uma aprendizagem mecânica e memorística demonstrada pelas vagas lembranças das informações e conteúdos pesquisados, sendo que estas concepções, ao envolver certezas intuitivas e pré-críticas, estariam associadas ao senso comum adquirido pela aprendizagem informal.

Estas duas análises nos permitem concluir que a indiferença à aproximação da EA e às questões ambientais por parte dos estudantes de Engenharia Civil, resultou de ações e práticas de ensino que no cotidiano se orientavam pela racionalidade imposta pelo pensamento analítico, vindo com isso a construir um conhecimento informal e intuitivo associado às informações veiculadas pela mídia, leituras direcionadas, jornais, internet e outros que, sendo processadas cognitivamente, acabaram por fortalecer os modelos mentais dos estudantes participantes da pesquisa.

b) Como a metodologia tecnicista pode influenciar na formação dessas concepções?

De acordo com as análises dos posicionamentos e justificativas apresentadas nas seções 7.2.2.2 e 7.3.2.3, que dizem respeito às afirmativas do primeiro questionário, concluímos que o sistema de ensino analisado, ao priorizar o pensamento analítico e os pressupostos do paradigma newtoniano-cartesiano, acaba por adotar o método tecnicista que incentiva a memorização pela reprodução dos conhecimentos, encaminhando uma aprendizagem mecânica e acrítica, que estimula os estudantes a trabalharem os conteúdos de forma fragmentada e isolada, perdendo com isso a capacidade de pensar os problemas ambientais de forma mais realística. Tal sistema de ensino, ao impedir o alcance ao Pensamento Sistêmico que leva à compreensão do meio ambiente global e a interdependência entre todas as coisas, acaba por incentivar o desconhecimento das questões que envolvem a EA, complexidade ambiental e o tratamento interdisciplinar necessário para construir o conhecimento da SD (ver seção 8.5), impossibilitando ao estudante enxergar o entrelaçamento dos sistemas antrópicos ligados à Engenharia Civil com as subjetividades e com os aspectos éticos, estéticos, econômicos e político-sociais necessários para promover ações que resultem na preservação do meio ambiente.

c) Como podemos alterar o perfil das concepções dos estudantes de Engenharia Civil quando educados ambientalmente?

Partindo da hipótese de que a formação de um Engenheiro Civil sistêmico não poderia ocorrer no atual sistema de ensino tecnicista do curso de Engenharia Civil da FURG, e também da comprovação dessa hipótese quando da análise dos dados do primeiro questionário (ver seções 7.2.2 e 7.3.2), onde foi verificado o baixo perfil das concepções apresentadas pelos estudantes no que diz respeito às categorias que lhes permitiriam tomar a decisão de atingir os objetivos propostos pela EA, elaboramos um método de ensino que, motivando os estudantes a construir um saber ambiental, viesse ao encontro dos objetivos propostos por esta pesquisa-ação. Tal sensibilização pôde acontecer através de processos que, envolvendo o *aprender a aprender*, permitiram aos estudantes interagir com as questões

ambientais através dos pressupostos didático-pedagógicos da MP, fazendo com que estes ao superarem o pensamento analítico e alcançando o Pensamento Sistêmico, pudessem integrar os objetivos da EA com a tecnologia inovadora do *software* STELLA. Com essas ações, os estudantes, de acordo com os resultados encontrados nas seções 7.4.1 e 7.4.2.2, ao pensar sistemicamente as questões que envolviam a complexidade ambiental, desenvolveram um senso crítico que os habilitou a enxergar as relações entre o ser humano e a natureza de maneira mais real, podendo assim promover a transformação e a construção de uma nova sociedade mais ética e solidária.

Esse objetivo, de acordo com o método proposto, foi alcançado através de aulas expositivas e dialogadas que, integrando os conteúdos interdisciplinares planejados com as atividades expressivas e exploratórias com o *software* STELLA (ver as redes sistêmicas das figuras 49 a 52), trouxeram à tona aspectos de seus modelos mentais já modificados. Essa nova condição, que tem como característica principal a recursividade, permitiu aos estudantes visualizar a estrutura e o funcionamento de alguns sistemas ambientais, ressaltando as complexas interações que ocorrem em sua organização. Tal condição pôde ser comprovada a partir da análise das informações prestadas quando da realização do segundo questionário (ver seção 7.4.2.4), onde foi possível verificar que os estudantes, em aspectos que dizem respeito à complexidade ambiental, ao se desprenderem de conceitos e estratégias irrelevantes para a sobrevivência do planeta, das verdades absolutas e da ideia de que cada efeito é o produto de uma só causa, apresentaram uma integração dos conceitos das ciências sociais com as naturais, se libertando com isso da condição de indivíduos passivos, ingênuos, inflexíveis e conservadores que caracteriza a educação tecnicista.

Outro procedimento pedagógico de sensibilização que, integrado à MP, pôde colaborar para que pudéssemos alterar o perfil das concepções dos estudantes, contribuindo para que estes viessem a compreender o processo conceitual da EA, sentindo-se como parte do contexto ambientalista, foi a realização da microintervenção (ver seção 5.2.9.1, quarta etapa) que envolveu o grupo A experimental. Nessa microintervenção, foi proposta a emersão de subjetividades, que resultaram do intercâmbio das ações envolvendo a realização de um vídeo onde puderam ocorrer as trocas de informações, a convivência entre os estudantes e o desenvolvimento de atividades temáticas que dizem respeito à harmonização do homem com a sociedade, da sociedade consigo mesma e com o seu entorno ambiental, de acordo com os pressupostos das Três Ecologias de Guattari (1998).

A realização do vídeo, que pode ser acessado pelo *site* do PPGEA (<http://www.educacaoambiental.furg.br/>), foi planejada como uma ferramenta que,

aproximando os estudantes da realidade, pôde contribuir para a identificação, estudo e avaliação de problemas ambientais, expressando subjetividades que se traduziram num aprendizado no domínio afetivo, onde os estudantes puderam evidenciar atitudes, a adoção de valores e tendências emocionais ligadas ao interesse pelas questões ambientais, podendo com isso incentivar a comunidade em geral, em especial a universitária, a realizar ações de transformação social, proteção e preservação do meio ambiente.

Convém ressaltar que tal processo pôde colaborar com o método adotado, pois, embora o objetivo geral desta tese fosse analisar o domínio cognitivo, que enfatiza as tarefas intelectuais dos estudantes, o resultado da aprendizagem como um todo ocorre simultaneamente com outros dois domínios: o psicomotor que diz respeito ao sucesso nas ações que envolveram a manipulação com o *software* STELLA, e o afetivo onde pudemos, através da realização do vídeo, verificar resultados de aprendizagem expressos em termos de interesses, atitudes, apreciações, valores e disposições expostos pelos estudantes do grupo A experimental. Nessas situações foi possível inferir que houve mudanças de subjetividades, incentivadas por *Klinamens* ou a criação da novidade, em que os estudantes puderam, através da autoanálise e da autogestão, articular as ecosofias social, mental e ambiental (GUATTARI, 1998) respaldados pelos resultados encontrados nas seções 6.5 e 7.4.2.4, que apresentam o encaminhamento de processos de re-singularização no que diz respeito às questões do meio ambiente, despertando, especialmente no grupo A, o interesse em realizar, posteriormente à intervenção da disciplina LAIEC I, outro trabalho que teve continuidade na disciplina LAIEC II, em que foi pesquisado, através do RTQ-R²⁰, o baixo nível de eficiência energética dos projetos propostos para o trabalho de conclusão do curso de Engenharia Civil da FURG (TCC) finalizado em meados de 2014. Nessa pesquisa, o projeto original ficou etiquetado entre as letras C e E. Nesse segundo trabalho os estudantes alcançaram outros níveis de consciência, elaborando estratégias de projeto e iniciativas que, associadas a uma análise mais detalhada dos vários aspectos do prédio, como o projeto elétrico, o projeto de GLP (gás liquefeito de petróleo), o estudo de cores externas e outras, puderam reduzir de forma expressiva o consumo de energia, aumentando a eficiência da edificação para a letra A, reduzindo com isso significativamente o consumo de energia e a degradação ambiental advinda deste excesso de geração de energia elétrica.

²⁰ RTQ-R – Regulamento Técnico da qualidade para classificar o Nível de Eficiência Energética de Edificações e Residências, cujo objetivo é capacitar o profissional a submeter o referido projeto a etiquetagem. Os cinco níveis de eficiência são respectivamente, E (pt < 1,5), D (1,5 ≤ pt < 2,5), C (2,5 ≤ pt < 3,5), B (3,5 ≤ pt < 4,5) e A (pt ≥ 4,5), sendo que A define o nível superior mais elevado de eficiência energética (ELETROBRÁS, 2012).

d) Como a modelagem computacional com STELLA, num processo didático-pedagógico, pode ser utilizada como uma tecnologia inovadora que venha a reforçar o pensamento sistêmico, propiciando ao estudante visualizar, compreender e construir concepções sobre os objetivos da EA, mediante informações já apropriadas por sua estrutura cognitiva?

Atualmente vivemos em um mundo cada vez mais interconectado e dinâmico, que, estando sujeito às visões e interpretações das pessoas, exige uma nova maneira de pensar que não seja aquela imposta pelo velho paradigma da ciência. Essa condição impõe o desenvolvimento de um pensar sistêmico que, inserindo aspectos do pensamento analítico na estrutura cognitiva de quem aprende, possa desenvolver metodologias que promovam a construção de conhecimentos, auxiliando na investigação, descrição e atuação em processos que possibilitem mudanças e transformações estruturais nas interações que envolvem os sistemas antrópicos e o meio ambiente, observando as consequências desses atos que podem ser muito diferentes no curto e no longo prazo, no local e no global.

Orientado pelo método adotado na seção 5.2.9.1, que buscou a mudança de pensamento dos estudantes do grupo experimental, procuramos substituir as ideias lineares introjetadas pela ciência moderna que predomina no curso de Engenharia, abrindo espaço para a construção de estruturas cognitivas que permitam a integração das partes em um todo, reconhecendo também a integração do todo no interior das partes.

Tais processos, para serem entendidos e comunicados, exigem uma maneira de conhecer e pensar que deve ser expressa através de uma linguagem. Assim, para poder ler, conceituar, comunicar e analisar os aspectos da complexidade ambiental, que estão associados às dinâmicas mudanças do nosso mundo, fez-se necessário conhecer um linguajar e um pensar sistêmico que, através dos símbolos que o codificam, pôde expressar a aprendizagem de tais conhecimentos. Entretanto, essa linguagem sistêmica, assim como qualquer outra, se aprende lendo, falando e escrevendo e, para podermos dominá-la, desenvolvemos, através do material instrucional dos apêndices 2, 3 e 4, um plano de ações que acabou por encaminhar um aprendizado que, além de construir uma forma de pensar sistêmica, pôde colaborar para o desenvolvimento das habilidades e capacidades de conceituar os princípios da complexidade, uma vez que no sistema de ensino analisado, os métodos, teorias e ferramentas que buscam na Lógica, na Matemática e na Física explicação para a realidade através de um linguajar mecanicista, encaminham uma forma de pensar analítica que fortalece a racionalidade instrumental.

Nesse contexto, a modelagem computacional com STELLA pôde se tornar uma ferramenta que permitiu aos estudantes alcançar o Pensamento Sistêmico como um quadro de

referência conceitual alternativo ao pensamento analítico, pois conforme nos mostram as análises dos resultados das redes sistêmicas das atividades expressivas e exploratórias com STELLA (ver seção 6.5) e das afirmativas que dizem respeito aos princípios da complexidade (ver seção 7.4.1 e 7.4.2.4), tais atividades vieram a incentivar os estudantes a tomar a decisão de atingir os objetivos propostos pela EA, aprendendo a aprender e pensar numa efetiva gestão do meio ambiente, construindo conhecimentos e desenvolvendo habilidades que pudessem promover a SD (ver seção 8.5), nas atividades que dizem respeito ao ensino de Engenharia Civil. Nesse processo, os estudantes foram sensibilizados para conceituar a complexidade e entender o dinamismo do meio ambiente, através das técnicas de simulação computacional com o *software* STELLA, que pôde ser utilizado não somente como uma ferramenta capaz de colaborar para a aprendizagem da linguagem, das teorias e dos métodos que envolvem o Pensamento Sistêmico, mas também proporcionando a construção de um conhecimento individual e coletivo atrelado a um modelo mental capacitado para explicar, descrever e fazer previsões e também de se autocorrigir em decorrência do erro, ou seja, atuar sobre os modelos mentais, modificando-os recursivamente, até que os estudantes pudessem alcançar uma funcionalidade que satisfizesse os propósitos dessa pesquisa-ação. Resumindo, a aplicação de um material instrucional com o ambiente de modelagem computacional STELLA, pôde colaborar com nossa pesquisa, adicionando aprendizagem ao processo uma vez que este, no domínio da ação, fomentando o Pensamento Sistêmico, utiliza a linguagem sistêmica para construir micromundos, simulando a passagem do tempo, permitindo uma aprendizagem experiencial menos arriscada e difícil do que aquela associada à realidade, auxiliando a prever ou prognosticar o comportamento de um sistema ambiental no futuro. Esse processo que ocorre no domínio da ação, ao interagir com o domínio da aprendizagem, estimulando o desenvolvimento de capacidades e habilidades de conceituação, acabou por capacitar os estudantes a construir descrições coerentes da complexidade ambiental.

e) Como pode ser sugerida, sob a ótica da EA, a utilização da modelagem computacional com STELLA, como meio auxiliar no processo de ensino e aprendizagem em disciplinas profissionalizantes do curso de Engenharia Civil?

Após constatarmos, através da análise dos resultados do primeiro questionário, o baixo perfil das concepções dos estudantes que integram o atual sistema de ensino de Engenharia Civil da FURG (ver seções 7.2.1.1 e 7.3.2.3), ficava evidente que não poderíamos exigir destes, como futuros engenheiros, uma preocupação com o consumo dos materiais naturais, bem como com os impactos ambientais advindos de suas atividades, uma vez que os conteúdos programáticos do referido curso buscam, em última análise, a relação custo-

benefício com foco primordial no lucro. Essa situação pode ser verificada na medida em que o número de engenheiros civis formados no Brasil aumenta, e isso se reflete na forma como a população esgota os recursos naturais, notadamente os materiais de construção, cujo consumo, segundo Seiffert (2007), já ocupa a terceira colocação no índice de consumo mineral do País.

Com isso, ficava evidente a necessidade de reforçarmos no referido curso a dimensão ambiental em seu currículo, podendo com isso intervir na formação de um sujeito ecológico que, trabalhando com os princípios da SD (ver seção 8.5) em suas atividades, pudesse colaborar para a construção de uma sociedade mais sustentável.

Orientado por nossos objetivos, entendemos que uma das estratégias para adicionar aprendizagem ao sistema de ensino estudado, seria integrar a modelagem computacional com STELLA como uma ferramenta que pudesse, através dos princípios da Dinâmica de Sistemas, representar processos e definir o comportamento dos sistemas que envolvem as questões ambientais.

Para encaminhar tal proposta, primeiramente se faz necessário colocar em prática atividades interdisciplinares nas quais o professor (segundo os aspectos do artigo 9.º da Lei n.º 9.795, que diz respeito à EA), ao receber uma formação complementar em sua área de ensino, visando atender adequadamente o cumprimento dos princípios e objetivos da PNEA, deve fazer uma revisão dos conteúdos da disciplina por ele ministrada, identificando aqueles conceitos que são os mais importantes e que dizem respeito aos problemas que envolvem sua disciplina e a gestão de recursos naturais. Num segundo momento, aconteceria uma convergência entre essa disciplina e outra ministrada por um *educador ambiental*, tomando como exemplo a disciplina Sustentabilidade na Engenharia Civil, onde ocorreria a complementaridade entre elas. Ou seja, o tema ambiental seria iniciado por uma disciplina e retomado por outra que promove a EA.

Nesse processo, a ferramenta de modelagem computacional STELLA pôde ser utilizada, colaborando com estudos que envolvam as interações dos sistemas humanos com o meio ambiente, enfatizando características estruturais, tais como o controle dos *feedbacks*, possibilitando o desenvolvimento de modelos de simulação e encontrando as melhores formas de operação desses modelos. Nesse caso é importante reforçar a ideia de que o *software* STELLA é uma ferramenta que incentiva os estudantes a pensar a respeito das consequências de suas próprias ações, partindo do pressuposto de que o mundo pode ser considerado como um conjunto de sistemas interligados, cujas fronteiras dependem em parte do ponto de vista do observador.

Para melhor esclarecer esse procedimento, tomamos como referência a disciplina Sustentabilidade na Engenharia Civil, que pode ser oferecida no curso analisado. Nela podem ser realizados estudos de sistemas que inter-relacionam projetos de engenharia e aspectos ambientais como o diagnóstico ambiental da área física em questão, a avaliação dos impactos ambientais advindos da execução de determinados projetos, estudos das ações mitigadoras desses impactos ambientais e a elaboração de programas ambientais. Nesses diferentes estudos, os modelos de simulação com o *software* STELLA, poderiam ser utilizados, a partir de um conjunto de hipóteses ou pressupostos que permitissem avaliar o comportamento dinâmico de determinadas entidades previamente detectadas na disciplina associadas ao processo. Nesse caso, após transformarem os diagramas causais em diagramas de fluxos, os estudantes poderiam traduzir qualquer situação, que envolvesse relações complexas entre entidades qualitativas e/ou quantitativas em sistemas naturais e/ou sociais. Em geral, tais modelos trabalhando com as entidades representadas por níveis, taxas, conversores, permitirão explorar a não-linearidade e o inter-relacionamento de entidades que incluem a perspectiva temporal, apresentando rapidez de execução que possibilita a realimentação do sistema, tendo como vantagem a não exigência de conhecimentos que envolvam modelos matemáticos associados à experiência em computação.

f) Como pode ser estruturada uma possível metodologia sistêmica que venha a contribuir como gestora de um processo, que investigue a apropriação dessas concepções por parte dos estudantes? Como seria essa metodologia?

A aprendizagem sob a ótica sistêmica pode acontecer quando um planejamento de ações é posto em prática, através da exclusão de mudanças cognitivas instantâneas que não levam em consideração as questões da dinâmica complexidade da realidade, já que necessitam de um tempo de espera para a produção de seus efeitos. Com essa consciência elaboramos um método didático-pedagógico que, associado aos pressupostos do método sistêmico e aos aspectos didático-pedagógicos da MP, possibilitou ao pesquisador, expondo seu modelo conceitual, incentivar o comprometimento dos estudantes e encaminhar o processo, refletindo e questionando sobre os métodos e teorias adotadas, utilizando o princípio da alavancagem onde os melhores resultados poderiam acontecer mediante ações bem focalizadas.

Baseado no acima exposto e nos resultados alcançados com a pesquisa (ver resultados gerais, seção 7.4.2.4), propomos um método orientado pelas seguintes fases.

Na primeira fase, o professor busca conhecer o modelo mental dos estudantes de Engenharia Civil, por meio de reuniões preliminares e da aplicação de um material instrucional que o possibilite observar a estrutura de tais modelos. Nessa fase o professor deve

contextualizar e problematizar os temas que envolvem a EA, o Pensamento Sistêmico e a introdução dos princípios da SD no curso de Engenharia Civil. A discussão do projeto, na fase inicial, é importante e o professor necessita apresentar uma síntese do plano de trabalho que precisa ser submetido à apreciação dos estudantes. Tal discussão, que em última análise envolve a eficiência energética e suas consequências sociais e ambientais, deve ser realizada à luz do paradigma da complexidade, estimulando a participação dos estudantes e os motivando a apreciar, sugerir e reconstruir, se preciso for, as fases propostas para desenvolvimento da aprendizagem. Nesse processo é importante que o professor exponha claramente os objetivos a serem alcançados e as fases que orientarão o ensino com pesquisa. Também nesta fase deve ser apresentado um mapa conceitual dos conceitos a serem estudados, comentando para que e a quem eles possam servir, elaborando os conteúdos programáticos de maneira que suas exposições proporcionem a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora (seção 4.3.1), que possibilitarão um aprender a aprender de maneira significativa. Nesse contexto, é preciso localizar historicamente a temática abordada, citando alguns de seus desdobramentos filosóficos, sociais, econômicos, psicológicos e pedagógicos discutindo os possíveis caminhos a serem adotados pela disciplina.

A segunda fase refere-se às exposições teóricas, onde o professor apresenta as aulas expositivas e dialogadas que dizem respeito aos conteúdos e informações envolvidas com o mapa conceitual previamente elaborado, propondo reflexões críticas através de questionamentos e argumentações que visam auxiliar na investigação de possíveis soluções para a problemática ambiental estudada. Nesse processo, é preciso esclarecer as dúvidas dos estudantes, delimitando alguns assuntos pertinentes para a investigação a ser desenvolvida, ajustando mudanças estratégicas que evitam ficar submetidos à maneira de pensar analítica do passado, estimulando os estudantes a questionar e modificar as regras básicas do ponto de vista operacional da aula. Nesse processo, que abrange o *aprender a aprender*, é preciso desenvolver novas culturas, que os encorajem a assumir riscos e promover transformações, fortalecendo a consciência de que em situações de mudanças rápidas, com alto grau de incerteza, as dificuldades e os erros são inevitáveis. Com isso é possível propor uma abertura que promova o diálogo e a exposição de pontos de vista antagônicos, aceitando os enganos que resultam da incerteza e da falta de controle em determinadas circunstâncias, entendendo esse processo como fundamental para um novo aprendizado.

A terceira fase diz respeito à utilização de métodos, teorias e ferramentas que entrelaçam a complexidade ambiental, o Pensamento Sistêmico, a EA e a modelagem computacional com STELLA, através de aulas expositivas e dialogadas em que a reflexão, o questionamento e a

argumentação devem prevalecer tanto na sala de aula como no laboratório de informática. Essas aulas deverão ter o acompanhamento do professor que, ao expressar seu modelo conceitual, tentará compartilhá-lo com os estudantes juntamente com as atividades expressivas e exploratórias, que integram o ambiente da modelagem computacional com o *software* STELLA.

A quarta fase deverá ser elaborada junto aos professores das disciplinas profissionalizantes que confluem para o projeto de EA. Nessa fase o estudante deverá desenvolver uma *pesquisa e a produção de trabalho individual*, devendo ser estimulado a investigar o assunto que diz respeito aos problemas ambientais advindos dos conteúdos da outra disciplina envolvida na pesquisa, e que dizem respeito ao ensino de Engenharia. Para tanto, é necessário que o estudante procure informações em múltiplas fontes de conhecimento, desenvolvendo atitudes de busca e de investigação nos diversos recursos de que dispõe, tendo ao final a apresentação do seu trabalho perante o grupo. Nessa etapa o estudante deve manifestar suas opiniões crítica e reflexivamente, apresentando sua produção a partir da pesquisa realizada e que necessita ser compartilhada com seus colegas, onde deve ficar entendido que o conhecimento é um instrumento para indagar e intervir na realidade.

A quinta fase se resume a uma produção de texto coletiva que envolve a *modelagem computacional com STELLA* como a ferramenta que adiciona aprendizagem ao processo, construindo situações da realidade, de maneira que possamos avaliar as consequências das ações no tempo e no espaço. Nesse encaminhamento deverá ser proposto o trabalho em grupo, vindo com isso a acoplar e interconectar as produções individuais realizadas pelos estudantes que, sendo tomadas como referência, encaminharão a produção coletiva onde acontece a *discussão crítica e reflexiva* sobre o problema investigado. Cabe ao professor propor uma discussão a respeito da pesquisa e da apresentação da produção individual, em que os estudantes, com maturidade crítica e reflexiva, poderão expor e defender suas próprias ideias, bem como discutir com os colegas, desenvolvendo seu potencial como modelador.

