



Universidade Federal do Rio Grande – FURG
Instituto de Ciências Humanas e da Informação – ICHI
Programa de Pós-Graduação em Geografia - PPGeo
Linha de Pesquisa: Análise de Sistemas Naturais e Ambientais



William Carvalho Maia

**DESENVOLVIMENTO DE GEOTECNOLOGIAS PARA COLETA DE
DADOS CLIMÁTICOS**

Dissertação de Mestrado

Rio Grande, RS
Setembro, 2020.

William Carvalho Maia

**DESENVOLVIMENTO DE GEOTECNOLOGIAS PARA COLETA DE
DADOS CLIMÁTICOS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título Mestre em Geografia, na Universidade Federal do Rio Grande – FURG.

Orientador: Prof. Dr. Éder Leandro Bayer Maier

Rio Grande, RS
Setembro, 2020.

Ficha Catalográfica

M217d Maia, William Carvalho.
Desenvolvimento de geotecnologias para a coleta de dados climáticos / William Carvalho Maia. – 2020.
79 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Rio Grande/RS, 2020.
Orientador: Dr. Éder Leandro Bayer Maier.

1. Água 2. Automação 3. Geoquímica I. Maier, Éder Leandro Bayer II. Título.

CDU 911:004

Catálogo na Fonte: Bibliotecária Vanessa Ceiglinski Nunes CRB 10/2174

DESENVOLVIMENTO DE GEOTECNOLOGIAS PARA COLETA DE DADOS CLIMÁTICOS

Por

WILLIAM CARVALHO MAIA

Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Éder Leandro Bayer Maier

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Guilherme Netto

Universidade Federal de Pelotas (UFPEL)

Prof. Dr. Ivan Ricardo Castro Diaz

Universidade Federal do Rio Grande (FURG)

Prof^a. Dr^a. Simone Emiko Sato (suplente)

Universidade Federal do Rio Grande (FURG)

Rio Grande, RS

Setembro, 2020.

RESUMO

O pluviômetro automático possibilita a coleta e preservação de amostras da água da chuva para medir do volume precipitado e a mensuração da razão isotópica do oxigênio dezoito e deutério de hidrogênio. O invento vem sendo desenvolvido desde 2016, com duas fases, as quais possibilitaram a construção artesanal do primeiro pluviômetro e a fabricação e instalação de 6 protótipos (Fase I) e na Fase II está previsto a avaliação, correção e ajustes dos problemas apresentados pelos protótipos, a fim de possibilitar a reprodução industrial dos pluviômetros automáticos. A metodologia esboça as diretrizes de construção do pluviômetro com baixo custo, com menor peso bruto possível e com técnicas de produção simples e com uso de *software* livre para automação, visando construí-los ou transportá-los em/para locais de difícil acesso. Obtendo como resultado um pluviômetro automático com estrutura de PVC, alimentado com energia elétrica (em operação) ou solar (em desenvolvimento) e que coleta a água da chuva durante 1 mês, ao longo de 12 meses e preserva as amostras contra a evaporação. São usados 3 mecanismos (com redundância) para evitar a saída do vapor de água e a automação é composta por um sistema de discos, um motor de passo e uma placa com um micro controlador e acessórios. Adicionalmente, o equipamento registra a temperatura e umidade do ar e do solo. A instalação dos 6 protótipos foi em um perfil norte-sul no período entre 12 e 20 de março de 2019, com espaçamento de aproximadamente 2° de latitude entre as cidades de Uruguaiana e Corumbá, abrangendo o território argentino, brasileiro e paraguaio. Entretanto, não foi possível recuperar as amostras após 1 ano da instalação em função da pandemia do covid-19. Restando fazer uma avaliação dos problemas apresentados nos protótipos a partir dos relatos dos colaboradores e registros fotográficos, e explorar soluções para as partes do sistema de automação, oxidação de peças metálicas e extravasamento de água no frasco de armazenamento e contaminação das amostras. Visando tornar possível a reprodução industrial do pluviômetro automático.

Palavras-chave: Água; Automação; Geoquímica.

AGRADECIMENTOS

À minha família, sou muito grato por todo apoio, cuidado e amor e por sempre serem a fonte de inspiração e criatividade. Destaco que sempre fiquei admirado com tudo que minha mãe fez e faz naquela máquina de costura, onde qualquer tecido se transforma em perfeitos trajes ou qualquer outra peça passível de ser costurada, aliando uma inexplicável técnica ao mínimo desperdício material. A engenhosidade do meu pai sempre fez a diferença no ofício da agricultura e da pesca artesanal na qual sempre se dedicou. Teria sido muito mais difícil se esse ser criativo não elaborasse sempre que necessário, uma ferramenta mais adequada, uma técnica mais eficiente de cultivo, uma forma proveitosa de dispor as redes no mar entre outras tantas originalidades que estou acostumado a presenciar. Confesso que essa criatividade sempre fez as nossas vidas mais divertidas. Ao meu irmão, reitero a gratidão pelo apoio, cuidado e amor e preciso dizer que é o aluno mais dedicado dos nossos pai e mãe e até agora aprendeu tudo direitinho. Para ele, cabe inteiramente o velho ditado: “filho de peixe, peixinho é”.

À grande família, a partir dos tios e tias e para além deles, agradeço a positividade e garantia de encontrar em cada um, o porto seguro para os dias turbulentos.

Agradeço a minha companheira de vida, Tainã, que é a referência em dedicação e determinação. Nessa minha trajetória acadêmica ela é a estrada que eu estou seguindo, é o combustível (*faz que tu consegues*), é a placa de orientação (*faz tal curso; a aula é na sala tal; período de matrícula está aberto...*), é a placa de advertência (*tens que te dedicar mais; se tu não estudar não vai dar...*). Do lado de fora deste percurso ela é convívio e harmonia.