A sexta fase diz respeito à *produção final* e propõe uma intervenção na realidade, ou seja, processos de alavancagem que compreendem ações individuais e coletivas na própria sala de aula, na universidade ou na comunidade. Essa fase permite aos estudantes compartilhar conhecimentos, apresentando suas produções num projeto final que pode ser, por exemplo, a realização de um vídeo ou outra atividade que envolva uma aplicação prática que possa integrar a EA e a GAS, como ferramentas que promovam a SD (ver seção 8.5 nas atividades do engenheiro civil).

g) Como podemos concluir que os estudantes do curso de Engenharia Civil, mediante a possível metodologia didático-pedagógica desenvolvida, evoluíram das concepções iniciais

para concepções mais elaboradas dos fenômenos que envolvem a prática da engenharia, mostrando indícios de aprendizagem significativa, exteriorizando conteúdos cognitivos de acordo com Ausubel?

Esta pesquisa-ação teve como um dos seus objetivos metodológicos o emprego de uma prática educativa que, sendo reflexiva e questionadora, permitisse a construção de concepções capazes de ir ao encontro de aprendizagens significativas, caracterizadas pela interação cognitiva entre o novo conhecimento e aquele conhecimento prévio adquirido pelos estudantes antes da intervenção. Assim, o trabalho se desenvolveu utilizando instrumentos de pesquisa que se mostraram eficazes, pois, embora os estudantes tivessem permanecido integrados à cultura do curso em questão, não ficaram submetidos a ela com seus ritos, mitos e ideologias demonstrando que, estando o arquétipo do pensamento analítico inserido no arquétipo do pensamento sistêmico, os mesmos interagem como um par de causa e efeito negativo (ver figura 32) onde o nível hierárquico do Pensamento Sistêmico se impõe. Para chegarmos a esta conclusão, partimos dos conhecimentos prévios que estruturavam os modelos mentais dos estudantes, demonstrados através dos posicionamentos e justificativas que diziam respeito às afirmativas do primeiro questionário (ver análise geral – seções 7.2.1.1, 7.2.2.3, 7.3.1 e 7.3.2.3). Com as concepções previamente existentes na estrutura cognitiva dos estudantes, construímos uma dinâmica de ensino onde os estudantes e pesquisador, ao compartilharem teorias e ferramentas pertinentes aos conteúdos da disciplina LAIEC I, mantiveram uma postura dialógica na sala de aula, dispensando as formalidades da aprendizagem mecânica, tão incentivadora das verdades, certezas e isolacionismos característicos do sistema analisado. Tal situação pôde ser comprovada através dos resultados apresentados, em que pudemos inferir que indícios de aprendizagem significativa puderam ocorrer, a partir dos conceitos introdutórios assimilados pela estrutura cognitiva dos estudantes que, tomando o senso comum da SD (ver seção 2.2) como organizadores prévios, puderam fazer a ponte para a formação de novos conceitos, associados ao perfil muito bom de concepções (ver seção 7.4.2.4), demonstrando conhecimento, compreensão e aplicação das concepções construídas durante a intervenção.

Nesse procedimento, ao propor reflexões e indagações (ver seção 4.3.3), procuramos fazer com que os estudantes desenvolvessem atitudes potencialmente significativas, através das atividades de ensino planejadas, onde os conceitos subsunçores âncoras mais gerais foram progressivamente ampliando seu âmbito, ficando cada vez mais específicos e caracterizados pelo mecanismo da diferenciação progressiva que, simultaneamente, proporcionou o surgimento da reconciliação integradora, fazendo com que os conceitos mais específicos se

reconciliassem e originassem novos conceitos mais gerais. Ou seja, orientado pelo mapa conceitual da figura 34, pudemos notar que os conceitos mais gerais que envolvem o conhecimento da SD, concepções que inicialmente eram potencialmente significativas e adquiridas pelo ensino informal, foram progressivamente diferenciando-se em termos de detalhes e especificidades. E à medida que as relações entre os conceitos mais específicos, como os que dizem respeito às categorias dos objetivos da EA, às teorias do Pensamento Sistêmico e às atividades com a modelagem computacional com STELLA, tornavam-se suficientemente diferenciados e especificados, ao se reconciliarem, confluíram para a formação de um conceito do qual pode emergir o conhecimento da SD forte (ver seção 8.5), confirmado pelas concepções de perfil muito bom construídas pelos estudantes, de acordo com os resultados encontrados da seção 7.4.2.4.

Assim, a reformulação da estrutura cognitiva dos estudantes obteve o êxito desejado, consolidando uma proposta de pesquisa-ação que pôde, ao descobrir os organizadores prévios que diziam respeito às suas experiências passadas, modificar essas aprendizagens precedentes a partir do momento em que conseguimos fazê-los enxergar, que tais percepções poderiam frustrar suas tentativas de construir algo potencialmente significativo a partir delas.

Com esse entendimento, o pesquisador, lidando com as percepções dos estudantes e com as suas, propôs um modelo conceitual que possibilitou alcançar novos objetivos representacionais, promovendo o conhecimento da SD (ver seção 8.5) em suas práxis, modificando as percepções previamente adquiridas, desenvolvendo outras mais funcionais naquilo que diz respeito a atingir os objetivos propostos por uma EA efetiva. Para tanto, foi necessário focar em procedimentos que pudessem modificar alguns aspectos, como os associados à cultura ambiental no âmbito do curso em questão, fortalecendo outros conhecimentos, como os que dizem respeito à mitigação da degradação ambiental resultante de processos associados aos conteúdos programáticos das disciplinas profissionalizantes, tomando como exemplo a disciplina de Eletrotécnica, lecionada pelo pesquisador, e que trata da geração de energia elétrica e suas conseqüências para o meio ambiente.

Na aprendizagem significativa que diz respeito à modelagem computacional com o *software* STELLA, esta pôde acontecer fruto do relacionamento entre os estágios de aprendizagem propostos pelos instrumentos de pesquisa dos apêndices 2, 3 e 4, que se associaram aos conhecimentos prévios adquiridos pelos estudantes de Engenharia Civil não só na disciplina de LAIEC I, mas também em conhecimentos anteriores presentes em suas estruturas cognitivas, como os conteúdos sobre a computação, os impactos ambientais negativos, a geração de energia elétrica, a definição de potência, os conhecimentos de

matemáticas, as leis da termodinâmica e principalmente os da Mecânica dos Fluidos, onde os estudantes puderam associar grandezas como volume, vazão e o fluxo dos fluidos em tanques ou reservatórios, aos níveis, às taxas e aos conversores que assim puderam ser vistos como organizadores prévios, uma vez que são primitivos à construção dos modelos com STELLA. Com isso podemos inferir que os estudantes já possuíam subsunçores em suas estruturas cognitivas, que diziam respeito a reservatórios como volumes que perdem ou recebem massa, à medida que sua vazão ou fluxo de um líquido é regulado através das equações da mecânica de fluidos, podendo com isso utilizar a modelagem em computador como um agente motivador para estudar estruturas mais complexas, como as dos fenômenos que dizem respeito às questões que envolvem o meio ambiente.

h) Qual a estrutura de um possível modelo de aprendizagem que, tendo o pesquisador como agente motivador desse processo, reflete os processos sistêmicos envolvidos com o educar ambientalmente o estudante de Engenharia Civil, buscando com isso a construção do conhecimento da SD forte?

Amparados nos pressupostos de Senge et al. (1995), percebemos que os estudantes que desenvolvem capacidades mais profundas de aprendizagem são aqueles capazes de modificar mais rápida e profundamente seus modelos mentais individuais e coletivos. Assim, como Senge et al. (1995) entendemos que, nesta pesquisa-ação, o processo de mudanças no modelo mental ou o ciclo da aprendizagem significativa somente poderia ser ativado através do desenvolvimento de habilidades que pudessem, ao provocar novos níveis de percepção, sensibilidade e consciência, modificar a capacidade dos estudantes de perceber e vivenciar o mundo através da vontade, da reflexão e da conceituação.

Nesse contexto, o Pensamento Sistêmico deve ser entendido como a estrutura que, ao proporcionar o desenvolvimento da habilidade de conceituação da complexidade, nos permite enxergar os fatores que interagem na realidade e fazer descrições coerentes a respeito dos processos que envolvem o meio ambiente. Com isso, ao pensar sistemicamente, incentivamos os estudantes a enxergar meio ambiente na sua globalidade, atingindo novos níveis de consciência que os incentivassem a comprometer-se com uma série de valores que lhes possibilitassem sentir o interesse em participar da sua proteção e melhoria.

Para que isso possa ocorrer faz-se necessário ativar o processo de aprendizagem significativa e mantê-lo em andamento num contexto previamente determinado. Nessa situação é preciso entender o Pensamento Sistêmico, agindo como um corpo de conhecimento acionável resultante como um subproduto de teorias, métodos e ferramentas que, ao gerar

habilidades e capacidades específicas, acaba por estimular os níveis de consciência que originam novas crenças e atitudes facilitadoras da construção do aprendizado aqui proposto.

Assim, no domínio da ação, para alcançarmos o Pensamento Sistêmico como um subproduto que se estruturou como um corpo de conhecimentos, faz-se necessário a criação de um contexto composto por três elementos estruturais básicos. O primeiro, as ideias norteadoras que incluem o propósito maior, que é o aprendizado. O segundo, as teorias, métodos e ferramentas, são os instrumentos que quando utilizados, nos permitem obter como subproduto uma nova forma de pensar que vem a reforçar as habilidades de quem aprende. O terceiro, as inovações em infraestrutura, são os meios pelos quais o sistema de ensino coloca à disposição os recursos necessários para apoiar os estudantes durante a aprendizagem.

Com isso estruturamos o nosso modelo de intervenção de acordo com o mapa sistêmico da figura 89, cujos elos de retroalimentação afetam-se e influenciam-se continuamente, num contexto onde deverão ser geradas as ideias norteadoras, desenvolvidas teorias, métodos e ferramentas que gerando novas ideias, possibilitem ao estudante adquirir as habilidades e capacidades necessárias que levam a conscientização e sensibilização para ativar o processo, provocando novos níveis de crenças, valores que acabam por ativar o ciclo do domínio da aprendizagem.

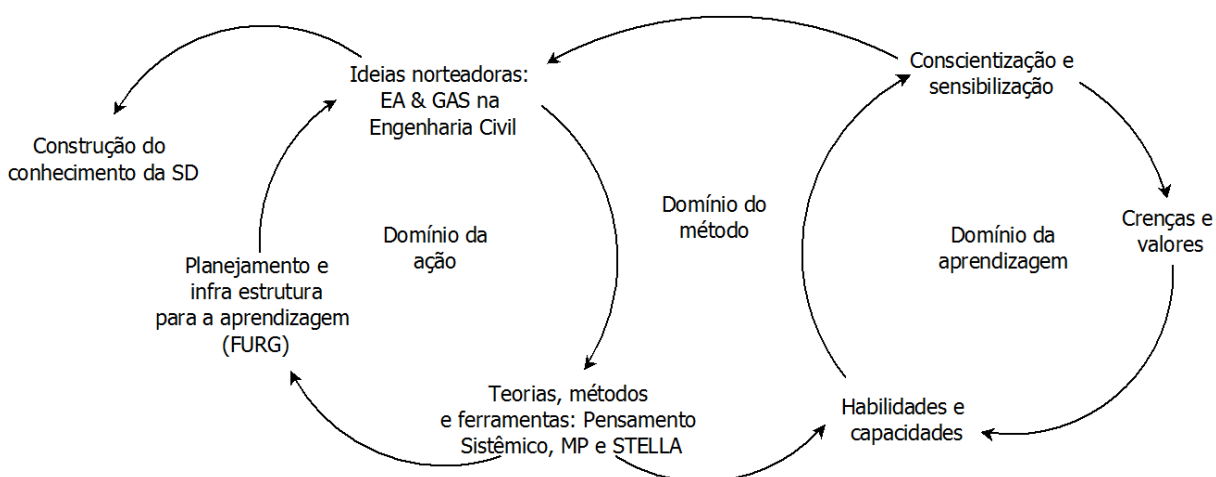


Figura 89 – Estrutura de um modelo de aprendizagem do conhecimento da SD
Fonte: Autoria própria, 2015.

No modelo apresentado, as ideias norteadoras dizem respeito ao objetivo da tese que é estimular o estudante a tomar a decisão em atingir os objetivos de uma efetiva EA, podendo com isso construir conhecimentos da SD (ver seção 8.5) no âmbito do sistema de ensino da engenharia. Quanto às teorias, métodos e ferramentas, estas envolvem respectivamente o Pensamento Sistêmico, a MP e a modelagem computacional com STELLA. Por sua vez, a infraestrutura utilizada nesse processo foi a já existente na FURG.

Em nossa pesquisa-ação, os círculos puderam interagir envolvendo o domínio da ação com o domínio da aprendizagem, tendo como emergência um nível de concepções que permitiu aos estudantes, conforme pode ser constatado na análise dos resultados finais apresentados na seção 7.4.2.4, construir um perfil muito bom de concepções necessárias para promover e materializar uma SD forte em suas atividades (ver seção 8.5).

i) Qual a estrutura de um possível modelo dinâmico em STELLA que, amparado pelo pensamento sistêmico e nos princípios da modelagem, torne possível a cooperação deste com o ensino na Engenharia, propondo a revisão e o aprimoramento das concepções dos estudantes no que diz respeito ao conhecimento de SD?

No mapa sistêmico da figura 30, procuramos explicitar como a aprendizagem e os conhecimentos podem fluir em um sistema onde o paradigma newtoniano-cartesiano, estimulando o pensamento analítico característico da educação tecnicista adotada pelo sistema de ensino dos cursos de Engenharia Civil da FURG, pode ser um dos fatores que têm colaborado para a construção de uma aprendizagem mecânica que resulta num conhecimento dos princípios da SD que se aproxima do senso comum.

Para modificar tal processo, apoiado pelo paradigma da complexidade (ver seção 3.2.5.1), foram realizadas várias operações ou ações pedagógicas que, através da confluência das concepções a respeito dos objetivos da EA e dos princípios do Pensamento Sistêmico, puderam desenvolver aprendizagens significativas que possibilitaram construir os conhecimentos necessários a uma SD forte (ver seção 8.5). Tal procedimento, seguindo os passos da MP que integra o *aprender a aprender* com a ferramenta de modelagem computacional STELLA, além de estimular a aprendizagem da linguagem e o alcance do Pensamento Sistêmico, serviu também como artefato mediador para a construção de conhecimentos onde foi possível modelar alguns cenários que, representam simplificada a realidade.

Assim, entendendo a modelagem computacional como uma ferramenta que facilita a aprendizagem, elaboramos o modelo da figura 90, procurando explicitar os processos envolvidos no sistema estudado, vindo com isso a desafiar os modelos conceituais de futuros pesquisadores incentivando-os a estudar e reprojeter o sistema estudado, observando o comportamento de entidades como o Pensamento Sistêmico, a MP e a EA que, submetidas a um processo de refinamento que envolva novos dados pesquisados, sistematizações e inferências de funções, poderão colaborar com agentes transformadores do sistema de ensino tecnicista de engenharia, assumindo níveis que tragam consigo resultados construtivos de

aprendizagens que se agreguem aqueles encontrados por essa pesquisa-ação, na busca do conhecimento da SD (ver seção 8.5).

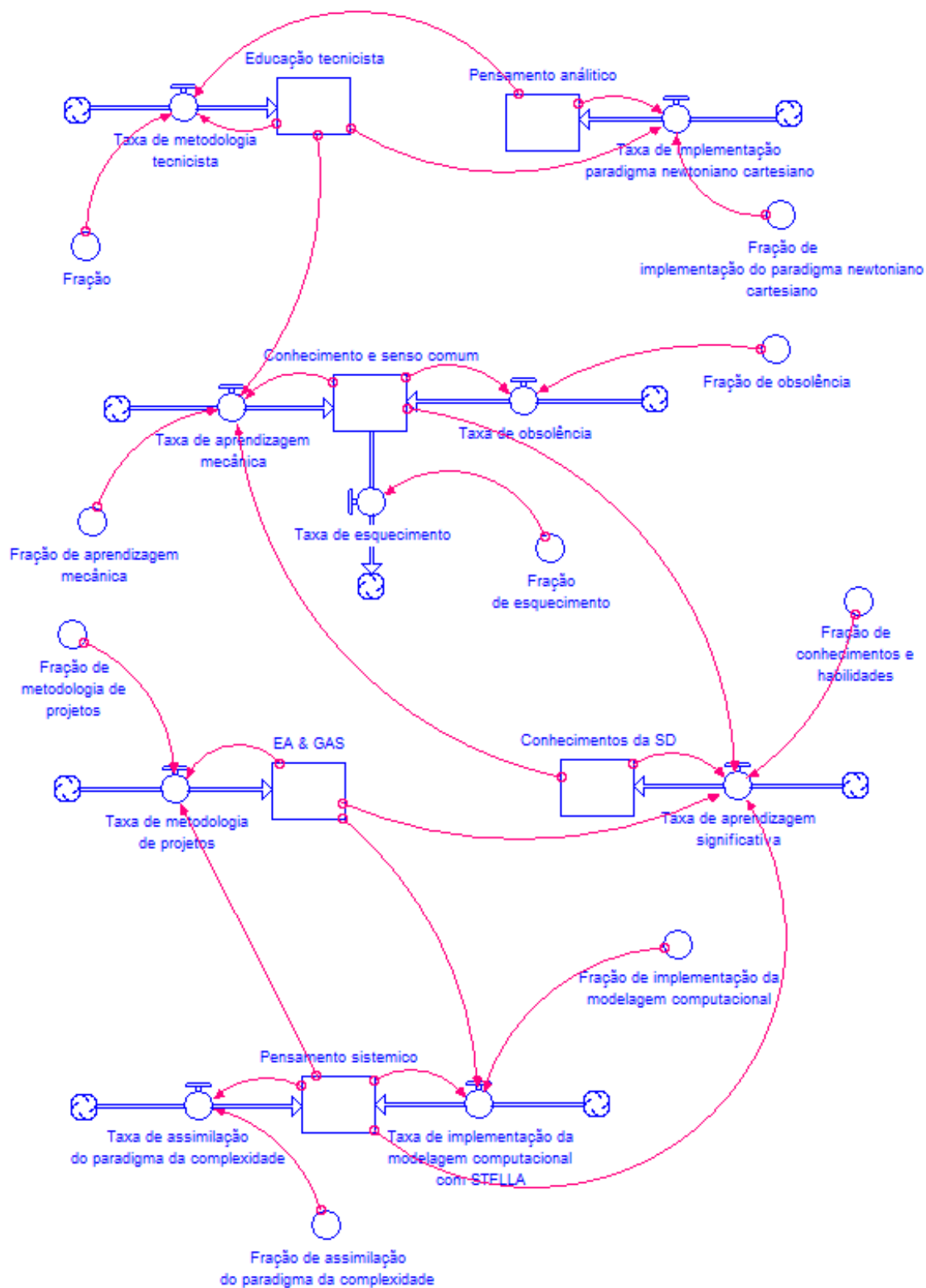


Figura 90 – Modelo em STELLA que enlaça o Pensamento Sistemico, a MP e a EA na busca da construção do conhecimento da SD nos sistemas de ensino tecnicistas
 Fonte: Autoria própria, 2015.

A figura 90 apresenta um modelo qualitativo, como um diagrama de taxas e níveis e alguns conversores desenhados com o *software* STELLA. Esse grande modelo não apresenta valores iniciais de níveis, nem valores de taxas associados aos conversores, o que faz com que não seja, nesse estágio de desenvolvimento, executável pelo computador, permanecendo apenas como um mapeamento com STELLA.

Chamamos a atenção de que as estruturas são compostas como exige STELLA, por taxas acopladas aos níveis correspondentes. Em nosso caso, optamos por estruturas não lineares, contudo estas poderiam ser lineares, sem prejudicar a representação.

Nesse modelo incluímos seis variáveis níveis, oito variáveis taxas e oito conversores. Os nomes desses níveis e taxas podem ser lidos na figura acima e correspondem às relações causais entre os fatores identificados na aplicação do método proposto pelo pesquisador. Deixamos como sugestão para futuros trabalhos o aprofundamento do modelo apresentado e a discussão de possíveis cenários que dele possam emergir.

8.5 Considerações finais

Como vimos, esta pesquisa-ação pôde se materializar amparada em experiências de docência e da prática profissional, que nos permitiram perceber as dificuldades encontradas para trabalhar as questões ambientais no sistema de ensino do curso de Engenharia Civil da FURG, uma vez que os estudantes e professores integrantes deste sistema, ao pensar analiticamente, não poderiam se aproximar de teorias, métodos e ferramentas que lhes possibilitassem trabalhar para a construção dos conhecimentos de uma SD forte, que também depende do alcance do Pensamento Sistêmico.

Com essa convicção, através da intervenção programada, foram dados os primeiros passos para elaboração de um método de ensino e aprendizagem significativa que, apoiado nos princípios da pedagogia da complexidade, entrelaçasse o Pensamento Sistêmico, o ensino com pesquisa e a modelagem computacional com STELLA, buscando nos objetivos da EA promover através de um material instrucional a conscientização da complexidade ambiental, a construção de conhecimentos que fazem interface com a SD, a opção por comportamentos que levem a sentir interesse pelo meio ambiente, o desenvolvimento de habilidades para identificar, avaliar e resolver problemas ambientais através de ações que estão associadas à construção da cidadania. Nesse processo, os estudantes, por meio da tecnologia inovadora do *software* STELLA, foram estimulados a desenvolver um linguajar e um pensar sistêmico que lhes permitiu ativar capacidades e habilidades para construir concepções a respeito da complexa

realidade que vivemos, podendo enxergar a recursividade envolvida na interação dos conteúdos disciplinares do curso analisado com os fenômenos ambientais.

Ao final da intervenção, observando a inter-relação das atividades com o *software* STELLA e o perfil muito bom dos estudantes nas categorias dos objetivos da EA, que abarca as suas concepções a respeito dos princípios da complexidade ambiental, concluiu-se que é possível elaborar com sucesso um material instrucional e um processo educativo que, ressaltando a importância da visão sistêmica para as questões ambientais no curso de Engenharia Civil, possam contribuir com uma proposta coerente e promissora, capaz de promover a transversalização da EA no referido curso.

Assim, analisando os resultados de pesquisa que evidenciam a tomada de decisão dos estudantes de conhecer os objetivos de uma EA efetiva na gestão sistêmica do meio ambiente, pudemos concluir que a finalidade desta pesquisa-ação foi alcançada à medida que tais conhecimentos, expressando modos diversos e complementares de se deparar com as questões ambientais, que confluem para a emergência de um conceito de SD não reducionista, nos mostraram que tal conceito poderá ser materializado e redefinido individualmente e a sua maneira, uma vez que o desenvolvimento de sociedades responsáveis não é um fim previamente determinado e sim um caminho para alcançá-lo, cabendo a cada estudante delineá-lo de acordo com a sua conveniência, já que suas concepções apontam para uma melhor experiência e qualidade de vida para si e para as gerações futuras, independentemente de ideologias e de sistemas econômicos vigentes.

Quanto à questão da transversalização da EA no curso de Engenharia Civil, amparados nos resultados encontrados, ficou evidente que não podemos mais ficar submetidos a um contexto que não contempla os conhecimentos e a estrutura necessários para o desenvolvimento de uma pedagogia voltada para as questões ambientais. Tal situação, em nosso entendimento, resulta do desconhecimento de políticas e fundamentações teórico-práticas e da carência de projetos ambientais que, envolvendo a comunidade, a FURG e o sistema de ensino da Escola de Engenharia, impede que seus docentes e discentes estabeleçam uma ponte de ligação entre os conhecimentos construídos por esta instituição de ensino e outros que confluem para a materialização do conhecimento de uma sustentabilidade verdadeiramente forte.

Sendo assim, amparados pela Lei n.º 9795 que diz respeito aos propósitos do PNEA, entendemos que a promoção e a implantação da EA no curso de Engenharia Civil da FURG passa pelo aperfeiçoamento e capacitação ambiental dos educadores da área, exigindo a realização de projetos de ensino, pesquisa e extensão que, integrando o PPGEA à Escola de

Engenharia, possam contribuir para o aperfeiçoamento didático-pedagógico do referido curso, integrando a ele os objetivos, as finalidades e os princípios de uma EA crítica, emancipatória e transformadora. Iniciando esse processo, podemos citar a implantação da disciplina Sustentabilidade na Engenharia Civil, o aprimoramento do plano de estudos das disciplinas Ciências do Ambiente e Auditoria Ambiental, o estudo do Nível de Eficiência Energética (etiquetagem) dos projetos que integram o TCC dos estudantes de Engenharia Civil, podendo com isso, através da integração das ciências sociais e naturais, prever e atuar sobre as questões socioambientais inter-relacionadas com os sistemas antrópicos de engenharia.

Entendemos que esta tese pode contribuir com estudos futuros que, além de promover a transversalização da EA no referido curso, venham a fomentar reflexões a respeito das perdas e dos ganhos que dizem respeito à degradação do meio ambiente, resultante da práxis dos egressos do atual sistema de ensino e aprendizagem tecnicista, repensando uma possível mudança na maneira de pensar analítica que, em se tornando sistêmica, motive a formação de engenheiros mais capacitados para lidar com as questões ambientais.

REFERÊNCIAS

ABBAD, G.; BORGES-ANDRADE, J. E. Aprendizagem humana em organizações de trabalho. In: ZANELLI, J. C. et al. *Psicologia, organizações e trabalho no Brasil*. Porto Alegre: Artmed, 2004.

ACKOFF, R. L. Systems, organization, and interdisciplinary research (1960). In: EMERY, F. E. (ed.). *Systems Thinking*. Pequim Books, 1969.

_____. *Creating the corporate future*. John Wiley and Sons, 1981.

ADORNO, T.; HORKHEIMER, M. A indústria cultural: o esclarecimento como mistificação das massas. In: _____. *Dialética do esclarecimento: fragmentos filosóficos*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1985. p. 113-156.

ALMEIDA, M. C. Introdução ao mapa inacabado da complexidade. In: DANTAS, A.; GALENO, A. *Geografia: ciência do complexus*. Porto Alegre: Sulina, 2004. p. 9-41.

ALVES, F. D.; GUERRA, T.; LELARGE, M. L. V. Aplicação de modelo para quantificação de áreas impactadas pela mineração de carvão, Candiota, RS. In: TEIXEIRA, E. C. (Coord.). *Estudos ambientais em Candiota: carvão e seus impactos*. Porto Alegre: Pallotti, 2004.

AMBIENTE & EDUCAÇÃO: Revista de Educação Ambiental da FURG. Rio Grande, Ed. da FURG, n. 2, 1997.

_____._____. n. 7, 2002.

_____._____. n. 8, 2003.

_____._____. n. 9, 2004.

_____._____. n. 10, 2005.

_____._____. n. 11, 2006.

_____._____. n. 12, 2007.

_____._____. n. 13, 2008.

_____._____. n. 14, 2009.

ANDRADE, A. L. *Aprendizagem organizacional: uma experiência com o modelo da quinta disciplina*. Porto Alegre, 1998. Dissertação [Mestrado em Engenharia de Produção] – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ANDRADE, A. et al. *Pensamento sistêmico – caderno de campo: o desafio da mudança sustentada nas organizações e na sociedade*. Porto Alegre: Bookman, 2006.

- ARGIRYS, C.; SCHON, D. *Theory in practice*. San Francisco: Jossey Baas, 1979.
- _____. *Organizational learning: a theory of action perspective*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1978.
- ASHBY, R. W. *Uma introdução à cibernética*. São Paulo: Perspectiva, 1970.
- ASMUS, M. L.; KITZMAN, D. I. S. Do treinamento à capacitação: a inserção da educação ambiental no setor produtivo. In: RUSCHEINSKY, A. *Educação ambiental: abordagens múltiplas*. Porto Alegre: Artmed, 2002.
- ATLAN, H. *Entre o cristal e a fumaça: ensaio sobre a organização do ser vivo*. São Paulo: Jorge Zahar, 1992.
- AUSUBEL, D. P. *Education psychology: a cognitive view*. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.
- _____. *The acquisition and retention of knowledge: a cognitive view*. London: Kluwer, 2000.
- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. *Educational psychology: a cognitive view*. 2nd. ed. New York: Holt Rinehart and Winston, 1978.
- BAREMBLITT, G. *Compêndio de análise institucional e outras correntes: teoria e prática*. 5. ed. Belo Horizonte: Instituto Félix Guattari, 2002.
- _____. *Introdução à esquizoanálise*. 3. ed. Belo Horizonte: Instituto Félix Guattari, 2010.
- BAUMAN, Z. *Vida para consumo: a transformação das pessoas em mercadorias*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2008.
- BEHRENS, M. A. O paradigma da complexidade na formação e no desenvolvimento profissional de professores universitários. *Educação*, v. 30, n. 3, p. 439-455, 2007.
- _____. *Paradigma da complexidade: metodologia de projetos, contratos didáticos e portfolios*. Petrópolis: Vozes, 2008.
- _____. *O paradigma emergente e a prática pedagógica*. 5. ed. Petrópolis: Vozes, 2011.
- BEHRENS, M.; ALCÂNTARA, P.; VIENS, J. Projeto PACTO (1999-2000): implementação de uma metodologia inovadora no ensino superior na PUCPR. *Colabor@ - Revista Digital da CVA-Ricesu*, v. 1, n. 2, nov. 2001.
- BERTALANFFY, L. *Teoria geral dos sistemas*. Petrópolis: Vozes, 1977.
- BLISS, J.; MONK, M.; OGBORN, J. *Qualitative data analysis for education research: a guide of systemic net works*. London; Camberra: Croom Helm, 1983.
- BLISS, J.; OGBORN, J. Tools for exploratory a research programme. *Journal of Computer Assisted Learning*, n. 5, p. 37-50, 1989.

_____. In: CUMMING, G.; LEWIS, R. (ed.). *Exploration and reasoning: a Seminar Report*. ESRC, 1990.

BLISS, J. From mental models to modeling. In: MELLAR, H.; BLISS, J.; BOOHAN, R.; OGBORN, J. ; TOMPSET, C. (eds.). *Learning with artificial worlds: computer based modelling in the curriculum*. London: The Falmer Press, 1994. p. 117-127.

BLOOM, B. S. *Taxonomia de objetivos educacionais: domínio cognitivo*. Porto Alegre: Globo, 1972.

BORGES, E. P. Na sutil fronteira entre a ordem e o caos. *Ciência Hoje*, v. 38, n. 223, 2006.

BOURDIEU, P. *Razões práticas: sobre a teoria da ação*. 11. ed. Campinas: Papirus, 2011.

BRAGA, B. et al. *Introdução à engenharia ambiental*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

BRASIL. Lei n. 6938, de 31 de agosto de 1981. Estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente. Brasília, 1981.

_____. Lei n. 9795, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Brasília, 1999.

BUCKINGHAM, W. et al. *O livro da filosofia*. 11. reimpr. São Paulo: Globo, 2011.

CAMARGO, M. *Filosofia do conhecimento e ensino-aprendizagem*. Petrópolis: Vozes, 2004.

CAMBELL, D. T.; STANLEY, J. *Delineamentos experimentais e quase-experimentais de pesquisa*. São Paulo: E.P.U.; Ed. da Universidade de São Paulo, 1979.

CAPRA, F. *A teia da vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos*. São Paulo: Cultrix/Amana-Key, 1996.

_____. *Conexões ocultas: ciência para uma vida sustentável*. São Paulo: Cultrix, 2005.

CARVALHO, I. C. M. *Educação ambiental: a formação do sujeito ecológico*. São Paulo: Cortez, 2011.

CARDOZO, E. J. Teoria da ação comunicativa de Habermas e suas implicações no processo educativo. *Revista Cesumar – Ciências Humanas e Sociais Aplicadas*, v. 9, n. 2, jun.-dez., p. 29-37, 2004.

CHECKLAND, P. *Systems thinking, systems practice*. New York: John Wiley & Sons, 1981.

CHIAVENATO, I. *Introdução à Teoria Geral da Administração*. São Paulo: McGraw-Hill, 2000.

COMISSÃO MUNDIAL sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD). *Nosso futuro comum*. 2 ed. Rio de Janeiro: Ed. da Fundação Getúlio Vargas, 1991.

COYLE, R. G. *System dynamics modelling: a practical guide*. London: Chapman & Hall, 1996.

CUNHA, A. L. *Atrito e senso comum: estudo exploratório com alunos de oitava série, professores e análise dos livros didáticos*. Vitória 2000. Dissertação [Mestrado em Ciência – Física]. Universidade Federal do Espírito Santo.

DAGNINO, R. *Neutralidade da ciência e determinismo tecnológico*. Campinas: Ed. da Unicamp, 2008.

DALBOSCO, C. et al. (org.). *Sobre filosofia e educação: subjetividade-intersubjetividade na fundamentação da práxis pedagógica*. Passo Fundo: UPF, 2004.

DE KLEER, J.; BROW, J. Assumptions and ambiguities in mechanistic mental models. In: GENTNER, K.; STEVENS, A. (Eds.). *Mental models*. London: Lawrence Erlbaum, 1983.

DELATTRE, P. *Teoria dos sistemas e epistemologia*. Porto: Regra do Jogo, 1981. (Col. Cadernos de Filosofia, 2).

DEMING, W. E. *Qualidade: a revolução da administração*. Rio de Janeiro: Marques Pereira, 1990.

DEMO, P. *Conhecer e aprender: sabedoria dos limites e desafios*. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 2000.

_____. *Pesquisa e construção de conhecimento: metodologia científica no caminho de Habermas*. 7. ed. Rio de Janeiro: Tempo Brasileiro, 2012.

DEWEY, J. *Vida e educação*. São Paulo: Nacional, 2005.

DIAS, G. F. *Educação ambiental: princípios e práticas*. São Paulo: Gaia, 2006.

DOLCI, P. C. et al. Visão sistêmica do Pensamento Sistêmico: uso de mapas conceituais. *Revista de Administração FACES Journal*, v. 12, n. 1, p. 33-50, 2013.

DRIVER, R. *The pupil as scientist*. Milton Keynes: Open University Press, 1983a.

_____. *Science, study and teaching*. Milton Keynes: Open University Press, 1983b.

DRIVER, R.; GUESNE, E; TIBERGHIE, A. *Children ideas in science*. Milton Keynes: Open University Press, 1985.

ELETROBRÁS - PROCEL. *Manual para aplicação do regulamento RTQ-R*. Brasília, 2012.

EPSTEIN, I. *Cibernética*. São Paulo: Ática, 1996.

ERICKSON, L. G. Children's conception of heat and temperature. *Science Education*, v. 63, n. 2, p. 221-230, 1979.

FARIAS, M. L. *Combustão e seus efeitos: um estudo sobre concepções de alunos do ensino técnico do CEFET-RS, visando à Educação Ambiental*. Rio Grande, 2003. Dissertação [Mestrado em Educação Ambiental] – Universidade Federal do Rio Grande.

- FADIMAN, J.; FRAGER, R. *Teorias da personalidade*. São Paulo: Harbra, 1986.
- FAZENDA, I. (Org.). *Didática e interdisciplinaridade*. 17. ed. Campinas: Papirus, 2012.
- _____. *Interdisciplinaridade, um projeto de parceria*. São Paulo: Loyola, 1995.
- FERRACIOLI, L. O conceito de energia e a Educação Ambiental. *Ambiente & Educação - Revista de Educação Ambiental*, v. 5-6, 2000, 2001.
- FERRAMENTAS quantitativas STELLA. Disponível em: <<http://www.modelciencias.furg.br/bin/apresentacao/index.php>>. Acesso em: 10 out. 2015.
- FERRAZ, A. P. C. M.; BELHOT, R. V. Taxonomia de Bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do instrumento para definição de objetivos instrucionais. *Gestão & Produção*, n. 17, v. 2, p. 421-431, 2010.
- FOERSTER, H. von. On self-organizing systems and their environments. In: YOVITZ, M.; CAMERON, S. (orgs.). *Self-organizing systems*. Pergamon Press, 1960. p. 31-50.
- FOGLIATTI, M. C.; FILIPPO, S.; GOUDARD, B. *Avaliação de impactos ambientais: aplicação aos sistemas de transporte*. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.
- FORRESTER, J. W. *Principles of systems*. Portland, OR: Productivity Press, 1990.
- _____. System dynamics, systems thinking, and OR. *Systems Dynamic Review*, n. 10, p. 245-256, 1994.
- _____. *The beginning of systems dynamics*. Banquet Talk at the International Meeting of the Systems Dynamics Society, Stuttgart – Germany, July 13, 1989.
- FRANCO, E. Aprender a aprender. *Letras*. Porto Alegre, PUC, n. 52, 1989.
- FREIRE, P. *Conscientização: teoria e prática da libertação: uma introdução ao pensamento de Paulo Freire*. São Paulo: Moraes, 1980.
- _____. *Educação e mudança*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1983.
- _____. *Pedagogia da esperança*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1992.
- _____. *Pedagogia do oprimido*. 17. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987a.
- _____. *Aprendendo com a própria história*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987b.
- _____. *Pedagogia dos sonhos possíveis*. São Paulo: Ed. UNESP, 2001.
- GALIAZZI, M. C.; FREITAS, J. V. *Metodologias emergentes em Educação Ambiental*. Ijuí: Unijuí, 2005.
- GARCIA, M. L.; VERGARA, J. M. R. La evolución del concepto de sostenibilidad y su

introducción en la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, n. 18, v. 3, 2000.

GIL, A. C. *Metodologia do ensino superior*. São Paulo: Atlas, 1980.

_____. *Como elaborar projetos de pesquisa*. São Paulo: Atlas, 1996.

GOLDENBERG, M. *A arte de pesquisar: como fazer pesquisa qualitativa em ciências sociais*. Rio de Janeiro: Record, 2003.

GUATTARI, Félix. *As três ecologias*. Campinas: Papyrus, 1998.

GUATTARI, Félix; ROLNIK, Suely. *Micropolítica: cartografias do desejo*. 4. ed. Petrópolis: Vozes, 1996.

GUIMARÃES, S. M.; TOMAZELLO, M. G. C. *A formação universitária para o ambiente: educação para a sustentabilidade*. In: REUNIÃO ANUAL DA ANPEd, 26. Poços de Caldas, 2003a.

_____. *A formação universitária para o ambiente: educação para a sustentabilidade*. *Ambiente & Educação: Revista de Educação Ambiental*, v. 8, n. 1, 2003b.

HALL, C. A. S.; DAY, Jr. J. W. Revisiting the limits to growth after peak oil. *American Scientist*, n. 97, p. 230-237, 2009.

HERNÁNDEZ, F. *Cultura visual, mudança educativa e projeto de trabalho*. Porto Alegre: Artes Médicas, 2000.

HOGAN, D. J. *Considerações sobre interdisciplinaridade*. Campinas: Unicamp, 1995.

JANTSCH, A. P.; BIANCHETTI, L. (Org.). *Interdisciplinaridade: para além da filosofia do sujeito*. 8. ed. Petrópolis: Vozes, 2008.

JAPIASSU, H. *Interdisciplinaridade e a patologia do saber*. Rio de Janeiro: Imago, 1976.

_____. *Como nasceu a ciência moderna – e as razões da filosofia*. Rio de Janeiro: Imago, 2007.

JARDIM, A P. Comentários sobre a teoria da ação em Habermas. *Pró-Ciência*, Rio de Janeiro, v.1, n. 1, p. 7-14, out./dez. 1996.

JOHNSON-LAIRD, P. N. *Mental models*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.

KASPER, H. *O processo de pensamento sistêmico: um estudo das principais abordagens a partir de um quadro de referência proposto*. Porto Alegre, 2000. Dissertação [Mestrado em Engenharia de Produção] – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

KIM, D.; KIM, D. H. System dynamics model for a mixed strategy game between police and driver. *System Dynamics Review: the journal of the System Dynamics Society*, v. 13, p. 33-52, 1997.

KIM, D. H. The link between individual and organizational learning. *Sloan Management Review*, v. 35, n. 1, p. 37-50, 1993.

_____. *Gestão Sistêmica da Qualidade: melhorando a qualidade do agir e pensar*. In: WARDMAN, K. T. *Criando organizações que aprendem*. São Paulo: Futura, 1996.

KOLB, D. A. *Experiential Learning: experience as the source of learning and development*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1984.

KUHN, T. *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva, 2005

KURTZ DOS SANTOS, A. *Introdução à modelagem computacional na educação*. Rio Grande: Ed. da FURG, 1995.

_____. *Computational modelling in Science Education: a study of students' ability to manage some different approaches to modelling*. London: Institute of Education, University of London. Unpublished PhD Thesis, 1992. 395p.

_____. *Do universo ao ambiente: construindo nossa concepção de natureza*. Rio Grande, 2011. Disponível em: <<http://www.modelciencias.furg.br/ebooks/DOUNIVAMB.pdf>>. Acesso em: 23 maio 2013.

KURTZ DOS SANTOS, A. C.; OGBORN, J. A model for teaching and research into computational modelling. *Journal of Computer Assisted Learning*, v. 8, n. 2, 67-78, 1992.

KURTZ DOS SANTOS, A. et al. *Modelagem computacional utilizando STELLA*. Rio Grande: Ed. da FURG, 2002.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. *Técnicas de pesquisa*. São Paulo: Atlas, 1990.

LEFF, E. *Racionalidade ambiental: a reapropriação social da natureza*. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2006.

_____. *Epistemologia ambiental*. São Paulo: Cortez, 2007.

LEFF, E. (Org.). *A complexidade ambiental*. São Paulo: Cortez, 2003.

LIBÂNEO, J. C. *Didática*. São Paulo: Cortez, 1994.

_____. A didática e a aprendizagem do pensar e do aprender: a teoria histórico-cultural da atividade e a contribuição de Vasili Davídov. *Revista Brasileira de Educação*, n. 27, p. 5-24, set.-dez. 2004.

_____. *Fundamentos teórico-metodológicos da pedagogia crítico-social: perspectiva histórico-cultural*. Universidade Católica de Goiás, 2010.

LIKERT, R. A technique for measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, n. 140, 1932.

LOCKE, L. et al. Psicologia, organizações e trabalho. In: ZANELLI, J. C. et al. *Psicologia, organizações e trabalho no Brasil*. Porto Alegre: Artmed, 2004.

LOCKE, E. A.; LATHAM, P. G. *Work motivation and satisfaction: light at the end of the tunnel*. New York: Holt, 1990.

LOUREIRO, C. F. B. *Trajatória e fundamentos da educação ambiental*. São Paulo: Cortez, 2006.

LOUREIRO, C.F.B. (Org.). *A questão ambiental no pensamento crítico*. Rio de Janeiro: Quartet, 2007.

LORENZ, E. Deterministic nonperiodic flow. *Science*, v. 20, p. 130-141, 1963.

LUCK, H. *Metodologia de projetos: uma ferramenta de planejamento e gestão*. Petrópolis: Vozes, 2005.

LÜDKE, M. A.; ANDRÉ, M. D. A. *Pesquisa em educação: abordagens qualitativas*. São Paulo: EPU, 1986.

LUZZI, D. A ambientalização da educação formal: um diálogo aberto na complexidade do campo educativo. In: LEFF, E. (Org.). *A complexidade ambiental*. São Paulo: Cortez, 2003.

MACHADO, V. M. Definições de prática pedagógica e a Didática Sistêmica: considerações em espiral. *Revista Didática Sistêmica*, v. 1, out.-dez. 2005 a.

_____. A atividade crítica e criativa na formação complexa do professor: elementos de uma Didática Sistêmica à Educação Ambiental. *Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental*, v. 15, jul.-dez. 2005b.

MARIOTTO, S. C.; CORAIOPLA, M. Educação ambiental na concepção do pensamento sistêmico. *Revista Acadêmica, Ciências Agrárias e Ambientais*, Curitiba, v.7, n. 2, p. 237-243, abr.-jun. 2009.

MATURANA, H. R.; VARELA, F. J. *A árvore do conhecimento: as bases biológicas da compreensão humana*. São Paulo: Palas Athena, 2005.

MARUYAMA, M. The second cybernetics: deviation-amplifying mutual causal process. *American Scientists*, v. 51, n. 2, 1963.

MAY, R. M. Simple mathematical models with very complicated dynamics. *Nature*, v. 261, 1976.

MEADOWS, D. H. *Harvesting one hundredfold*. UNEP/UNESCO, 1989.

MINGUET, I. *Construção do conhecimento*. Porto Alegre: Artmed, 1998.

MORAES, M. C. Sistêmico. In: FAZENDA, I. (Org.). *Interdisciplinaridade: dicionário em construção*. São Paulo: Cortez, 2001.

- MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa subversiva. In: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA, 3. *Atas...* Lisboa, 11-15 set. 2000.
- _____. Modelos mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 196-206, 1996.
- _____. *Modelos mentais*. Disponível em: <<http://moreira.if.ufrgs.br/modelosmentaisport.pdf>>. Acesso em: 23 nov. 2010.
- MOREIRA, M. A.; BUCHWEITZ, B. *Novas estratégias de ensino e aprendizagem: os mapas conceituais e o Vê epistemológico*. Lisboa: Plátano, 1993.
- MORGAN, G. *Imagens da organização*. São Paulo: Atlas, 2011.
- MORIN, E. *Introdução ao pensamento complexo*. Lisboa: Instituto Piaget, 2003.
- _____. *O método I: A natureza da natureza*. Trad. Ilana Heineber. Porto Alegre: Sulina, 2013.
- _____. *Os sete saberes necessários à educação do futuro*. São Paulo: Cortez, 2003.
- _____. *Ciência com consciência*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.
- MORROW, R. A.; TORRES, C. A. Jürgen Habermas, Paulo Freire e a pedagogia crítica: novas orientações para a educação comparada. *Educação, Sociedade & Culturas*, Porto, n. 10, p. 123-155, 1998.
- NEUMANN, J. *Theory of Self-Reproducing Automata*. Urbana, Ill.: A.W. Burks, University of Illinois Press, 1996.
- NOGUEIRA, M. G. Ambiente e desenvolvimento sustentável: reflexão sobre educação ambiental no âmbito da gestão ambiental empresarial. *Ambiente & Educação: Revista de Educação Ambiental da FURG*. Rio Grande, v. 14, 2009.
- NORMAN, D. A. Some observation on mental models. In: GENTNER, D.; STEVENS, A. (Eds.). *Mental models*. London: Lawrence Erlbaum, 1983.
- NOVAK, J. D. Human constructivism: a unification of psychological and epistemological phenomena in meaning making. In: NORTH AMERICAN CONFERENCE ON PERSONAL CONSTRUCT PSYCHOLOGY, 4. *Proceedings...* San Antonio, TX, 1990.
- _____. A demanda de um sonho: a educação pode ser melhorada. In: MINTZES, J. J.; WANDERSSE, J. H.; NOVAK, J. D. *Ensinando ciência para a compreensão*. Lisboa: Plátano, 2000. p. 22-44.
- OLIVEIRA, S. M.; OLIVEIRA, H. T. Educação Ambiental: construindo perguntas de pesquisa na ação educativa. *Revista Eletrônica Mestrado em Educação Ambiental*, v. 20, jan.-jun. 2008.
- ORSINI, R. N. *Educação Ambiental com o uso da modelagem computacional (VISQ-JAVA)*

para a abordagem sistêmica do modelo de desenvolvimento econômico (MDE) e suas consequências ambientais: estudo de casos de ensino e aprendizagem com alunos do IFRS. Rio Grande, 2011. Tese [Doutorado em Educação Ambiental] – Programa de Pós-Graduação em Educação Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande.

PANTOJA, M. J.; BORGES-ANDRADE, J. E. Uma abordagem multinível para o estudo da aprendizagem e transferência nas organizações. In: ENANPAD, 26. *Resumos*. Salvador: Associação Nacional de Pós- Graduação e Pesquisa em Administração, 2002.

PENTEADO, C. C.; FORTUNATO, I. Crise ambiental e percepção: fragmentação ou complexidade? *Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental*, v. 24, jan.-jul. 2010.

PEREIRA, V. A. A importância das teorias da educação na formação do educador. In: DOTTI, C. M. (Org.). *Educação: reflexões, vivências e pesquisa*. Caxias do Sul: Ed. da Universidade de Caxias do Sul, 2002. v. 1. p. 55-61.

_____. *A pedagogia de Rousseau: desafios para a educação do Século XVIII*. Passo Fundo: Clio, 2002.

PEREIRA, W. C. C. Movimento Institucionalista: principais abordagens. *Estudos e Pesquisas em Psicologia*, UERJ, ano 7, n. 1, 1º sem 2007.

PHILIPPI Jr., A.; SILVA NETO, J. A. *Interdisciplinaridade em ciência, tecnologia & inovação*. Barueri: Manole, 2011.

PIAGET, J. *O desenvolvimento do pensamento: equilíbrio das estruturas cognitivas*. Lisboa: Dom Quixote, 1977.

PIDD, M. *Modelagem empresarial*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

PINHEIRO, R.; URBANO, P. Teoria Geral dos Sistemas e teorias da comunicação na família. *Revista da UCPel*, v. 4, n. 1, p. 51-71, jun. 1994.

PRIGOGINE, I. *Arquiteto das estruturas dissipativas*. São Paulo: UNESP, 1996a.

_____. *O fim das certezas: tempo, caos e as leis da natureza*. São Paulo: UNESP, 1996b.

_____. *O nascimento do tempo*. São Paulo: Edições 70, 1990.

_____. *As leis do Caos*. São Paulo: Unesp, 1993.

PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. *Entre o tempo e a eternidade*. São Paulo: Companhia das Letras, 1992.

REIGOTA, M. *O que é educação ambiental*. São Paulo: Brasiliense, 2004.

REIS, M. J. L. *ISO 14.000 – Gerenciamento Ambiental: um novo desafio para a sua competitividade*. São Paulo: Quality-Mark, 1996.

RESNICK, R.; HALLIDAY, D. *Física 3*. São Paulo: Ao Livro Técnico, 1965.

_____. *Física 3*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2011.

RICHMOND, B. et al. *An academic user's guide to STELLA*. Lyme: High Performance System, Inc., 1987.

RIOJAS, J. A complexidade ambiental na universidade. In: LEFF, E. (Org.). *A complexidade ambiental*. São Paulo: Cortez, 2003.

ROBERTS, N. et al. *Introduction to computer simulation: a system dynamics modeling approach*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1983.

RUSCHEINSKY, A. et al. *Educação ambiental: abordagens múltiplas*. Porto Alegre: Artmed, 2007.

SACHS, I. *Caminhos para o desenvolvimento sustentável*. São Paulo: Garamond, 2002.

_____. *Estratégias de transição para o século XXI: desenvolvimento e meio ambiente*. São Paulo: Studio Nobel: Fundap, 1993.

SÁNCHEZ, L. E. (Org.). *Avaliação de impacto ambiental: situação atual e perspectivas*. São Paulo: EDUSP, 2008.

SANTOS, B. S. *Um discurso sobre as ciências*. São Paulo: Cortez, 2006.

_____. *Introdução a uma ciência pós-moderna*. 4. ed. Rio de Janeiro: Graal, 1989.

SANTOS, J. E.; SATO, M. *A contribuição da Educação Ambiental à esperança de Pandora*. São Carlos: Rima, 2006.

SAUVÉ, L. Educação ambiental e desenvolvimento sustentável: uma análise complexa. *Revista de Educação Pública*, São Paulo, v. 6, n. 10, p. 72-102, 1997.

_____. Educação ambiental: possibilidade e limitações. *Educação e Pesquisa*, São Paulo, v. 31, n. 2, p. 317-322, maio/ago. 2005.

SEIFFERT, M. B. *Gestão ambiental: instrumentos, esferas de educação ambiental*. São Paulo: Atlas, 2007.

SCHIRATO, M. A. R. *Iniciação à filosofia: que viva a filosofia viva*. São Paulo: Ed. Moraes, 1990.

SENGE, P. M. *A quinta disciplina: arte, teoria e prática da organização de aprendizagem*. Rio de Janeiro: Best Seller, 2005.

_____. Systems thinking. *Executive Excellence*, 15-16, Jan. 15, 1996.

SENGE, P. M. et al. *A quinta disciplina: caderno de campo*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1995.

SENGE, P. et al. *Escolas que aprendem: um guia da Quinta Disciplina para educadores, pais e todos que se interessam por educação*. Porto Alegre: Bookman/ArtMed, 2005.

SENGE, P. M.; STERMAN, J. D. Systems thinking and organizational learning: acting locally and thinking globally in the organizations of the future. In: MORECROFT, J. D. W.; STERMAN, J. D. *Modeling for learning organizations*. Portland: Productivity Press, 1994. p. 195-216.

SETZER, Valdemar W. A obsolescência do ensino. [2014] Disponível em: <<https://www.ime.usp.br/~vwsetzer/obsolesc.html>>. Acesso em: 12 jul. 2013.

SHANNON, C.; WEAVER, W. *Teoria matemática da comunicação*. Rio de Janeiro: Difel, 1975.

SIEBENEICHLER, F. B. *Jürgen Habermas: razão comunicativa e emancipação*. 4. ed. Rio de Janeiro: Tempo Brasileiro, 2003.

SILVA, A. S. Educação ambiental: aspectos teóricos, conceituais, legais e metodológicos. *Revista Educação em Destaque*, Juiz de Fora, v. 1, n. 2, p. 45-61, 2. sem. 2008.

SILVA, M. A. O trabalho com projetos: um convite à descoberta. In: _____. *Projetos de aprendizagem: tecnologias, transformações, escola*. Porto Alegre, 2003. Dissertação [Mestrado em Educação] – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SMITH A. *A riqueza das nações: uma investigação sobre a natureza e as causas da riqueza das nações*. São Paulo: Madras, 2009.

SOMMERMAN, A. Complexidade e transdisciplinaridade. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ESTUDOS DA COMPLEXIDADE, 2005. *Anais...* Curitiba: Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2005.

SUCHODOLSKI, B. *A pedagogia e as grandes correntes filosóficas*. Lisboa: Horizonte, 1978.

TAKEUCHI, H.; NONAKA, I. *Gestão do conhecimento*. Porto Alegre: Bookman, 2008.

TEIXEIRA, E. C. (Coord.). *Estudos ambientais em Candiota: carvão e seus impactos*. Porto Alegre: Pallotti, 2004.

TEIXEIRA, V. et al. *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Texto, 2003.

THIOLLENT, M. *Metodologia da pesquisa-ação*. 18. ed. São Paulo: Cortez, 2011.

VALADARES, J. A Teoria da aprendizagem significativa como teoria construtivista. *Aprendizagem Significativa em Revista*, v. 1, n. 1, 2011.

VARGAS, L.; MALDONADO, G. *Guia para apresentação de trabalhos científicos*. 3.ed., Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Administração – PPGA/UFRGS, 2001.

VENNIX, J. A. M. *Group modeling building: facilitating team learning using System Dynamics*. Chichester: John Wiley & Sons, 1999.

VYGOTSKY, L. S. *Pensamento e linguagem*. São Paulo: Martins Fontes, 1994.

WALLACE, G. A.; GRAY, A. *Eletrotécnica: princípios e aplicações*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2011.

WEAVER, W. Science and complexity. *American Scientist*, n. 36, p. 536-544, 1948.

WIENER, N. *Cibernética e sociedade: o uso humano de seres humanos*. São Paulo: Cultrix, 1984.

_____. *Cibernética*. São Paulo: Polígono; Universidade de São Paulo, 1970.

XAVIER, F. G. *A modelagem computacional, utilizando laboratório de aprendizagem experimental com animação para o pensamento sistêmico (STELLA), em tópicos relacionados à educação ambiental: um estudo com alunos do ensino técnico profissionalizante do Colégio Técnico Industrial da FURG*. Rio Grande, 2003. Dissertação [Mestrado em Educação Ambiental] – PPGEA, Universidade Federal do Rio Grande.

YIN, R. K. *Case study research: design and methods*. 2. ed. Newbury Park, CA: Sage, 1994.

ZABALA, A. *A prática educativa: como ensinar*. Porto Alegre: Artmed, 1998.

ZANELLI, J. C.; BORGES-ANDRADE, J. E.; BASTOS, A. V. B. *Psicologia, organizações e trabalho no Brasil*. Porto Alegre: Artmed, 2004.

APÊNDICES

APÊNDICE 1

Número de matrícula: _____

1º ENCONTRO

Prezado estudante

Você está participando de um projeto de pesquisa-ação que envolve alunos dos cursos de Engenharia Civil da Universidade do Rio Grande – FURG e que, nesta etapa dos trabalhos, necessita de sua colaboração através do preenchimento deste questionário. Para tanto, inicialmente você deve se posicionar com relação às afirmações abaixo, colocando no quadro que está ao lado de cada afirmação, uma das opções, justificando logo após sua resposta no local indicado.

- A – CONCORDO FORTEMENTE
- B – CONCORDO
- C – TENHO DÚVIDAS
- D – DISCORDO
- E – DISCORDO FORTEMENTE

Agradeço pela sua fundamental participação neste projeto

QUESTÕES

1. O atendimento de minhas necessidades presentes, no que diz respeito à qualidade de vida, não está relacionado com o atendimento das necessidades das gerações futuras.

Justificativa:

2. A capacidade do meio ambiente de reciclar matéria e absorver resíduos é infinita.

Justificativa:

3. A engenharia é responsável pela maior oferta de alimentos, nível de conforto e saúde do homem. Nesse contexto, o crescimento populacional vem exigindo a incrementação da produção e do consumo, desconhecendo cientificamente os impactos negativos produzidos por este desenvolvimento.

Justificativa:

4. Quanto maiores forem as aspirações de preservação ambiental, menores serão as possibilidades de crescimento econômico.

Justificativa:

5. Os problemas de engenharia, para serem solucionados e materializados, dependem apenas dos recursos financeiros e da vontade dos que decidem (empresários, políticos, etc..).

Justificativa:

6. Todo o sistema produtivo, focado exclusivamente no lucro, afeta negativamente a qualidade de vida da sociedade.

Justificativa:

7. O consumo de energia elétrica é regido pelas leis da oferta e da procura.

Justificativa:

8. A atual relação entre produção e consumo provoca instabilidade ecossistêmica global.

Justificativa:

9. O conhecimento associado aos problemas ambientais, nos cursos de engenharia civil da FURG, é dispensável para se trabalhar as diferentes disciplinas dos currículos.

Justificativa:

10. São extremamente necessários conhecimentos das leis da termodinâmica e do eletromagnetismo nos estudos dos impactos ambientais decorrentes do funcionamento de uma termoelétrica.

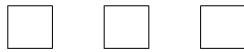
Justificativa:

11. Os conteúdos programáticos dos cursos de engenharia civil da FURG, como estão sendo atualmente trabalhados, não nos aproximam dos atuais problemas enfrentados pela sociedade.

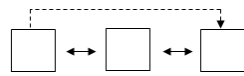
Justificativa:

12. Imagine que cada caixinha abaixo representa uma disciplina dos cursos de engenharia civil da FURG. Os diagramas que melhor descrevem as interações entre as diferentes disciplinas do currículo dos cursos estão mais próximos dos das letras **(d)** e **(e)**.

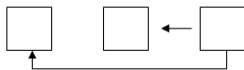
a)



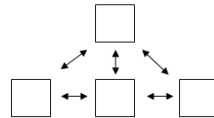
b)



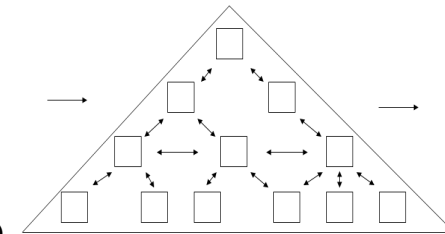
c)



d)



e)



Justificativa:

13. A educação, voltada para a interação do homem com o meio ambiente, é um dos instrumentos que auxilia na gestão das atividades de engenharia civil.

Justificativa:

14. Os cursos de engenharia civil da FURG estão estruturados para formar engenheiros cujo perfil vislumbra encontrar, além das soluções técnicas e econômicas de uma obra, a manutenção dos recursos necessários à preservação da vida.

Justificativa:

15. Nos cursos de engenharia civil são revisados os modelos éticos, econômicos, políticos, científicos e tecnológicos que regem as atuações humanas sobre o meio ambiente.

Justificativa:

16. O aumento dos impactos ambientais, fruto do atual Modelo de Desenvolvimento Econômico, está associado ao pouco investimento em educação.

Justificativa:

17. A geração de energia elétrica, com a utilização de combustíveis fósseis, afeta somente o ambiente atmosférico.

Justificativa:

18. Os alunos dos cursos de engenharia civil da FURG estão familiarizados com a implementação da ISO 14001 na indústria da construção civil.

Justificativa:

19. Hoje o conhecimento é um desafio, pois só podemos conhecer as partes se conhecermos o todo em que as partes se inserem.

Justificativa:

20. O homem altera o meio ambiente que por sua vez causará algum tipo de influência sobre o homem.

Justificativa:

21. A emergência da complexidade ambiental acontece no espaço onde estão em constantes interações somente os aspectos da natureza.

Justificativa:

22. A complexidade do meio ambiente tem sempre características caóticas.

Justificativa:

23. Nos sistemas entendidos como complexos, podem ocorrer interações não lineares entre seus elementos constituintes.

Justificativa:

24. Organismos vivos que estão em permanente busca do equilíbrio, mantêm sua organização às custas de uma maior desorganização global.

Justificativa:

APÊNDICE 2

LABORATÓRIO DE ATIVIDADES INTEGRADORAS EM ENGENHARIA

INTRODUÇÃO AO RACIOCÍNIO EM NÍVEL DE SISTEMA E AO AMBIENTE DE MODELAGEM COMPUTACIONAL STELLA (1º ENCONTRO).

1. A Dinâmica Sistêmica e a representação por Diagramas Causais

Uma das primeiras limitações para modelar a dinâmica de um sistema é entender o comportamento da realidade circularmente, ao invés de enxergarmos como linhas retas.

De acordo com Senge (2005), uma das razões que explicam a fragmentação do pensamento deriva da linguagem, já que esta forma a percepção.

Vygotsky (1993) entende que a interiorização da ação humana produz o pensamento e, em particular, é a interiorização do diálogo exterior que leva a linguagem a exercer influência sobre um fluxo de pensamento. O que nós enxergamos depende do que estamos preparados para ver. Como expõe Vygotsky (1993), o pensamento não é expresso através de palavras, uma vez que ele vem para a existência através delas e, no caso dos idiomas ocidentais, a estrutura sujeito-verbo-objeto, tende a favorecer o pensamento linear. Se quisermos ver os inter-relacionamentos do sistema como um todo, precisamos de uma linguagem feita de círculos. Sem tal linguagem, nossa forma habitual de ver o mundo produz visões fragmentadas e ações contraproducentes.

Senge (2005) ilustra os elementos básicos dessa nova linguagem, considerando um sistema muito simples – encher um copo d'água. Pensando linearmente, dizemos: “Estou enchendo um copo d'água”. Na verdade, ao encher o copo d'água, estamos observando o nível d'água subir. Controlamos a diferença entre o nível atual e o nível d'água desejado, ou seja, procurando alcançar um objetivo. Quando a água se aproxima do nível desejado, ajustamos a posição da torneira para reduzir o fluxo d'água, até fechá-la quando o copo estiver cheio. Então, quando enchemos um copo d'água, estamos monitorando um sistema de regulação de água, que envolve cinco variáveis: o nível d'água desejado, o nível atual do copo, a diferença entre os dois níveis, a posição da torneira e o fluxo de água.

Como este processo é continuado até que se encontre o nível desejado de água, podemos organizar estas variáveis em um círculo ou elo de relacionamentos de causa e efeito, a retroalimentação também conhecida como realimentação, ou *feed-back* que pode ser representado pela figura 1.

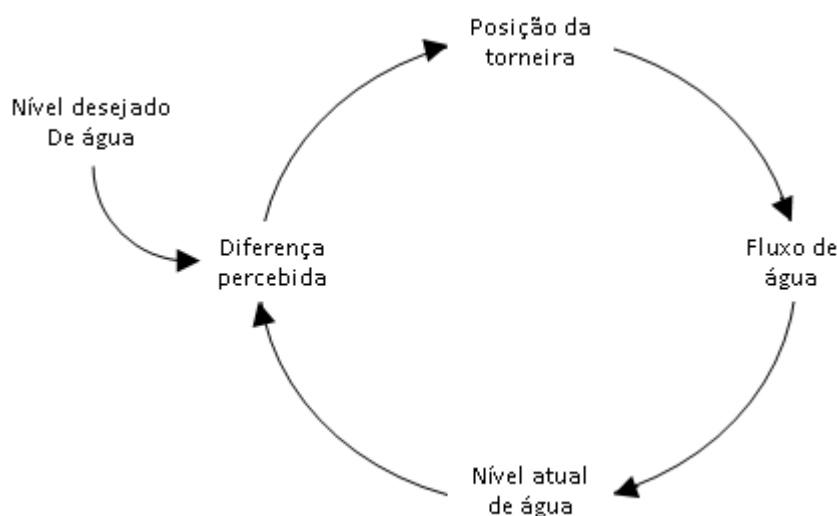


Figura 1 – Pensamento sistêmico do monitoramento do nível d’água
 Fonte: Adaptado de Senge (2007)

Forrester (1990) foi um dos pioneiros dessa maneira de interpretar a realidade, ao elaborar a Dinâmica de Sistemas, um método de estudo da estrutura e das interações dos sistemas complexos que utiliza o diagrama causal como ferramenta que permite expressar o comportamento do sistema observado no tempo. Para ele, quando um sistema é reduzido a um diagrama de elos causais, com suas equações matemáticas que nos permitam a interpretação da evolução temporal de suas variáveis, poderemos então entender melhor a realidade do fenômeno, analisando e informando aos outros seus resultados.

Kurtz dos Santos (1995), citando Roberts (1986), aponta que a construção de diagramas de elos causais permite a uma pessoa comunicar, com poucas palavras e setas, a sua teoria da estrutura subjacente ao problema. Considera que tal técnica também ajuda a expressar o nível de entendimento de uma situação, algumas vezes referido como modelo mental.

Observa ainda o autor que o diagrama causal tem duas finalidades nos estudos da Dinâmica de Sistemas complexos. Primeira, conseguir através dele um esboço das hipóteses causais. Segunda, simplificar a ilustração do modelo. Em resumo, ele possibilita ao analista comunicar rapidamente os pressupostos estruturais do modelo ainda nos estágios iniciais dos estudos do sistema.

2. Técnicas de representação de Diagramas Causais

As técnicas apresentadas por Kurtz dos Santos (1995) para representar sistemas através dos Diagramas Causais ou Diagramas de Causa e Efeito são as seguintes:

1) A partir do par de variáveis x e y , que se afetam mutuamente, traçamos setas que representam a influência de uma variável x sobre a outra y , podendo ocorrer sistemas com pares de causa e efeito positivo e/ou negativo, definindo daí o diagrama de causa e efeito dominante.

- o par de causa e efeito positivo apresentado no esquema abaixo mostra o sinal + na extremidade da seta, indicando que a variável x no início da seta afeta positivamente a variável y indicada na extremidade da seta, ou, em outras palavras, se x aumentar, y aumentará, se x diminuir, y diminuirá.

$x \longrightarrow + y$ se a causa aumenta, o efeito aumenta;

se a causa diminui, o efeito diminui.

- o par de causa e efeito negativo apresentado no esquema abaixo mostra o sinal - na extremidade da seta, indicando que a variável no início da seta x afeta negativamente a variável indicada na extremidade da seta y , ou, em outras palavras, se x aumentar, y diminuirá, se x diminuir, y aumentará.

$x \longrightarrow - y$ se a causa aumenta, o efeito diminui;

se a causa diminui, o efeito aumenta.

3. Exercícios sobre Pares de Causa e Efeito

Faça agora o Par de Causa e Efeito das seguintes situações:

- O aumento populacional influencia na geração de energia elétrica:

Por quê?

- A poluição influencia na qualidade de vida humana:

Por quê?

- A gestão ambiental sistêmica influencia nos impactos ambientais:

Por quê?

- A Educação Ambiental influencia na extração dos recursos naturais:

Por quê?

- O pensamento cartesiano influencia na emergência da interdisciplinaridade:

Por quê?

4.Elos de retroalimentação

Os elos de realimentação ou *feedback*, poderão ser de dois tipos:

- os elos positivos auto-reforçantes, associados a comportamentos dinâmicos, geram crescimentos ou colapsos contínuos. Um *loop* que reforça o seu comportamento inicial. A título de exemplo, vamos substituir a variável x pelo consumo de carvão e a variável y pela geração de energia elétrica. Nesse caso, um par de causa é positivo, associado ao consumo de carvão em função da geração de energia elétrica. Nessa estrutura básica, a geração de energia é a causa e o consumo de carvão, o efeito. Um comportamento sistêmico caracterizado por um crescimento contínuo ou um decaimento das duas variáveis, ou seja, um *loop* que reforça o comportamento inicial, onde os elos que apresentam este comportamento recebem o nome de Elo de Retroalimentação Positivo, identificado pelo sinal \oplus no seu interior, está representado na figura 2.

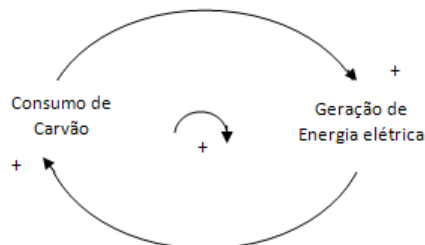


Figura 2 – Elo de retroalimentação positivo.

A representação gráfica dos possíveis padrões de comportamento das variáveis em função do tempo, para esse tipo de sistema, é mostrada na figura 3 e demonstra comportamento continuamente crescente ou continuamente decrescente para as variáveis x e y respectivamente.

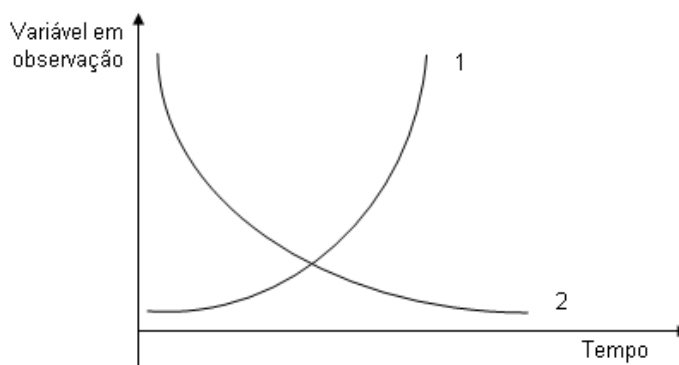


Figura 3– Diagramas Causais negativo e positivo.

- os elos de retroalimentação, cujos comportamentos dinâmicos procuram resistir às mudanças, caracterizando-se por um movimento oscilatório ou de busca por um objetivo recebem o nome de “elo de retroalimentação negativo”. Para exemplificar, mostramos a variável x substituída pelo impacto ambiental e a variável y por gestão ambiental. Nesse caso, teremos um Elo de Retroalimentação Negativo associado a um par de causa e efeito negativo, indicando a diminuição do impacto ambiental em função da gestão ambiental.

Nessa estrutura básica, a gestão ambiental é a causa e a diminuição dos impactos ambientais, o efeito. O Elo de Retroalimentação Negativo está identificado pelo sinal \ominus no interior da representação do diagrama causal como representa a figura 4.

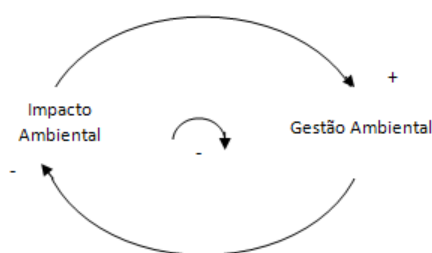


Figura 4 – Elo de retroalimentação negativo

Esse tipo de comportamento, cuja representação gráfica está na figura 5, é caracterizado por um movimento oscilatório de equilíbrio das variáveis que, com o passar do tempo buscam um valor constante, ou seja, a busca por um objetivo. Um *loop* que nega o seu comportamento inicial e recebe o nome de “elo de retroalimentação

negativo”. O nível da área impactada ambientalmente em um processo de gestão ambiental sistêmico pode ser um exemplo.

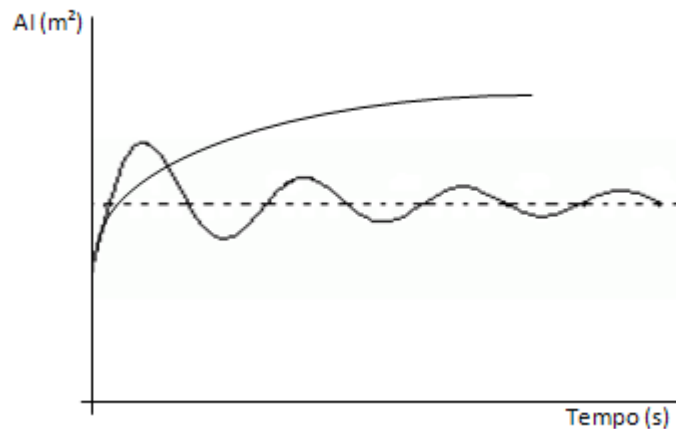


Figura 5 – Gráfico dos possíveis padrões de comportamento de um Elo de Retroalimentação Negativo em função do tempo.

Fonte: Adaptado de Kurtz dos Santos et al. (2002, p. 30)

Quando se estudam os efeitos de diversas variáveis em sistemas complexos, a ideia de “atraso” é fundamental, já que são efeitos que somente serão percebidos após um determinado tempo de espera.

5. Diagrama Causal Dominante

O Diagrama Causal pode possuir vários elos positivos e negativos, dependendo do fenômeno sistêmico analisado. Como ilustração, podemos apresentar o diagrama da figura 6. Para melhor compreendermos o conceito de Diagrama Causal Positivo e Negativo é preciso que se leve em consideração o seguinte: conta-se o número de sinais (-). Se esse número for ímpar, o diagrama causal é negativo. Se o número for par, o diagrama causal é positivo. Na figura 7, que mostra a representação gráfica (população x tempo), percebemos que da origem até a data indicada, o Diagrama Causal Dominante é o positivo(+), já que neste período existe um crescimento da população com o passar do tempo.

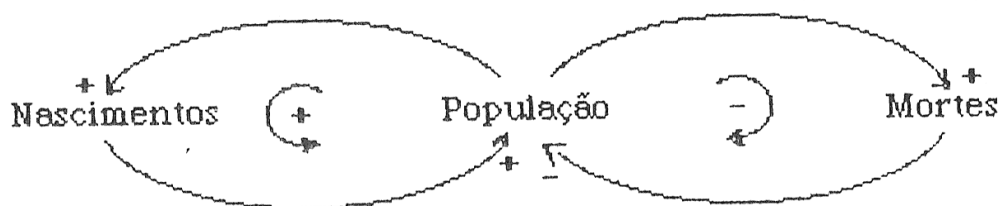


Figura 6 – Diagrama Causal Positivo e Negativo onde predomina o Positivo

Fonte: Adaptado de Kurtz dos Santos (1995, p. 56)

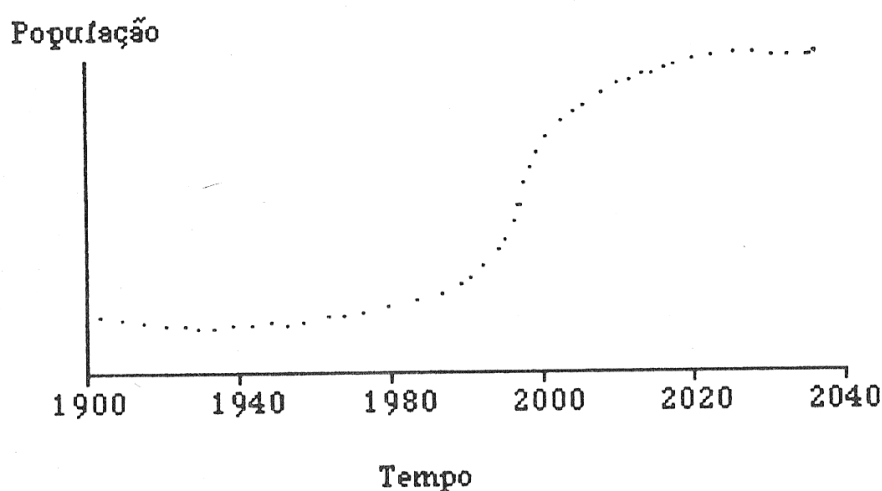


Figura 7 - Representação gráfica da população x tempo correspondente ao diagrama causal da figura 6.

Fonte: Adaptado de Kurtz dos Santos (1995, p. 57)

6. A retroalimentação e o raciocínio em nível de sistema

Um elemento-chave no método da Dinâmica de Sistemas é a identificação de elos causais de retroalimentação. O elo de retroalimentação é o caminho que acopla a decisão, ação, nível (estado ou condição) de um sistema, e a informação, com o caminho retornando ao ponto de decisão. A ênfase nos elos causais pode ser uma ferramenta poderosa para ajudar a definir os limites do sistema e para decidir sobre o que deve e o que não deve ser incluído nos limites de um sistema econômico, social, empresarial ou outro qualquer, e para decidir sobre o que deve e o que não deve ser incluído dentro do estudo de um sistema.

Roberts (apud KURTZ DOS SANTOS, 1995) destaca que um modo de deixar clara a representação de um sistema é focalizar correntes circulares ou elos causais:

dentro de um elo causal, a causa inicial “percorre” toda a corrente de causa e efeito, até a causa inicial tornar-se um efeito indireto de si mesma.

Os métodos baseados nos elos causais podem fornecer muita informação sobre a estrutura de sistemas, mas é frequentemente difícil inferir o comportamento de um sistema a partir de seus elos causais. É necessário mover da representação de elos causais para um modelo computacional, tradicionalmente desenvolvendo primeiro um diagrama de fluxo, conforme será visto posteriormente.

7. Estudo e exercícios utilizando elos de retroalimentação

Construa um Diagrama Causal através de Elos de Retroalimentação dos Sistemas abaixo relacionados. Utilize como o auxílio o Diagrama Causal da figura 6.

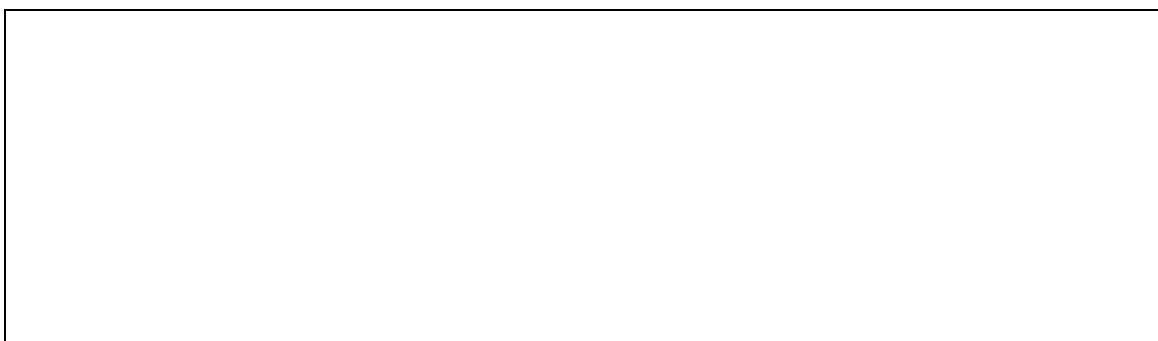
- **Geração de energia elétrica:**



- **População:**



- **Poluição:**



8. Princípios de Sistemas de Forrester

Segundo Forrester, existem dois tipos fundamentais de variáveis sistêmicas: os *níveis* (estados) e as *taxas* (ações). Entende o autor que estas variáveis, exceto por constantes, são suficientes para representar um elo de retroalimentação.

Na mudança de uma representação por elo causal para uma simulação no computador, a primeira medida a ser adotada é a identificação de níveis e taxas do sistema. Um nível é uma quantidade que se acumula no tempo, e uma taxa é uma atividade, ou movimento, ou fluxo, que contribui para mudança por unidade de tempo num nível. Por exemplo, energia elétrica consumida por uma residência é um nível, a potência de um equipamento elétrico, a energia consumida por este na unidade de tempo, é uma taxa.

Após identificar às variáveis como níveis e taxas, podemos representar o sistema na forma de diagrama de fluxo conforme a figura 8.

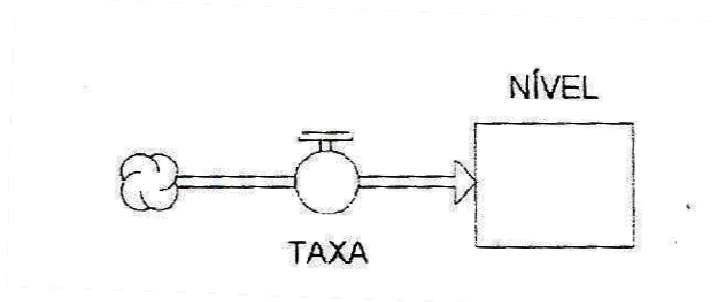


Figura 8 - Símbolos que são usados para representar níveis e taxas nos diagramas de fluxo

Fonte: Adaptado de Kurtz dos Santos (1995)

9. Movendo dos Diagramas Causais para os Diagramas de Fluxo

A mudança de diagramas causais para de fluxo requer um pouco de símbolos adicionais. A figura 9, a seguir, mostra o diagrama causal e o diagrama de fluxo correspondente.

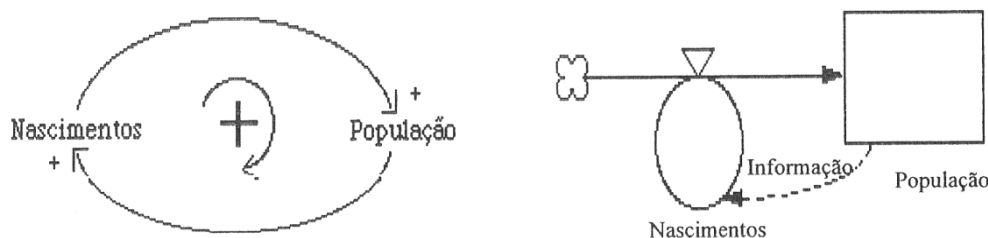




Figura 9 – Diagrama causal com o correspondente diagrama de fluxo.

Fonte: Adaptado de Kurtz dos Santos (1995, p. 66)

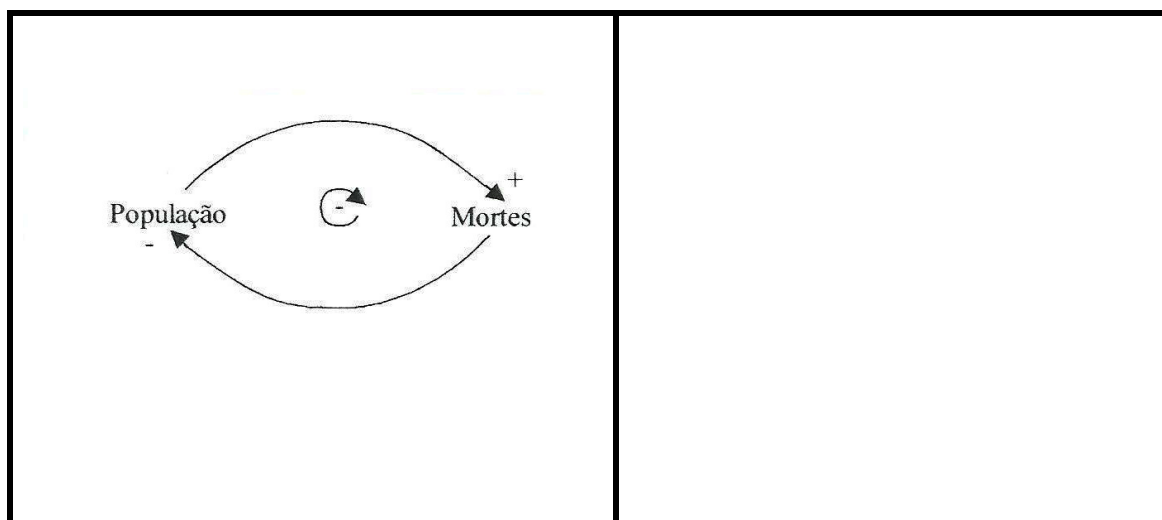
O nível é a População, como indicado pelo retângulo, e Nascimentos é uma taxa, conforme indicado pelo símbolo de taxa. O elo positivo de População para Nascimentos no diagrama causal é mostrado com o seguinte símbolo  no diagrama de fluxo, indicando que o tamanho da População influencia a taxa de nascimentos. O elo positivo  de Nascimentos para a População, no diagrama causal, é mostrado no de fluxo com o símbolo, indicando que o numero de nascimentos por unidade de tempo influencia o tamanho da população.

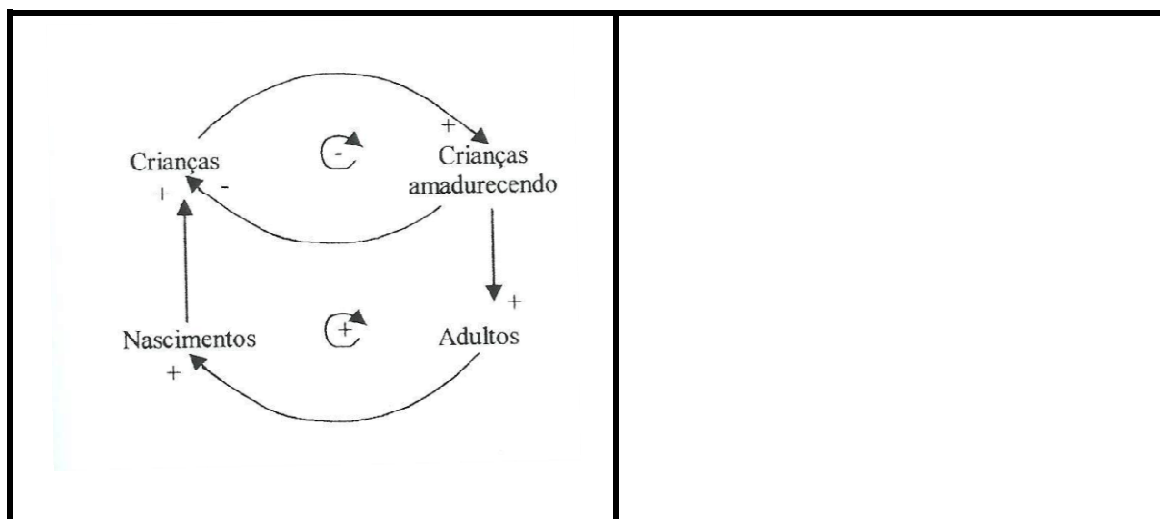
A “nuvem” na origem solida representa a fonte de pessoas. (fontes representam sistemas de taxas e níveis fora do limite do modelo. Neste caso, a fonte permite não considerar a questão sobre a origem das crianças – isto é, de onde elas vêm. “Nuvens” podem também representar “sumidouros”, onde o fluxo termina, fora do sistema).

O digrama de fluxo é uma representação mais detalhada que o diagrama causal. Ele identifica a população como uma quantidade que acumula e identifica nascimentos como uma quantidade que influencia quão rápido a população acumula. O diagrama causal ignora a distinção entra uma taxa de fluxo e um elo causal não envolvendo uma taxa de fluxo, mas o diagrama de fluxo chama atenção explícita a essa distinção.

Exercício:

A partir do diagrama causal, identifique as variáveis que são níveis e taxas nos sistemas e desenhe o diagrama de fluxo correspondente.





10. Modelagem computacional STELLA

De acordo com Kurtz dos Santos et al. (2002), STELLA acrônimo para “Structural Thinking Experimental Learning Laboratory with Animation (Richmond et al. 1987)”, desenvolvida inicialmente para os computadores Apple Macintosh, é uma ferramenta de modelagem quantitativa que segue os conceitos de Forrester e usa uma metáfora de tanques, válvulas e canos.

Conforme explica Kurtz dos Santos et al. (2002), o primeiro passo a ser dado no estudo da ferramenta STELLA e na mudança de uma representação do elo de retroalimentação para uma simulação de computador, é a identificação de duas variáveis fundamentais que existem no programa: os níveis (estados) e as taxas (ações).

Os níveis ou estados são variáveis que dentro de um elo de retroalimentação integram ou acumulam resultados de uma ação num sistema, por isso não podem sofrer mudanças instantâneas. Os níveis somente se alteram quando as variáveis taxas modificam seu valor original num intervalo de tempo. Dessa forma, embora não haja atividades no sistema, as acumulações dos efeitos das ações passadas continuam existindo e podem ser observadas. Logo, apenas com os valores das variáveis níveis, podemos descrever completamente as condições de um sistema.

A taxa, outra variável fundamental do elo de retroalimentação, não pode interagir diretamente com outra taxa, e sim através da influência sobre variáveis do sistema e seu valor depende somente de constantes e dos valores atuais das variáveis níveis. Outra característica da taxa é que ela não pode ser medida instantaneamente e seus instrumentos de medição requerem tempo para funcionar. Dessa maneira o valor

que medimos da taxa é um valor médio num intervalo de tempo. Cabe salientar que as taxas são variáveis de ação e que cessam quando cessa a ação. Uma vez que a taxa independe de outra taxa, porque pode ser medida a partir dos níveis, suas equações são de forma algébrica simples, não envolvendo tempo ou intervalo de solução, e não dependem de valores passados. Já os níveis são acumulação do efeito passado, que continuam existindo mesmo que não haja atividade no sistema.

Esclarecem os autores que as unidades de medida de uma variável não distinguem entre um nível e uma taxa, uma vez que a identificação deve reconhecer a diferença entre uma variável gerada por integração e uma que é uma afirmativa política no sistema.

Para Kurtz dos Santos et al. (2002), num estudo que utilize a ferramenta computacional STELLA, o primeiro passo a ser dado é a transformação do elo causal para uma simulação no computador identificando essas duas variáveis: um tanque (estoque ou nível, podendo ainda ter outras representações) representa uma quantidade cujo valor inicial pode crescer ou decrescer. É conveniente descrever as variáveis relacionadas a acumulações durante a passagem do tempo por tanques (ou estoques).

Uma torneira (taxa) conectada a um tanque decide quão rápida a quantidade no tanque está mudando. Várias torneiras podem ser conectadas a um tanque. Quantidades representadas por um círculo (conversor) podem ser constantes, ou podem ser obtidas a partir de outras quantidades.

Como já apreciado anteriormente, o diagrama de fluxo é uma representação mais detalhada do diagrama causal, por isso ele identifica o nível como uma quantidade que acumula e identifica a taxa como uma quantidade que influencia no quanto mais rápido o nível vai acumular. A simbologia que mostra a influência da taxa e seu conversor no nível, num diagrama de fluxo na ferramenta Stella é apresentada na figura 10.

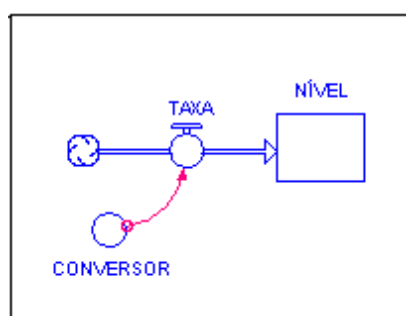


Figura 10 – Símbolos de nível, taxa e conversor num diagrama de fluxo desenvolvido em STELLA

Fonte: Adaptado de Kurtz dos Santos (1995, p. 62)

A nuvem na extremidade do símbolo taxa pode por sua vez representar as fontes, ou seja, sistemas de taxas e níveis fora do limite do modelo ou também sumidouros, onde o fluxo termina fora do sistema. O diagrama causal não percebe a diferença entre uma taxa de fluxo e um elo causal. Já o diagrama de fluxo alerta para essa distinção.

Kurtz dos Santos et al. (2002, p. 34) na fig.11 mostram que é possível verificar que em qualquer caminho, através da estrutura de um sistema, encontra-se taxas e níveis que se alteram. Percebe-se que níveis intermediários permitem que duas taxas difiram e seja determinada independente uma da outra, sendo que, todos os níveis contêm a história atualizada e disponível do sistema, além de serem conhecido em certos intervalos de tempo, diferentemente das taxas, que podem ser determinadas a partir ou independentes dos níveis.

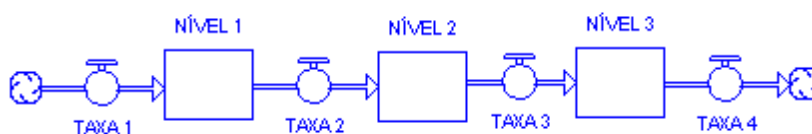


Figura 11 – Níveis e taxas que se alteram
Fonte: Adaptado de Kurtz dos Santos (2002, p. 34)

STELLA permite a construção de um modelo através da conexão desses objetos básicos, e o usuário não necessita definir as equações diretamente. Ele tem que fornecer relações algébricas, mas o sistema converte essas relações em linhas de programa.

O software permite a obtenção de gráficos de quaisquer variáveis contra outras, e contra o tempo, e gera uma tabela de dados.

STELLA é uma ferramenta muito flexível onde o diagrama animado, gráficos, tabelas e equações são todos acessíveis. O modo gráfico permite o trabalho com diversos gráficos diferentes dentro de um mesmo modelo.

11. Funcionamento do *software* STELLA

Na sequência faremos a apresentação do software STELLA e de alguns comportamentos dinâmicos que podem ser trabalhados, lembrando que no programa um tanque representa uma quantidade cujo valor pode crescer ou decrescer, sendo conveniente descrever as variáveis relacionadas à acumulação durante a passagem de tempo por tanques. A torneira, que representa a taxa decide o quão rápido a quantidade no tanque esta mudando. O conversor, quantidades representadas por um círculo podem

ser constantes, ou podem ser obtidas de outras quantidades.

No STELLA, o usuário, ao construir um modelo, através da conexão dos objetos básicos, tanque, torneira e conversor, não necessita definir as equações diretamente. Ele tem que apenas fornecer as relações algébricas e o sistema converte essas relações em linhas do programa. O STELLA permite a obtenção de gráficos de quaisquer variáveis contra outras e contra o tempo gerando, ao final, uma tabela de dados.

12 Tela principal do software STELLA

A figura 12 apresenta a tela principal do STELLA onde está representado um diagrama de fluxo do aumento populacional. Na parte superior da tela aparecem os principais ícones utilizados que passamos a descrever a seguir.

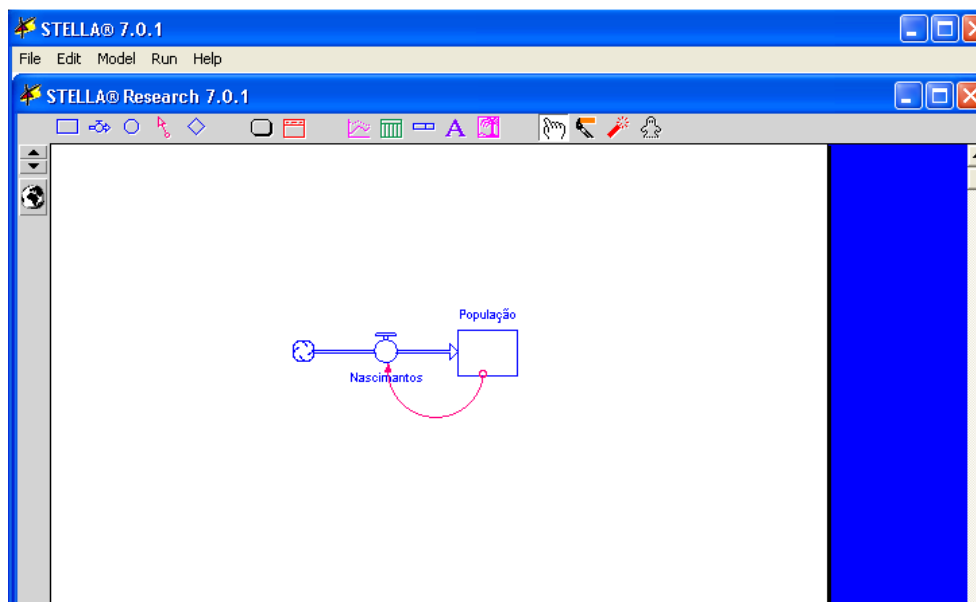


Figura 12 - Tela principal do *software* STELLA

13 Principais ícones do STELLA

O programa STELLA, sendo uma ferramenta de modelagem computacional quantitativa, exige de seus usuários algum conhecimento prévio sobre modelagem computacional.


Seu funcionamento acontece a partir da interação entre variáveis, representadas por ícones. Logo, o usuário para construir um diagrama deve saber o que representam seus ícones e também a as suas funções:


File A opção permite abrir, fechar, salvar arquivos e imprimir.


Edit A opção permite selecionar, copiar e colar.


Model A opção aparece no nível de modo Mapa, em um nível acima (interface), e um nível abaixo (equation). Todos os modos permitem mudança de preferências.


Run A opção permite especificar o tipo de tempo que será utilizado e executar ou rodar a simulação.


 Representa uma variável que pode ser alterada ao longo do tempo por uma variável do tipo taxa.


 Representa uma variável que promoverá a mudança da variável tipo nível ao longo do tempo. Pode ser unidirecional ou bidirecional.


 Representa uma relação de causa-efeito entre variáveis, expressando uma dependência entre elas.


 É usada para traçar o gráfico de uma ou mais variáveis de um modelo em simulação.


 É usada para visualizar a saída numérica de uma ou mais variáveis de um modelo em simulação.


 Ao clicar-se numas dessas setas é possível andar nas diferentes camadas do programa: 1º) alto nível, 2º) construção do modelo e 3º) janela de equações.


 No modo mapa é possível construir-se o diagrama do modelo sem preocupação com valores numéricos. Nesse modo o modelo não poderá ser executado. Para isso são necessários os números.


 Ao clicar-se uma vez no mapa, passa-se para o modo diagrama, que exige números. Agora deve-se necessariamente definir o valor inicial das variáveis e as constantes e informar as equações algébricas das taxas.

 Caso o modelo exija alguma constante ou mesmo outras variáveis, clica-se o botão do mouse sobre este ícone e coloca-se na posição desejada. Para ligar esta variável a outra, basta clicar o botão do mouse em uma variável e estender a seta até a outra, desde que a ligação seja possível.

 A mão serve para posicionar o diagrama da melhor forma possível, já que, às vezes, dado o numero excessivo de variáveis e ligações, a visualização fica prejudicada com ela é possível mover-se os objetos na tela.

 Este ícone serve para apagar objetos na tela. Como os outros, basta clicar o botão do mouse no ícone e, em seguida, sobre o objeto que se deseja destruir.

 O fantasma serve para mostrar, isoladamente, o comportamento de uma variável que se queira observar. Essa função permite fazer uma cópia fiel de um dos objetos do diagrama. É normalmente usado quando o diagrama é muito grande e ocupa mais de uma tela.

 Este ícone permite visualizar os valores numéricos assumidos pela variável durante a execução do modelo.

APÊNDICE 3

LABORATÓRIO DE ATIVIDADES INTEGRADORAS EM ENGENHARIA

INTRODUÇÃO AO RACIOCÍNIO EM NÍVEL DE SISTEMA E AO AMBIENTE DE MODELAGEM COMPUTACIONAL STELLA (2º ENCONTRO)

A Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) é um importante instrumento de Gestão Ambiental Sistêmico (GAS). Um dos métodos mais utilizados para sua realização são os modelos computacionais matemáticos que, permitem a elaboração de vários cenários tendo por finalidade representar a estrutura e o funcionamento dos sistemas ambientais através da complexidade das relações entre elementos quantitativos e qualitativos, físicos, bióticos ou socioeconômicos, partindo de um conjunto de hipóteses ou pressupostos. Tais modelos são úteis por explorar a não linearidade e o inter-relacionamento nas avaliações de impactos, incluindo a perspectiva temporal, permitindo a realimentação do sistema através de um grande número de variáveis quantitativas e qualitativas. Um dos modelos que apresentam o perfil acima mencionado é a modelagem computacional em ambiente STELLA, que está sendo desenvolvido no presente estudo. Nesse caso, é preciso demonstrar que quando se explora um modelo de um sistema dinâmico, associado ao meio ambiente, é preciso visualizar e o que pensamos, externalizando-o através de simulações que podem ser feitas no software STELLA.

Assim, iniciamos nossas atividades procurando explorar modelos básicos que envolvam variáveis associadas à geração de Energia Elétrica e seus Impactos Ambientais, à produção e consumo e aos processos mitigatórios envolvam a GAS e a EA. Para tanto, se faz necessário edificar alguns conhecimentos sobre os relacionamentos que orientam algumas dinâmicas básicas que são padronizadas, e que podem ser representadas na modelagem computacional.

1) Crescimento e Decaimento Linear

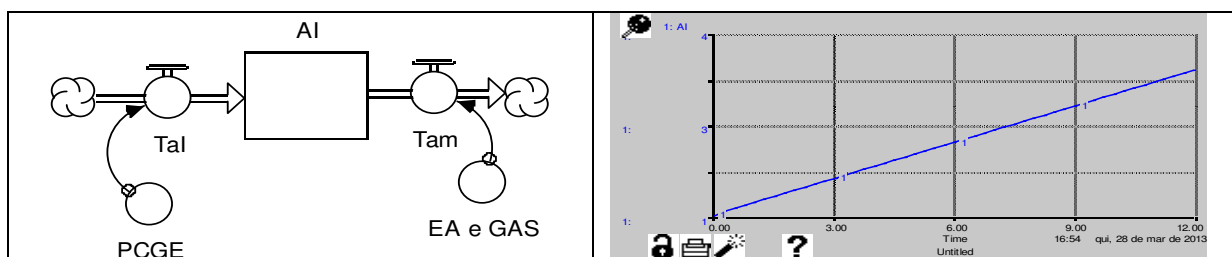


Figura 1 – Comportamento linear de Área Impactada tendo como taxas a área impactada e a mitigada desenvolvido em STELLA.

2) Crescimento exponencial

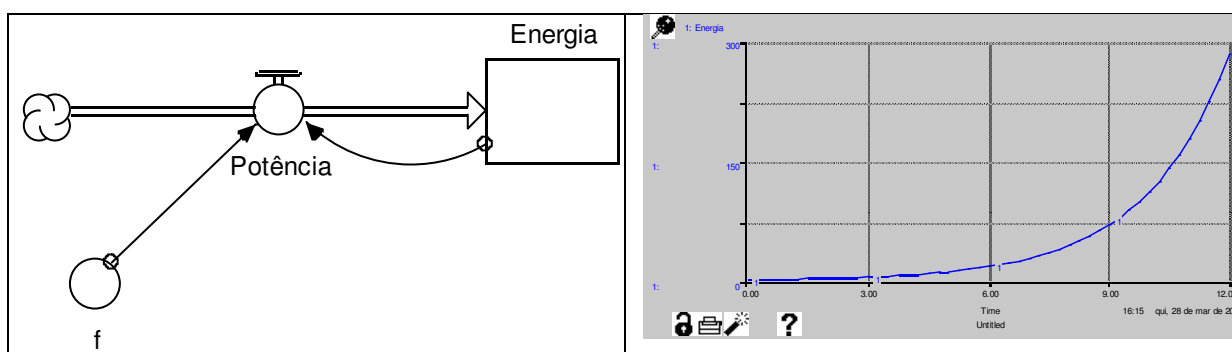


Figura 2 - Crescimento exponencial da Energia tendo a Potência como taxa desenvolvido em STELLA.

3) População

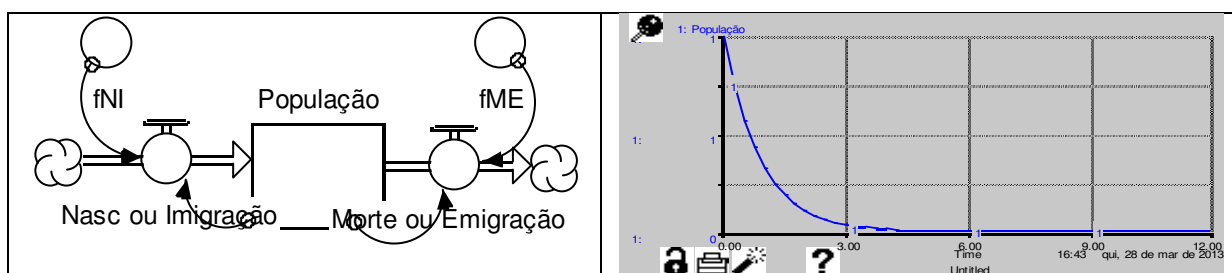
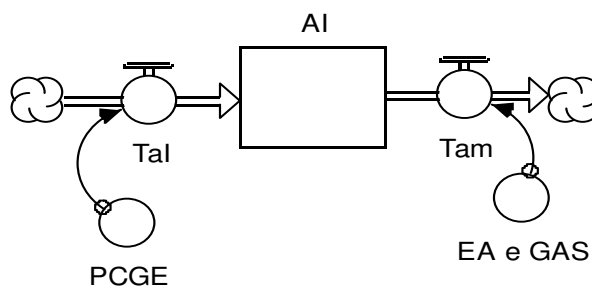


Figura 3 - Gráficos da evolução temporal de uma População influenciada por taxas de Nascimento ou Imigração e Morte ou Emigração, desenvolvido em STELLA.

A seguir, observe cada um dos modelos apresentados e siga as instruções que vem a seguir:

Modelo 1

Execute o modelo, solicite gráficos e responda as perguntas:

O que ocorre se a taxa de área impactada for menor que a taxa de área mitigada?

Por que isso acontece? Quais são as causas?

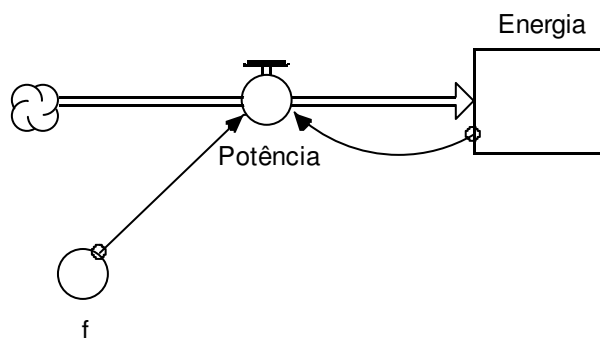
O que ocorre se a taxa de área impactada for maior que a taxa de área mitigada?

Por que isso acontece? Quais são as causas?

O que ocorre se a taxa de área impactada for igual à taxa de área mitigada?

Por que isso acontece? Quais são as causas?

Modelo 2



O que acontece se o fluxo de entrada for nulo?

Por que isso acontece? Quais são as causas?

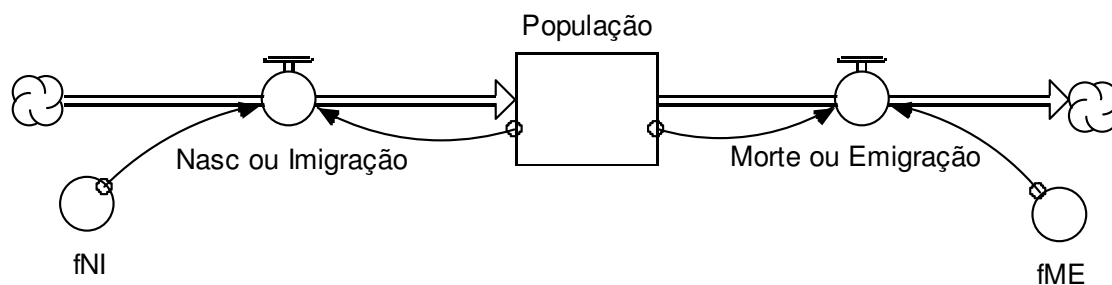
O que acontece se o fluxo de entrada for maior que zero?

Por que isso acontece? Quais são as causas?

Por que neste modelo a Potência aparece como taxa ou torneira?

Modelo 3

Execute o modelo, solicite gráficos, observe e responda as perguntas



O que acontece quando a fração f_{NI} for maior que a fração f_{ME} ?

Por que isso acontece? Quais são as causas?

O que acontece quando a fração f_{NI} for igual à fração f_{ME} ?

Por que isso acontece? Quais são as causas?

O que acontece quando a fração fNI for menor que a fração fME?

Por que isso acontece? Quais são as causas?

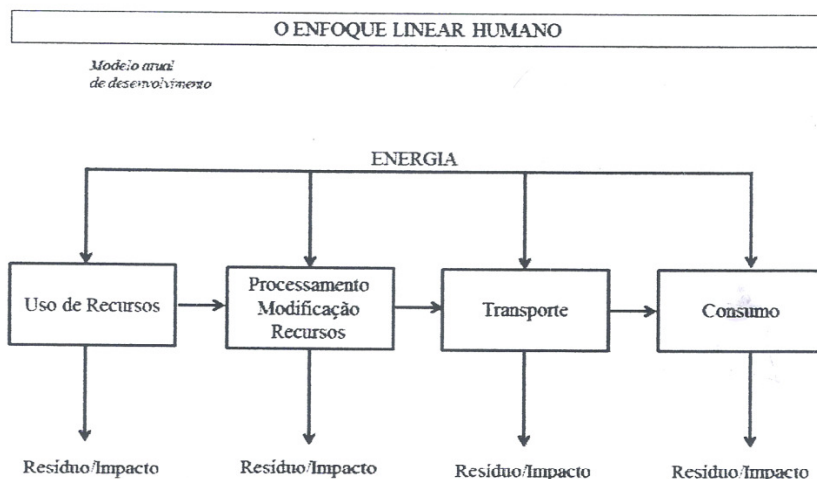
APÊNDICE 4

LABORATÓRIO DE ATIVIDADES INTEGRADORAS EM ENGENHARIA INTRODUÇÃO AO RACIOCÍNIO EM NÍVEL DE SISTEMA E AO AMBIENTE DE MODELAGEM COMPUTACIONAL STELLA (3º ENCONTRO)

Bases do desenvolvimento sustentável

A análise dos temas apresentados até agora mostra, com clareza, os motivos que levaram à taxa de degradação ambiental do planeta, gerando incertezas sobre as possibilidades de sobrevivência e perpetuação da espécie humana na Terra. O Modelo de Desenvolvimento Econômico escolhido pela sociedade humana até atingir seu atual estágio pode ser representado pela figura 1. Como podemos observar, o modelo representa um sistema, que depende de um suprimento contínuo e inesgotável de matéria e energia que, depois de utilizadas, são devolvidas ao meio ambiente (jogadas fora). Para que tal modelo possa ter sucesso de desenvolvimento, ou seja, para que os seres humanos garantam sua sobrevivência, as seguintes premissas teriam que ser verdadeiras:

- suprimento inesgotável de energia;
- suprimento inesgotável de matéria;
- capacidade infinita do meio de absorver resíduos e reciclar matéria.



Podemos admitir que o Uso de Recursos (primeiro bloco) é inesgotável, já que o sol é uma estrela que ainda poderá fornecer energia à Terra por cinco bilhões de anos. Em relação à matéria, a premissa não se verifica, já que sua quantidade é finita e conhecida. Quanto à capacidade de absorver e reciclar matéria ou resíduos, a humanidade tem observado a existência de limites no meio ambiente e precisa conviver com níveis indesejáveis e preocupantes de poluição do ar, da água e do solo e com a conseqüente deterioração da qualidade de vida.

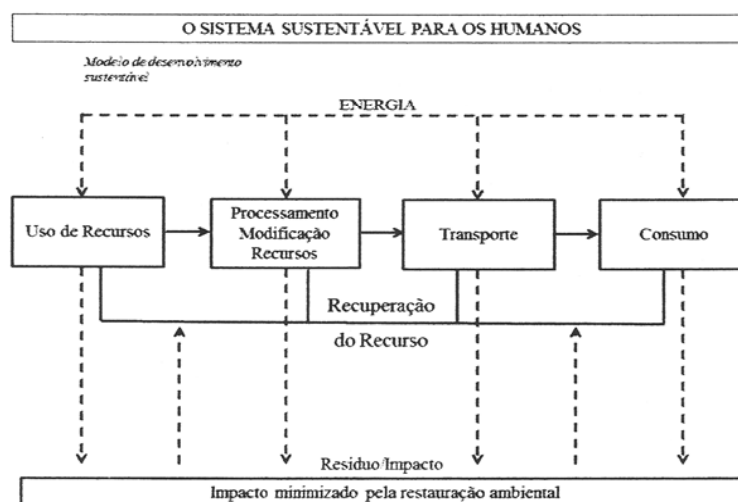
Dessa maneira, o crescimento populacional contínuo observado é incompatível com um ambiente finito, em que os recursos e a capacidade de absorção e reciclagem de resíduos são limitados. Devemos acrescentar a esse quadro o aumento do consumo individual que se observa no desenvolvimento da sociedade humana, que torna a situação mais preocupante ainda. Portanto, se o modelo de desenvolvimento

da sociedade não for alterado, estaremos caminhando para o colapso do planeta, com perspectivas nefastas para a sobrevivência do homem.

Devemos, ainda, rever o modelo anterior para que, com conhecimentos científicos, seja possível aumentar a probabilidade de sucesso de perpetuação da espécie humana. Os ensinamentos das leis físicas e do funcionamento dos ecossistemas fornecem os ingredientes básicos para a concepção do modelo que pode ser chamado de Modelo de Desenvolvimento Sustentável. Ele deve funcionar como um sistema, que tem como base as seguintes premissas:

- dependência do suprimento externo contínuo de energia (sol);
- uso racional da energia e da matéria com ênfase na conservação, em contraposição ao desperdício;
- promoção da reciclagem e do reuso de materiais;
- controle da poluição, gerando menos resíduos para serem absorvidos pelo ambiente;
- controle do crescimento populacional em níveis aceitáveis, com perspectivas de estabilização da população.

A figura 2 ilustra como funciona o Modelo de Desenvolvimento Sustentável. Um fato importante que diferencia esse modelo daquele mostrado na figura 1, é a reciclagem e o reuso dos recursos, aliados à restauração do meio ambiente. Devemos lembrar ainda que, mesmo com a estabilização da população e com o controle da poluição e a reciclagem, o aumento do consumo nos países menos desenvolvidos, para os padrões existentes em países desenvolvidos, pode gerar desequilíbrios no balanço global de energia do planeta, acarretando mudanças globais de consequências imprevisíveis.

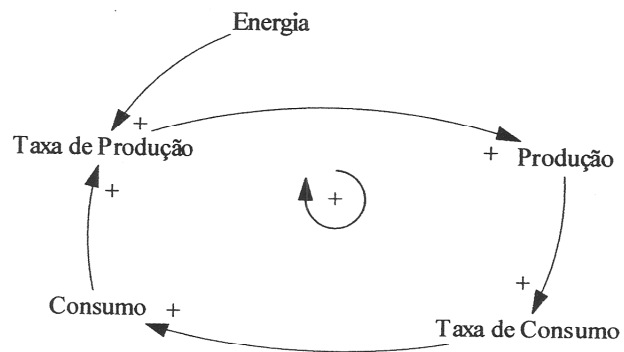


Para que a humanidade evolua para o modelo proposto, devem acontecer revisões comportamentais em direção ao novo paradigma. A sociedade atual já despertou parcialmente para o problema, mas há muito ainda para ser feito em termos de educação e cooperação entre os povos e em termos de meio ambiente. Nosso conhecimento sobre o funcionamento do planeta Terra até então é pequeno, mas é suficiente para saber que precisamos aprender a habitá-lo e usufruir dele de maneira consciente e responsável, preparando-o para que possa continuar sustentando às gerações futuras.

O texto anteriormente apresentado foi adaptado de Braga et al., 2010, p.47.

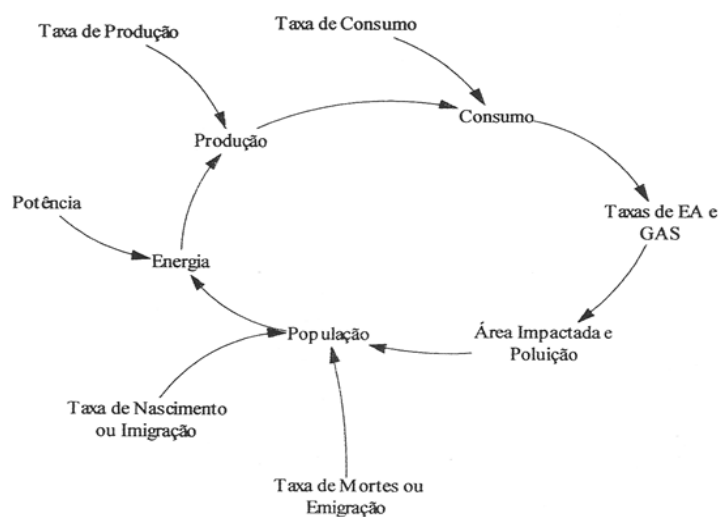
Exercícios:

1) Sendo conhecido o diagrama causal, identifique as taxas e os níveis do sistema, desenhando o diagrama de fluxo correspondente.



2) No modelo a seguir:

a) Coloque o sinal dos elos, dos pares causais, lembrando que + significa mesma direção e - significa direção oposta.



b) Procure, dentro do ambiente STELLA, desenhar um mapeamento de taxas e níveis que corresponda ao diagrama anterior. Não precisa atribuir valores às variáveis. No final, desenhe esse diagrama no espaço a seguir.

APÊNDICE 5

LABORATÓRIO DE ATIVIDADES INTEGRADORAS EM ENGENHARIA

Caro estudante, você está prestes a encerrar sua importante participação nesta pesquisa-ação, realizada junto a estudantes matriculados na disciplina Laboratório de Atividades Integradoras em Engenharia, nos cursos de Engenharia Civil da Fundação Universidade Federal do Rio Grande – FURG. Gostaria que nesta última etapa dos trabalhos você desse sua importante contribuição, realizando as seguintes atividades:

Leia com atenção o texto abaixo, pois ele nos dará subsídios para o desenvolvimento da atividade proposta a seguir.

Graças ao seu intelecto, o homem criou um mundo próprio, aparentemente independente, ao lado do mundo natural: é o mundo da economia global baseada na tecnologia. Esse ecossistema, gerado pelo homem tem apresentado como principal característica um alto nível de entropia, fruto da sua baixa autonomia local ou insustentabilidade. Como consequência, os **impactos ambientais** decorrentes da entropia gerada por estes ecossistemas têm se evidenciado, nos últimos tempos, através de um grande comprometimento da qualidade de vida do homem, sua saúde e mesmo de sua sobrevivência. Esse ecossistema antrópico, engendrado pelo atual Modelo de Desenvolvimento Econômico adotado em quase todos os países do mundo, está fundamentado no lucro a qualquer preço e atrelado a lógica da **produção** que trata dos finitos recursos naturais, sem o respeito pela capacidade natural de absorção e recomposição dos ecossistemas. Dentro dessa dinâmica, este modelo, entende a natureza como se fosse um grande supermercado gratuito com reposição infinita de estoques, observando os benefícios econômicos e desprezando os custos socioambientais.

Tal constatação é ratificada pela evolução de um histórico de problemas ambientais que foram se incrementando ao longo dos anos, particularmente pela operação de processos industriais, que acabam por gerar **poluição** e a degradação do meio ambiente, tanto em sua operação diária quanto no caso dos acidentes ambientais. Em sinergia com esses processos, evidenciamos a **geração de energias** não renováveis que, ao combinar-se com o vertiginoso **aumento da população** e também com a adoção de padrões de **consumo** populacionais insustentáveis, têm alertado o ser humano para a necessidade de repensar o modelo de crescimento econômico até então adotado.

Esse cenário propõe o surgimento do conceito de ecodesenvolvimento, o qual madureceu ao longo dos anos, dando ensejo ao surgimento do conceito Sustentabilidade do Desenvolvimento. Nesse contexto a Educação Ambiental passa ser considerada como um importante instrumento de Gestão Ambiental Sistêmica que pudesse materializar a visão desse novo conceito. Com essa proposta, a **Educação Ambiental e a Gestão Ambiental Sistêmica** devem colaborar para a criação de condições socioeconômicas, institucionais e culturais que estimulem não apenas um rápido progresso tecnológico que crie energias poupadoras dos recursos naturais, como também mudanças em direção a padrões de consumo que não impliquem no crescimento contínuo e ilimitado do uso dos recursos naturais per capita.

Para tanto, é necessário criar estratégias que estimulem a implantação de políticas públicas educacionais compatíveis que, subsidiem uma mudança cultural de modo a afetar holisticamente os hábitos e postura de uma sociedade.

Vinculadas a esse processo educacional deverão ser estimuladas ações práticas de desenvolvimento social que venham a conscientizar a sociedade de que, uma vez alterada a qualidade ambiental, o homem tem sua **qualidade de vida** e sua **saúde afetada** de maneira direta e/ou indireta, pelos impactos negativos por ele gerados, num círculo vicioso que se retroalimenta.

Com esse entendimento, devem-se propor alternativas que busquem soluções para as questões ambientais anteriormente ressaltadas, analisando criticamente o atual modelo de desenvolvimento econômico de modo à melhor orientá-lo para que possamos, com isso, alcançar uma verdadeira sustentabilidade do desenvolvimento.

(Texto adaptado do livro *Gestão ambiental: instrumentos, esferas de ação e educação ambiental*, de autoria de Mari E. B. Seiffert, 2007, p. 268)

Utilizando o texto anterior, faça a lápis o diagrama causal que associa as variáveis (destacadas em negrito) que interagem, colaborando ou não, para a materialização de visão da Sustentabilidade do Desenvolvimento. Para finalizar o exercício indique o sinal do(s) elo(s) de retroalimentação que você representar.

Número de matrícula: _____

ÚLTIMO ENCONTRO

Prezado estudante

Para finalizar, solicitaria que você encerrasse sua contribuição preenchendo o questionário, se posicionando com relação às afirmações abaixo, colocando no quadro que está ao lado de cada afirmação uma das opções, justificando logo após sua resposta no local indicado.

- A – CONCORDO FORTEMENTE
- B – CONCORDO
- C – TENHO DÚVIDAS
- D – DISCORDO
- E – DISCORDO FORTEMENTE

Agradeço pela sua fundamental participação neste projeto

QUESTÕES

1. O atendimento de minhas necessidades presentes, no que diz respeito à qualidade de vida, não está relacionado com o atendimento das necessidades das gerações futuras.

Justificativa:

2. A capacidade do meio ambiente de reciclar matéria e absorver resíduos é infinita.

Justificativa:

3. A engenharia é responsável pela maior oferta de alimentos, nível de conforto e saúde do homem. Nesse contexto, o crescimento populacional vem exigindo a incrementação da produção e do consumo, desconhecendo cientificamente os impactos negativos produzidos por este desenvolvimento.

Justificativa:

4. Quanto maiores forem as aspirações de preservação ambiental, menores serão as possibilidades de crescimento econômico.

Justificativa:

5. Os problemas de engenharia, para serem solucionados e materializados, dependem apenas dos recursos financeiros e da vontade dos que decidem (empresários, políticos, etc..).

Justificativa:

6. Todo o sistema produtivo, focado exclusivamente no lucro, afeta negativamente a qualidade de vida da sociedade.

Justificativa:

7. O consumo de energia elétrica é regido pelas leis da oferta e da procura.

Justificativa:

8. A atual relação entre produção e consumo provoca instabilidade ecossistêmica global.

Justificativa:

9. O conhecimento associado aos problemas ambientais, nos cursos de engenharia civil da FURG, é dispensável para se trabalhar as diferentes disciplinas dos currículos.

Justificativa:

10. São extremamente necessários conhecimentos das leis da termodinâmica e do eletromagnetismo nos estudos dos impactos ambientais decorrentes do funcionamento de uma termoelétrica.

Justificativa:

11. Os conteúdos programáticos dos cursos de engenharia civil da FURG, como estão sendo atualmente trabalhados, não nos aproximam dos atuais problemas enfrentados pela sociedade.

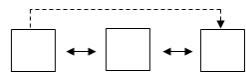
Justificativa:

12. Imagine que cada caixinha abaixo representa uma disciplina dos cursos de engenharia civil da FURG. Os diagramas que melhor descrevem as interações entre as diferentes disciplinas do currículo dos cursos estão mais próximos dos das letras **(d)** e **(e)**.

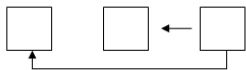
a)



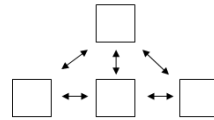
b)



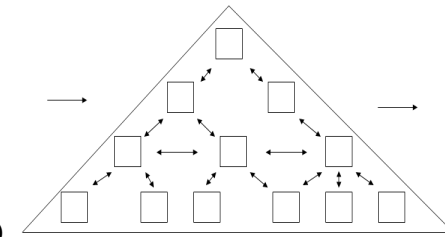
c)



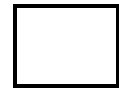
d)



e)



Justificativa:



13. A educação, voltada para a interação do homem com o meio ambiente, é um dos instrumentos que auxilia na gestão das atividades de engenharia civil.

Justificativa:



14. Os cursos de Engenharia Civil da FURG estão estruturados para formar engenheiros cujo perfil vislumbra encontrar, além das soluções técnicas e econômicas de uma obra, a manutenção dos recursos necessários à preservação da vida.

Justificativa:

15. Nos cursos de Engenharia Civil são revisados os modelos éticos, econômicos, políticos, científicos e tecnológicos que regem as atuações humanas sobre o meio ambiente.

Justificativa:

16. O aumento dos impactos ambientais, fruto do atual Modelo de Desenvolvimento Econômico, está associado ao pouco investimento em educação.

Justificativa:

17. A geração de energia elétrica, com a utilização de combustíveis fósseis, afeta somente o ambiente atmosférico.

Justificativa:

18. Os alunos dos cursos de Engenharia Civil da FURG estão familiarizados com a implementação da ISO 14001 na indústria da construção civil.

Justificativa:

19. Hoje o conhecimento é um desafio, pois só podemos conhecer as partes se conhecermos o todo em que as partes se inserem.

Justificativa:

20. O homem altera o meio ambiente que por sua vez causará algum tipo de influencia sobre o homem.

Justificativa:

21. A emergência da complexidade ambiental acontece no espaço onde estão em constantes interações somente os aspectos da natureza.

Justificativa:

22. A complexidade do meio ambiente tem sempre características caóticas.

Justificativa:

23. Nos sistemas entendidos como complexos, podem ocorrer interações não lineares entre seus elementos constituintes.

Justificativa:

24. Organismos vivos que estão em permanente busca do equilíbrio, mantêm sua organização às custas de uma maior desorganização global.

Justificativa:

APÊNDICE 6

Tabela 1

Grupo de Controle / Pré-teste																			
Questão	C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		Médias		Categoria		
	Peso	%	Peso	%	Peso	%	Peso	%	Peso	%	Peso	%	Peso	%	Peso	%	Peso	%	
10	0,50	25%	0,00	0%	0,00	0%	0,50	25%	0,00	0%	1,50	75%	1,00	50%	0,50	25,00%	Complexidade		
19	1,50	75%	1,00	50%	1,00	50%	1,00	50%	1,00	50%	0,00	0%	1,00	50%	0,93	46,43%			
20	1,50	75%	1,50	75%	1,00	50%	1,50	75%	1,50	75%	1,50	75%	2,00	100%	1,50	75,00%			
21	1,50	75%	1,50	75%	0,50	25%	1,50	75%	0,00	0%	0,00	0%	0,50	25%	0,79	39,29%			
22	0,50	25%	1,00	50%	0,00	0%	0,50	25%	0,50	25%	0,00	0%	0,00	0%	0,36	17,86%			
23	0,00	0%	1,00	50%	1,00	50%	0,00	0%	0,00	0%	1,00	50%	0,50	25%	0,50	25,00%			
24	1,00	50%	0,50	25%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	1,00	50%	1,00	50%	0,50	25,00%			
2	2,00	100%	1,50	75%	1,00	50%	0,50	25%	1,00	50%	0,00	0%	1,00	50%	1,00	50,00%	Sustentabilidade		
3	0,50	25%	1,00	50%	1,00	50%	1,00	50%	1,00	50%	0,00	0%	0,00	0%	0,64	32,14%			
4	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0,00%			
7	0,00	0%	1,00	50%	0,00	0%	0,00	0%	1,50	75%	0,00	0%	0,50	25%	0,43	21,43%			
8	2,00	100%	1,50	75%	1,00	50%	1,00	50%	0,50	25%	1,50	75%	1,00	50%	1,21	60,71%			
12	0,00	0%	1,50	75%	1,50	75%	1,50	75%	0,00	0%	1,50	75%	1,00	50%	1,00	50,00%			
16	0,00	0%	1,50	75%	0,00	0%	0,50	25%	0,50	25%	0,00	0%	0,00	0%	0,36	17,86%			
17	1,00	50%	1,50	75%	1,00	50%	0,00	0%	1,50	75%	1,50	75%	2,00	100%	1,21	60,71%	0,73	36,61%	
1	1,00	50%	0,00	0%	1,50	75%	1,00	50%	0,00	0%	0,00	0%	1,50	75%	0,71	35,71%	Comportamentais		
6	0,50	25%	0,00	0%	0,00	0%	2,00	100%	1,00	50%	1,00	50%	1,00	50%	0,79	39,29%	0,75	37,50%	
5	0,00	0%	0,00	0%	1,00	50%	0,00	0%	1,00	50%	1,50	75%	1,50	75%	0,71	35,71%	Avaliadoras		
9	1,00	50%	0,00	0%	2,00	100%	0,00	0%	0,50	25%	0,00	0%	0,00	0%	0,50	25,00%			
13	1,50	75%	1,50	75%	1,00	50%	1,00	50%	1,00	50%	1,00	50%	0,50	25%	1,07	53,57%			
14	1,00	50%	0,50	25%	1,00	50%	0,00	0%	1,50	75%	0,50	25%	0,50	25%	0,71	35,71%			
15	0,50	25%	0,00	0%	0,50	25%	0,00	0%	1,00	50%	1,00	50%	1,50	75%	0,64	32,14%			
18	1,50	75%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	1,50	75%	0,00	0%	1,50	75%	0,64	32,14%			
11	1,50	75%	1,00	50%	0,00	0%	1,50	75%	1,50	75%	1,50	75%	0,00	0%	1,00	50,00%			
Média	0,85		0,79		0,67		0,63		0,75		0,67		0,81		0,738		1,00	50,00%	
	42,71%		39,58%		33,33%		31,25%		37,50%		33,33%		40,63%		36,90%				



Tabela 2

Grupos A e B / Pré-teste																						
Questão	A1		A2		A3		A4		Médias de A		Concepções		B1		B2		B3		Médias de B		Concepções	
	Peso	%	Peso	%	Peso	%	Peso	%	Peso	%	Peso	%	Peso	%	Peso	%	Peso	%	Peso	%	Peso	%
10	0,00	0%	1,00	50%	1,50	75%	1,50	75%	1,00	50,00%	Complexidade	1,00	50%	1,50	75%	0,50	25%	1,00	50,00%	Complexidade		
19	2,00	100%	1,50	75%	1,50	75%	1,00	50%	1,50	75,00%		0,00	0%	1,50	75%	0,00	0%	0,50	25,00%			
20	1,50	75%	1,00	50%	1,50	75%	1,00	50%	1,25	62,50%		1,50	75%	1,00	50%	1,50	75%	1,33	66,67%			
21	0,00	0%	1,50	75%	1,00	50%	1,00	50%	0,88	43,75%		0,50	25%	1,00	50%	0,50	25%	0,67	33,33%			
22	0,50	25%	0,00	0%	1,00	50%	0,00	0%	0,38	18,75%		0,00	0%	0,00	0%	0,50	25%	0,17	8,33%			
23	0,00	0%	1,50	75%	0,50	25%	1,50	75%	0,88	43,75%		0,00	0%	1,00	50%	0,50	25%	0,50	25,00%			
24	0,50	25%	0,50	25%	0,00	0%	0,00	0%	0,25	12,50%		0,88	43,75%	1,00	50%	0,50	25%	0,50	25%		0,67	33,33%
2	0,50	25%	2,00	100%	2,00	100%	2,00	100%	1,63	81,25%	Sustentabilidade	1,00	50%	1,00	50%	1,00	50%	1,00	50,00%	Sustentabilidade		
3	0,00	0%	1,00	50%	1,00	50%	0,00	0%	0,50	25,00%		0,50	25%	1,00	50%	0,50	25%	0,67	33,33%			
4	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0,00%		0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0,00%			
7	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0,00%		0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0,00%			
8	1,00	50%	0,50	25%	1,50	75%	1,00	50%	1,00	50,00%		1,00	50%	1,50	75%	0,00	0%	0,83	41,67%			
12	0,00	0%	0,00	0%	1,00	50%	1,50	75%	0,63	31,25%		0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0,00%			
16	1,50	75%	1,50	75%	1,00	50%	1,50	75%	1,38	68,75%		1,00	50%	2,00	100%	0,00	0%	1,00	50,00%			
17	0,00	0%	1,00	50%	2,00	100%	1,50	75%	1,13	56,25%	0,78	39,06%	1,00	50%	0,00	0%	2,00	100%	1,00	50,00%	0,56	28,13%
1	1,00	50%	2,00	100%	2,00	100%	0,00	0%	1,25	62,50%	Comportamentais	1,00	50%	1,00	50%	2,00	100%	1,33	66,67%	Comportamentais		
6	0,00	0%	1,50	75%	1,00	50%	0,00	0%	0,63	31,25%		0,94	46,88%	1,00	50%	1,50	75%	0,50	25%		1,00	50,00%
5	2,00	100%	0,00	0%	0,50	25%	0,00	0%	0,63	31,25%	Avaliadoras	0,00	0%	1,00	50%	1,50	75%	0,83	41,67%	Avaliadoras		
9	2,00	100%	0,50	25%	0,00	0%	1,50	75%	1,00	50,00%		1,50	75%	2,00	100%	1,50	75%	1,67	83,33%			
13	1,50	75%	1,50	75%	1,50	75%	1,00	50%	1,38	68,75%		1,50	75%	0,00	0%	1,50	75%	1,00	50,00%			
14	0,00	0%	1,00	50%	0,50	25%	1,00	50%	0,63	31,25%		0,00	0%	0,00	0%	0,50	25%	0,17	8,33%			
15	0,00	0%	0,50	25%	0,00	0%	0,50	25%	0,25	12,50%		1,50	75%	0,00	0%	1,00	50%	0,83	41,67%			
18	1,00	50%	1,00	50%	0,00	0%	1,00	50%	0,75	37,50%		0,77	38,54%	0,00	0%	0,50	25%	1,00	50%		0,50	25,00%
11	0,00	0%	0,50	25%	0,00	0%	1,00	50%	0,38	18,75%	Cidadania	1,00	50%	0,00	0%	0,50	25%	0,50	25,00%	Cidadania		
Média	0,63	31,25%	0,90	44,79%	0,88	43,75%	0,81	40,63%	0,80	40,10%		0,38	18,75%	0,67	33,33%	0,75	37,50%	0,73	36,46%		0,72	35,76%

Tabela 3

Grupos A e B / Pós-teste																									
Questão	A1		A2		A3		A4		Média de A		Concepções		B1		B2		B3		Média de B		Concepções				
	Peso	%	Peso	%	Peso	%	Peso	%	Peso	%	Peso	%	Peso	%	Peso	%	Peso	%	Peso	%	Peso	%			
10	1,50	75%	1,50	75%	1,50	75%	2,00	100%	1,63	81,25%	Complexidade	1,50	75%	1,50	75%	1,50	75%	1,50	75%	1,50	75,00%	Complexidade			
19	1,50	75%	2,00	100%	1,50	75%	1,50	75%	1,63	81,25%		1,50	75%	1,00	50%	1,50	75%	1,33	66,67%						
20	2,00	100%	2,00	100%	2,00	100%	2,00	100%	2,00	100,00%		2,00	100%	1,50	75%	2,00	100%	1,83	91,67%						
21	1,50	75%	2,00	100%	1,50	75%	1,50	75%	1,63	81,25%		2,00	100%	1,50	75%	1,50	75%	1,67	83,33%						
22	1,50	75%	2,00	100%	1,50	75%	1,50	75%	1,63	81,25%		1,00	50%	1,50	75%	1,50	75%	1,33	66,67%						
23	2,00	100%	1,00	50%	2,00	100%	1,50	75%	1,63	81,25%		1,50	75%	1,50	75%	1,50	75%	1,50	75,00%						
24	1,50	75%	2,00	100%	1,50	75%	2,00	100%	1,75	87,50%		1,70	84,82%	1,50	75%	1,50	75%	2,00	100%	1,67	83,33%		1,55	77,38%	
2	1,50	75%	2,00	100%	2,00	100%	1,00	50%	1,63	81,25%	Sustentabilidade	1,50	75%	2,00	100%	2,00	100%	1,83	91,67%	Sustentabilidade					
3	1,50	75%	1,50	75%	1,50	75%	2,00	100%	1,63	81,25%		0,00	0%	2,00	100%	0,00	0%	0,67	33,33%						
4	2,00	100%	2,00	100%	1,50	75%	1,50	75%	1,75	87,50%		1,50	75%	2,00	100%	2,00	100%	1,83	91,67%						
7	2,00	100%	2,00	100%	2,00	100%	2,00	100%	2,00	100,00%		1,50	75%	1,50	75%	2,00	100%	1,67	83,33%						
8	1,00	50%	2,00	100%	2,00	100%	2,00	100%	1,75	87,50%		1,50	75%	1,50	75%	2,00	100%	1,67	83,33%						
12	1,50	75%	1,50	75%	0,50	25%	1,50	75%	1,25	62,50%		1,50	75%	1,50	75%	1,50	75%	1,50	75,00%						
16	2,00	100%	2,00	100%	2,00	100%	2,00	100%	2,00	100,00%		1,50	75%	1,50	75%	1,50	75%	1,50	75,00%						
17	2,00	100%	2,00	100%	2,00	100%	2,00	100%	2,00	100,00%	1,75	87,50%	2,00	100%	1,50	75%	2,00	100%	1,83	91,67%	1,56	78,13%			
1	2,00	100%	2,00	100%	2,00	100%	2,00	100%	2,00	100,00%	Comportamentais		2,00	100%	2,00	100%	2,00	100%	2,00	100,00%	Comportamentais				
6	2,00	100%	1,50	75%	2,00	100%	0,50	25%	1,50	75,00%	1,75	87,50%	1,50	75%	1,50	75%	2,00	100%	1,67	83,33%	1,83	91,67%			
5	1,00	50%	2,00	100%	1,50	75%	1,50	75%	1,50	75,00%	Avaliadoras	1,50	75%	1,00	50%	1,50	75%	1,33	66,67%	Avaliadoras					
9	1,50	75%	2,00	100%	1,00	50%	2,00	100%	1,63	81,25%		2,00	100%	1,50	75%	1,50	75%	1,67	83,33%						
13	2,00	100%	1,00	50%	1,50	75%	2,00	100%	1,63	81,25%		1,50	75%	1,50	75%	1,50	75%	1,50	75,00%						
14	0,50	25%	1,50	75%	1,00	50%	1,50	75%	1,13	56,25%		0,00	0%	1,50	75%	1,50	75%	1,00	50,00%						
15	1,00	50%	1,00	50%	1,50	75%	1,50	75%	1,25	62,50%		1,50	75%	1,50	75%	1,50	75%	1,50	75,00%						
18	1,50	75%	1,50	75%	2,00	100%	2,00	100%	1,75	87,50%	1,48	73,96%	2,00	100%	1,50	75%	2,00	100%	1,83	91,67%	1,47	73,61%			
11	1,50	75%	1,00	50%	1,00	50%	1,50	75%	1,25	62,50%	Cidadania		1,50	75%	1,50	75%	1,50	75%	1,50	75,00%	Cidadania				
Média	1,58		1,71		1,60		1,69		1,65				1,48		1,54		1,65		1,56						
	79,17%		85,42%		80,21%		84,38%		82,29%		1,25		62,50%		73,96%		77,08%		82,29%		77,78%		1,50		75,00%

ANEXOS

 <p>UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE FURG</p>	<p>QSL 131192 CURSO DE ENGENHARIA CIVIL - Aprovado em 24/10/1991 Última atualização: 22/02/2010 Reconhecido pelo Decreto nº 76024 de 25/07/75 - D.O.U. de 28/07/75 Carga horária total: 4110 h/a Tempo: mínimo = 5anos máximo = 9 anos Nome:..... Nº de Matrícula:..... Ano de Ingresso:.....</p>	 <p>ENGENHARIA CIVIL</p>																																																																																																																																																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 10%;">02100</td><td style="width: 70%;">02</td><td style="width: 20%;">02</td></tr> <tr><td colspan="3">FUNDAMENTOS DE QUÍMICA (EOA) I</td></tr> <tr><td>01088</td><td>06</td><td>03</td></tr> <tr><td colspan="3">ÁLGEBRA LINEAR E GEOMETRIA ANALÍTICA (IMEF) I</td></tr> <tr><td>01104</td><td>06</td><td>03</td></tr> <tr><td colspan="3">CÁLCULO DIFERENCIAL E INTEGRAL I (IMEF) I</td></tr> <tr><td>01105</td><td>03</td><td>03</td></tr> <tr><td colspan="3">GEOMETRIA MONGEANA (EE)</td></tr> <tr><td>01106</td><td>02</td><td>03</td></tr> <tr><td colspan="3">DESENHO TÉCNICO (EE) I</td></tr> <tr><td>03072</td><td>06</td><td>04</td></tr> <tr><td colspan="3">FÍSICA GERAL I (IMEF) I</td></tr> <tr><td>04080</td><td>03</td><td>04</td></tr> <tr><td colspan="3">INTRODUÇÃO À PROFISSÃO (EE) II</td></tr> </table>	02100	02	02	FUNDAMENTOS DE QUÍMICA (EOA) I			01088	06	03	ÁLGEBRA LINEAR E GEOMETRIA ANALÍTICA (IMEF) I			01104	06	03	CÁLCULO DIFERENCIAL E INTEGRAL I (IMEF) I			01105	03	03	GEOMETRIA MONGEANA (EE)			01106	02	03	DESENHO TÉCNICO (EE) I			03072	06	04	FÍSICA GERAL I (IMEF) I			04080	03	04	INTRODUÇÃO À PROFISSÃO (EE) II			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 10%;">04081</td><td style="width: 70%;">04</td><td style="width: 20%;">03</td></tr> <tr><td colspan="3">MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL (EE) I</td></tr> <tr><td>01109</td><td>03</td><td>03</td></tr> <tr><td colspan="3">COMPUTAÇÃO (C3) I</td></tr> <tr><td>01112</td><td>03</td><td>04</td></tr> <tr><td colspan="3">PROB. E ESTATÍSTICA APLIC. À ENGENHARIA (IMEF) I</td></tr> <tr><td>01110</td><td>05</td><td>02</td></tr> <tr><td colspan="3">CÁLCULO DIFERENCIAL E INTEGRAL II (IMEF) I</td></tr> <tr><td>01113</td><td>04</td><td>03</td></tr> <tr><td colspan="3">TOPOGRAFIA (EE) I</td></tr> <tr><td>01111</td><td>03</td><td>05</td></tr> <tr><td colspan="3">DESENHO ARQUITETÔNICO E DE INSTALAÇÕES (EE) II</td></tr> <tr><td>03074</td><td>04</td><td>03</td></tr> <tr><td colspan="3">FÍSICA GERAL II (IMEF) I</td></tr> <tr><td>03075</td><td>04</td><td>03</td></tr> <tr><td colspan="3">MECÂNICA GERAL (EE) I</td></tr> </table>	04081	04	03	MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL (EE) I			01109	03	03	COMPUTAÇÃO (C3) I			01112	03	04	PROB. E ESTATÍSTICA APLIC. À ENGENHARIA (IMEF) I			01110	05	02	CÁLCULO DIFERENCIAL E INTEGRAL II (IMEF) I			01113	04	03	TOPOGRAFIA (EE) I			01111	03	05	DESENHO ARQUITETÔNICO E DE INSTALAÇÕES (EE) II			03074	04	03	FÍSICA GERAL II (IMEF) I			03075	04	03	MECÂNICA GERAL (EE) I			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 10%;">04082</td><td style="width: 70%;">03</td><td style="width: 20%;">04</td></tr> <tr><td colspan="3">CONSTRUÇÃO CIVIL (EE) I</td></tr> <tr><td>01114</td><td>03</td><td>04</td></tr> <tr><td colspan="3">MÉTODOS NUMÉRICOS PARA ENGENHARIA (IMEF) I</td></tr> <tr><td>04083</td><td>04</td><td>03</td></tr> <tr><td colspan="3">RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS (EE) I</td></tr> <tr><td>04085</td><td>02</td><td>03</td></tr> <tr><td colspan="3">PROJETO DE ESTRADAS (EE) I</td></tr> <tr><td>04256</td><td>03</td><td>04</td></tr> <tr><td colspan="3">TEORIA DAS ESTRUTURAS I (EE)</td></tr> <tr><td>04084</td><td>05</td><td>04</td></tr> <tr><td colspan="3">MECÂNICA DOS SOLOS (EE) I</td></tr> <tr><td>03076</td><td>03</td><td>03</td></tr> <tr><td colspan="3">FUNDAMENTOS DE ELETRO-ELETRÔNICA (EE) I</td></tr> <tr><td>03077</td><td>03</td><td>04</td></tr> <tr><td colspan="3">FENÔMENOS DE TRANSPORTE (EE) I</td></tr> </table>	04082	03	04	CONSTRUÇÃO CIVIL (EE) I			01114	03	04	MÉTODOS NUMÉRICOS PARA ENGENHARIA (IMEF) I			04083	04	03	RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS (EE) I			04085	02	03	PROJETO DE ESTRADAS (EE) I			04256	03	04	TEORIA DAS ESTRUTURAS I (EE)			04084	05	04	MECÂNICA DOS SOLOS (EE) I			03076	03	03	FUNDAMENTOS DE ELETRO-ELETRÔNICA (EE) I			03077	03	04	FENÔMENOS DE TRANSPORTE (EE) I			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 10%;">04089</td><td style="width: 70%;">04</td><td style="width: 20%;">03</td></tr> <tr><td colspan="3">ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO (EE) I</td></tr> <tr><td>04092</td><td>04</td><td>03</td></tr> <tr><td colspan="3">ESTRUTURAS METÁLICAS E DE MADEIRA (EE) I</td></tr> <tr><td>04093</td><td>03</td><td>03</td></tr> <tr><td colspan="3">ARQUITETURA E URBANISMO (EE) II</td></tr> <tr><td>04091</td><td>03</td><td>03</td></tr> <tr><td colspan="3">PROJETOS DE RODAGEM (EE) I</td></tr> <tr><td>04058</td><td>03</td><td>04</td></tr> <tr><td colspan="3">ESTRADAS DE FERRO (EE) II</td></tr> <tr><td>04088</td><td>04</td><td>03</td></tr> <tr><td colspan="3">TEORIA DAS ESTRUTURAS II (EE) I</td></tr> <tr><td>04090</td><td>04</td><td>03</td></tr> <tr><td colspan="3">PROJETO DE FUNDAÇÕES (EE)</td></tr> <tr><td>03078</td><td>03</td><td>04</td></tr> <tr><td colspan="3">ELETROTÉCNICA (EE) I</td></tr> <tr><td>03079</td><td>04</td><td>02</td></tr> <tr><td colspan="3">HIDRAULICA E HIDROLOGIA (EE) I</td></tr> </table>	04089	04	03	ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO (EE) I			04092	04	03	ESTRUTURAS METÁLICAS E DE MADEIRA (EE) I			04093	03	03	ARQUITETURA E URBANISMO (EE) II			04091	03	03	PROJETOS DE RODAGEM (EE) I			04058	03	04	ESTRADAS DE FERRO (EE) II			04088	04	03	TEORIA DAS ESTRUTURAS II (EE) I			04090	04	03	PROJETO DE FUNDAÇÕES (EE)			03078	03	04	ELETROTÉCNICA (EE) I			03079	04	02	HIDRAULICA E HIDROLOGIA (EE) I			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 10%;">04094</td><td style="width: 70%;">02</td><td style="width: 20%;">03</td></tr> <tr><td colspan="3">PROJETO GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL (EE) II</td></tr> <tr><td>04096</td><td>03</td><td>03</td></tr> <tr><td colspan="3">PLANEJAMENTO E CONTROLE DE OBRAS (EE) I</td></tr> <tr><td>04098</td><td>03</td><td>03</td></tr> <tr><td colspan="3">ENGENHARIA DE SEGURANÇA (EE) I</td></tr> <tr><td>07081</td><td>04</td><td>03</td></tr> <tr><td colspan="3">ADMINISTRAÇÃO (ICEAC) I</td></tr> <tr><td>08151</td><td>03</td><td>03</td></tr> <tr><td colspan="3">DIREITO E LEGISL. I (FADIR) I</td></tr> <tr><td>04095</td><td>03</td><td>04</td></tr> <tr><td colspan="3">ESTRUTURAS (EE) I</td></tr> <tr><td>21015</td><td>04</td><td>04</td></tr> <tr><td colspan="3">ESTÁGIO SUPLENTE EM ENG. CIVIL (EE) II</td></tr> <tr><td>03080</td><td>04</td><td>04</td></tr> <tr><td colspan="3">SANEAMENTO BÁSICO (EE) I</td></tr> </table>	04094	02	03	PROJETO GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL (EE) II			04096	03	03	PLANEJAMENTO E CONTROLE DE OBRAS (EE) I			04098	03	03	ENGENHARIA DE SEGURANÇA (EE) I			07081	04	03	ADMINISTRAÇÃO (ICEAC) I			08151	03	03	DIREITO E LEGISL. I (FADIR) I			04095	03	04	ESTRUTURAS (EE) I			21015	04	04	ESTÁGIO SUPLENTE EM ENG. CIVIL (EE) II			03080	04	04	SANEAMENTO BÁSICO (EE) I		
02100	02	02																																																																																																																																																																																																																																																		
FUNDAMENTOS DE QUÍMICA (EOA) I																																																																																																																																																																																																																																																				
01088	06	03																																																																																																																																																																																																																																																		
ÁLGEBRA LINEAR E GEOMETRIA ANALÍTICA (IMEF) I																																																																																																																																																																																																																																																				
01104	06	03																																																																																																																																																																																																																																																		
CÁLCULO DIFERENCIAL E INTEGRAL I (IMEF) I																																																																																																																																																																																																																																																				
01105	03	03																																																																																																																																																																																																																																																		
GEOMETRIA MONGEANA (EE)																																																																																																																																																																																																																																																				
01106	02	03																																																																																																																																																																																																																																																		
DESENHO TÉCNICO (EE) I																																																																																																																																																																																																																																																				
03072	06	04																																																																																																																																																																																																																																																		
FÍSICA GERAL I (IMEF) I																																																																																																																																																																																																																																																				
04080	03	04																																																																																																																																																																																																																																																		
INTRODUÇÃO À PROFISSÃO (EE) II																																																																																																																																																																																																																																																				
04081	04	03																																																																																																																																																																																																																																																		
MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL (EE) I																																																																																																																																																																																																																																																				
01109	03	03																																																																																																																																																																																																																																																		
COMPUTAÇÃO (C3) I																																																																																																																																																																																																																																																				
01112	03	04																																																																																																																																																																																																																																																		
PROB. E ESTATÍSTICA APLIC. À ENGENHARIA (IMEF) I																																																																																																																																																																																																																																																				
01110	05	02																																																																																																																																																																																																																																																		
CÁLCULO DIFERENCIAL E INTEGRAL II (IMEF) I																																																																																																																																																																																																																																																				
01113	04	03																																																																																																																																																																																																																																																		
TOPOGRAFIA (EE) I																																																																																																																																																																																																																																																				
01111	03	05																																																																																																																																																																																																																																																		
DESENHO ARQUITETÔNICO E DE INSTALAÇÕES (EE) II																																																																																																																																																																																																																																																				
03074	04	03																																																																																																																																																																																																																																																		
FÍSICA GERAL II (IMEF) I																																																																																																																																																																																																																																																				
03075	04	03																																																																																																																																																																																																																																																		
MECÂNICA GERAL (EE) I																																																																																																																																																																																																																																																				
04082	03	04																																																																																																																																																																																																																																																		
CONSTRUÇÃO CIVIL (EE) I																																																																																																																																																																																																																																																				
01114	03	04																																																																																																																																																																																																																																																		
MÉTODOS NUMÉRICOS PARA ENGENHARIA (IMEF) I																																																																																																																																																																																																																																																				
04083	04	03																																																																																																																																																																																																																																																		
RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS (EE) I																																																																																																																																																																																																																																																				
04085	02	03																																																																																																																																																																																																																																																		
PROJETO DE ESTRADAS (EE) I																																																																																																																																																																																																																																																				
04256	03	04																																																																																																																																																																																																																																																		
TEORIA DAS ESTRUTURAS I (EE)																																																																																																																																																																																																																																																				
04084	05	04																																																																																																																																																																																																																																																		
MECÂNICA DOS SOLOS (EE) I																																																																																																																																																																																																																																																				
03076	03	03																																																																																																																																																																																																																																																		
FUNDAMENTOS DE ELETRO-ELETRÔNICA (EE) I																																																																																																																																																																																																																																																				
03077	03	04																																																																																																																																																																																																																																																		
FENÔMENOS DE TRANSPORTE (EE) I																																																																																																																																																																																																																																																				
04089	04	03																																																																																																																																																																																																																																																		
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO (EE) I																																																																																																																																																																																																																																																				
04092	04	03																																																																																																																																																																																																																																																		
ESTRUTURAS METÁLICAS E DE MADEIRA (EE) I																																																																																																																																																																																																																																																				
04093	03	03																																																																																																																																																																																																																																																		
ARQUITETURA E URBANISMO (EE) II																																																																																																																																																																																																																																																				
04091	03	03																																																																																																																																																																																																																																																		
PROJETOS DE RODAGEM (EE) I																																																																																																																																																																																																																																																				
04058	03	04																																																																																																																																																																																																																																																		
ESTRADAS DE FERRO (EE) II																																																																																																																																																																																																																																																				
04088	04	03																																																																																																																																																																																																																																																		
TEORIA DAS ESTRUTURAS II (EE) I																																																																																																																																																																																																																																																				
04090	04	03																																																																																																																																																																																																																																																		
PROJETO DE FUNDAÇÕES (EE)																																																																																																																																																																																																																																																				
03078	03	04																																																																																																																																																																																																																																																		
ELETROTÉCNICA (EE) I																																																																																																																																																																																																																																																				
03079	04	02																																																																																																																																																																																																																																																		
HIDRAULICA E HIDROLOGIA (EE) I																																																																																																																																																																																																																																																				
04094	02	03																																																																																																																																																																																																																																																		
PROJETO GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL (EE) II																																																																																																																																																																																																																																																				
04096	03	03																																																																																																																																																																																																																																																		
PLANEJAMENTO E CONTROLE DE OBRAS (EE) I																																																																																																																																																																																																																																																				
04098	03	03																																																																																																																																																																																																																																																		
ENGENHARIA DE SEGURANÇA (EE) I																																																																																																																																																																																																																																																				
07081	04	03																																																																																																																																																																																																																																																		
ADMINISTRAÇÃO (ICEAC) I																																																																																																																																																																																																																																																				
08151	03	03																																																																																																																																																																																																																																																		
DIREITO E LEGISL. I (FADIR) I																																																																																																																																																																																																																																																				
04095	03	04																																																																																																																																																																																																																																																		
ESTRUTURAS (EE) I																																																																																																																																																																																																																																																				
21015	04	04																																																																																																																																																																																																																																																		
ESTÁGIO SUPLENTE EM ENG. CIVIL (EE) II																																																																																																																																																																																																																																																				
03080	04	04																																																																																																																																																																																																																																																		
SANEAMENTO BÁSICO (EE) I																																																																																																																																																																																																																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 10%;">07067</td><td style="width: 70%;">04</td><td style="width: 20%;">04</td></tr> <tr><td colspan="3">ECONOMIA (ICEAC) I</td></tr> <tr><td>04086</td><td>04</td><td>04</td></tr> <tr><td colspan="3">SISTEMAS DE TRANSPORTES (EE) I</td></tr> </table>	07067	04	04	ECONOMIA (ICEAC) I			04086	04	04	SISTEMAS DE TRANSPORTES (EE) I			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 10%;">11024</td><td style="width: 70%;">02</td><td style="width: 20%;">02</td></tr> <tr><td colspan="3">CIÊNCIAS DO AMBIENTE (IO) I</td></tr> </table>	11024	02	02	CIÊNCIAS DO AMBIENTE (IO) I																																																																																																																																																																																																																																			
07067	04	04																																																																																																																																																																																																																																																		
ECONOMIA (ICEAC) I																																																																																																																																																																																																																																																				
04086	04	04																																																																																																																																																																																																																																																		
SISTEMAS DE TRANSPORTES (EE) I																																																																																																																																																																																																																																																				
11024	02	02																																																																																																																																																																																																																																																		
CIÊNCIAS DO AMBIENTE (IO) I																																																																																																																																																																																																																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 10%;">CÓDIGO</td><td style="width: 70%;">CH8</td><td style="width: 20%;"></td></tr> <tr><td colspan="3">NOME DA DISCIPLINA (UNID. ACAD.)</td></tr> <tr><td colspan="3">SIST. AVALIAÇÃO</td></tr> </table>	CÓDIGO	CH8		NOME DA DISCIPLINA (UNID. ACAD.)			SIST. AVALIAÇÃO																																																																																																																																																																																																																																													
CÓDIGO	CH8																																																																																																																																																																																																																																																			
NOME DA DISCIPLINA (UNID. ACAD.)																																																																																																																																																																																																																																																				
SIST. AVALIAÇÃO																																																																																																																																																																																																																																																				

QUADRO DE DISCIPLINAS OPTATIVAS - CURSO DE ENGENHARIA CIVIL (QSL131192)

08347	02	PRODUÇÃO TEXTUAL (LA) II	03171	03	AUDITORIA AMBIENTAL (EE) II	03048	04	IRRIGAÇÃO E DRENAGEM (EE) II	04100	02	PROJETO DE EDIFÍCIO DE CONCRETO ARMADO (EE) I
04234	03	TÓPICOS ESPECIAIS EM GEOTECNOLOGIAS APLIC. A ENG. (EE) I	04260	02	PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES (EE) I	03170	03	GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS (EE) II	03053	03	INSTALAÇÕES HIDROSSANITÁRIAS PREDIAIS (EE) II
08264	02	METODOLOGIA CIENTÍFICA I (EE) I	04260	02	CONFORTO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES (EE) II	04096	03	OBRAS DE TERRA (EE) I	03081	03	INSTALAÇÕES ELÉTRICAS PREDIAIS (EE) II
08265	02	RELAÇÕES HUMANAS NO TRABALHO (ICH) I	04099	03	ENGENHARIA DE TRÁFEGO (EE) I	04102	03	ANÁLISE DE ESTRUTURAS RETICULADAS (EE) I	03172	04	HIDROLOGIA APLICADA (EE) II
08265	02	RELAÇÕES HUMANAS NO TRABALHO (ICH) I	04259	03	CONCRETO PROTENDIDO (EE) II	04102	03	ANÁLISE DE ESTRUTURAS RETICULADAS (EE) I	03174	02	HIDROMETRIA (EE) II
08265	02	RELAÇÕES HUMANAS NO TRABALHO (ICH) I	04261	02	ELEMENTOS DE ACÚSTICA ARQUITETÔNICA (EE) II	03177	03	AValiação DE IMPACTOS AMBIENTAIS (EE) II	03179	04	INTRODUÇÃO À SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA (EE) II
08265	02	RELAÇÕES HUMANAS NO TRABALHO (ICH) I	04018	04	TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS (EE) I	04105	02	AValiação DE IMÓVEIS (EE) II	04258	03	CONSTRUÇÃO EM ALVENARIA (EE) I

Observação: As disciplinas optativas são inteiramente opcionais, ou seja, não são exigidas número ou carga horária mínimos de disciplinas optativas para integralizar o curso.

QUADRO DE DISCIPLINAS OPTATIVAS/ELETIVAS - CURSO DE ENGENHARIA CIVIL (QSL131113)

SEGUNDO ANO		TERCEIRO ANO		QUARTO ANO		QUINTO ANO	
06387	03	06497	04	04184	02	03170	03
INGLÊS INSTRUMENTAL - LEITURA (ILA) I - OPT		LIBRAS I (ILA) I - OPT		PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES (EE) I (PR:04082) - ELT		GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS (EE) II (PR:11024) - ELT	
04302	03	04234	03	04260	02	03171	03
DESENHO AUX. COMPUT. (PR:04264) - OPT		TÓPICOS ESPECIAIS EM GEOTECNOLOGIAS APLIC. A ENG (EE) I (PR:01113) - ELT		CONFORTO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES (EE) II (PR:03077) - ELT		AUDITORIA AMBIENTAL (EE) II (PR:11024) - ELT	
		06498	04	03177	03	04099	03
		LIBRAS II (ILA) I - OPT		AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS (EE) II (PR:11024) - ELT		ENGENHARIA DE TRAFEGO (EE) I (PR:04085) - ELT	
						04311	03
						MECÂNICA ESTRUTURAL COMPUTACIONAL (EE) I (PR:04083/04167) - ELT	
						04259	03
						CONCRETO PROTENDIDO (EE) II (PR:04083/04167) - ELT	
						04261	02
						ELEMENTOS DE ACÚSTICA ARQUITETÓNICA (EE) II (PR:03077) - ELT	
						04316	03
						ALVENARIA ESTRUTURAL (EE) II (PR: 04307) - ELT	
						04250	04
						ESTRUTURAS PORTUÁRIAS (EE) I (PR: 04304/04307) - ELT	
						04105	02
						AVALIAÇÃO DE IMOVEIS (EE) II (PR:04306) - ELT	
						04100	02
						PROJETO DE EDIFÍCIO DE CONCRETO ARMADO (EE) I (PR:04304/04307) - ELT	

Observação: As disciplinas optativas (OPT) são inteiramente opcionais, já dentre as disciplinas eletivas (ELT) o aluno tem que cumprir 180 horas como carga horária mínima para integralizar o curso.

ANEXO 2



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG

Unid. Acadêmica: IO - Instituto de Oceanografia

Disciplina: CIENCIAS DO AMBIENTE

Código / Turma : 11024 / A

PLANO DE ENSINO

1.Sem.2013-Grad

Metodologia e Procedimentos

Aulas expositivas sobre o conteúdo teórico e aulas práticas de laboratório e em campo. Como suporte às aulas será recomendada a leitura de apostilas e livros. Para o devido acompanhamento da matéria abordada em sala de aula, os slides das aulas e material de apoio no formato digital serão disponibilizados aos alunos por e-mail.

Características

Duração	Semestral	Carga Horária Total (em horas) :	30 horas
Sist. Avaliação :	2 Notas e Exame	Total de Aulas por Semana	2 horas aula
Oferecimento :	1.Sem.2013-Grad	Créditos	2

Ementa

Noções gerais sobre: Ecologia (Indivíduo, População, Comunidade, Ecossistema). Ciclos Biogeoquímicos. Impacto Ambiental. Energia. Ação do homem sobre a biosfera (impactos, harmonização e estratégias alternativas).

Objetivos

Proporcionar aos tecnólogos de gestão ambiental conhecimentos básicos de manuseio e calibração de equipamentos utilizados na avaliação ambiental, por meio de aulas teóricas, aplicativos computacionais e atividades práticas de laboratório e campo.

Conteúdos

Aula 01 Introdução ao GNSS.
Aula 02 Atividade prática de navegação com receptor GPS.
Aula 03 Condutivímetro e PHmetro.
Aula 04 Analisador DBO e Sonda multiparamétrica.
Aula 05 Espectrofotômetro. Luxímetro e Anemômetro.
Aula 06 Decibelímetro.
Aula 07 Armadilhas digitais e Trena Digital.
Aula 08 Armadilhas digitais.

Avaliação

A nota final será a média aritmética das notas obtidas em cada atividade prática realizada nesta disciplina.

Bibliografia Básica

- Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável / Benedito Braga ... [et al]. - São Paulo : Pearson , 2005. ISBN ISBN 9788576050414.

Bibliografia Complementar

- Santos, Rozely Ferreira dos.. Planejamento ambiental: teoria e prática / Rozely Ferreira dos Santos. - São Paulo : Oficina de textos, 2004. - ISBN 978-85-86238-62-8.


UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG

 Unid. Acadêmica: **EE - Escola de Engenharia**

 Disciplina: **AUDITORIA AMBIENTAL**

 Código / Turma : **03171 / U**
PLANO DE ENSINO
2.Sem.2011-Grad
Metodologia e Procedimentos

As aulas são expositivas empregando o Power-point e quadro negro. Discussão das normas, apresentação de seminário e resolução de questionários.

Características

Duração	Semestral	Carga Horária Total (em horas) :	45 horas
Sist. Avaliação :	Nota Final	Total de Aulas por Semana	3 horas aula
Oferecimento :	2.Sem.2011-Grad	Créditos	3

Ementa

A visão sistêmica e a gestão da qualidade ambiental. Sistema de Gestão Integrada (ambiente, qualidade e saúde ocupacional). As ISOs e os profissionais nas organizações que aprendem. As etapas das Auditorias. A auditoria, passo a passo. Caminhos para a certificação.

Objetivos

Apresentar os requisitos necessários para auditoria interna de sistema de gestão ambiental baseada na norma ABNT NBR ISO 19011, bem como as ferramentas necessárias para implantação do Sistema de Gestão Ambiental e Integração de Sistemas de Gestão.

Conteúdos

O que é o SGA - Norma ISO 14001; como obter o certificado ISO 14001; Quem concede a certificação ISO 14001; certificação; alguns dos principais selos de certificação.
 Dificuldades de implantação do sistema de gestão ambiental nas empresas.
 ISO 14001 - Plan-Do-Check-Act; termos e definições; requisitos dos sistema de gestão ambiental.
 Origem do termo auditor; evolução histórica da auditoria; evolução da auditoria independente no Brasil; evolução da auditoria interna; tipos de auditoria; diferenças básicas entre auditoria externa e interna.
 Conceitos básicos e introdução a ISO 19011; critérios da auditoria; escopo da auditoria; frequência da auditoria; métodos da auditoria. Ciclo PDCA aplicado a auditoria. Diretrizes para as auditorias.
 Gerenciamento de um programa de auditorias; atividades da auditoria; competência e avaliação de auditores.
 Fatores humanos; comportamento.
 Sistemas Integrados de Gestão: Ambiental; qualidade; segurança e saúde ocupacional

Avaliação

A frequência as aulas será obrigatória.
 Independente dos demais resultados alcançados é considerado reprovado na disciplina, o aluno que não obtenha frequência de no mínimo setenta e cinco por cento (75%) das aulas e atividades ministradas.
 O aproveitamento do acadêmico é avaliado através de acompanhamento contínuo e dos resultados obtidos nas avaliações realizadas durante o período letivo.
INSTRUMENTOS DE AVALIAÇÃO
 Seminários; questionários; participação do acadêmico em sala de aula.

Bibliografia Básica

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR ISO 14001 - Sistemas da gestão ambiental - Requisitos com orientações para uso : São Paulo: ABNT,2004. ISBN .
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 19011 - Diretrizes para auditorias de sistema de gestão da qualidade e/ou ambiental : São Paulo: ABNT,2002. ISBN .

Bibliografia Complementar