Aos amigos, por sempre acreditarem e vibrarem boas energias quando me proponho novos desafios;

Ao orientador deste trabalho, Professor Dr. Éder Maier que incentivou e colaborou diariamente no desenvolvimento desta pesquisa;

Aos colegas de laboratório, com quem pude dividir momentos de aflição e de alegrias e que também sonham e realizam a pesquisa científica.

Este trabalho também envolveu algumas pessoas que se animam com pesquisa científica e colaboraram conforme as necessidades do projeto. Assim, agradeço intensamente à:

Guttemberg Conrado, aluno do curso de Física da FURG, pela ajuda e ensinamentos no software de desenho técnico e elaboração dos desenhos bem como pela impressão 3D das peças;

Uriel de O. Alves, que no início do projeto era aluno de Engenharia de Automação na FURG, agradeço pelas significativas contribuições acerca da automação do protótipo e atualmente, mesmo sem vínculo acadêmico, sempre solícito na tentativa de resolução dos problemas.

Hiago Moraes Martins, pela elaboração de desenho técnico a fim da industrialização das placas de circuito impresso do pluviômetro;

Ronaldo Torma Bernardo, do Centro Polar e Climático da UFRGS, sempre atencioso para análise das amostras testes e fornecimento de frascos para coleta de amostras.

Ao Centro Polar e Climático, na pessoa do professor Jeferson Cardia Simões, na colaboração e subsídios para aquisição de materiais essenciais à construção dos protótipos.

Agradeço as instituições que disponibilizaram local adequado para instalação dos equipamentos e as pessoas que doaram seu tempo para acompanhar o funcionamento e enviar feedbacks sempre que solicitado.

Por fim, às tantas outras pessoas não citadas, ao saberem o quanto foram importantes nessa minha construção, peço que absorvam os melhores e os mais sinceros agradecimentos.

Lista de figuras

Figura 1. Mapa de entrada de umidade na América do Sul.....	18
Figura 2. Fluxo de transporte de umidade e campos de precipitação na AS., onde NM representa novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março, AJ representa abril, maio e junho, JA representa julho e agosto e SO representa setembro e outubro.	20
Figura 3. Processo de fracionamento a partir da evaporação de água do oceano.	23
Figura 4. Pluviômetro de preservação de amostras que utiliza bola de tênis de mesa para contenção da evaporação - modelo CRC-V1.	25
Figura 5. Coletor de chuva Palmex – A) Fotografia do coletor instalado em um poste, B) Desenho ilustrativo da estrutura e componentes, C) Mostra do tubo interno, do funil com proteção anti-pássaros e da proteção externa com pintura prateada.	26
Figura 6. Fluxograma contendo os passos para criação, desenvolvimento instalação e acompanhamento dos pluviômetros	32
Figura 7. Mapa de localização dos pluviômetros com a média mensal e anomalia de precipitação.	37
Figura 8. Gráfico da relação entre o volume precipitado e a captação de água usando um cano de coleta de 100 mm.....	40
Figura 9. Representação da estrutura geral do pluviômetro automático.....	41
Figura 10. Representação expandida do pluviômetro automático.	42
Figura 11. Filtro em tela de alumínio.....	43
Figura 12. Mostra do processo de concepção do disco de distribuição.....	44
Figura 13. Conjunto do disco de distribuição, cremalheira e motor de passo.	45
Figura 14. Disco inferior com coletores secundários.....	45
Figura 15. Parte inferior do coletor secundário (prensa cabo) com mostra do anel de vedação e esfera.	46
Figura 16. Mangueira de conexão e suspiro.	46
Figura 17. Suporte dos frascos. A) Corte feito em uma extremidade do cano para possibilitar a dobra. B) Fundo do suporte dobrado e fixado com lacre de nylon.	47
Figura 18. Disposição dos suportes e frascos. A) Frascos e suportes nos 3 níveis. B) Organização de frascos em cada nível.	48
Figura 19. Disposição do suspiro no tubo de conexão.....	49
Figura 20. Ilustração da restrição e movimento das esferas.	50

Figura 21. Conduto do coletor secundário e anel de vedação.	50
Figura 22. Esquema dos componentes de automação.	51
Figura 23. Protótipo da placa com placa perfurada e Arduino Uno.	52
Figura 24. Protótipo da placa a partir de abrasão e Arduino Nano.	53
Figura 25. Placa de circuito industrializada.	53
Figura 26. Fluxograma ilustrativo sobre a programação da placa de controle do pluviômetro.	54
Figura 27. Razão isotópica do oxigênio dezoito ($\delta^{18}\text{O}$) de uma amostra preservada por 172 dias no pluviômetro automático desenvolvido na FURG. As coletas foram mensais (6 meses).....	56
Figura 28. Simulação do trecho percorrido durante a instalação dos 6 protótipos.....	57
Figura 29. Equipamento instalado em Uruguaiana, RS, Brasil.....	58
Figura 30. Equipamento instalado em Corrientes, El Sombrerito, Argentina.	58
Figura 31. Equipamento instalado em Assunción, Paraguai.	59
Figura 32. Equipamento instalado em Santa Rosa de Aguaray, São Pedro, Paraguai.....	60
Figura 33. Equipamento instalado em jardim, Mato Grosso do Sul, Brasil.	60
Figura 34. Equipamento instalado em Corumbá, Mato Grosso do Sul, Brasil.	61
Figura 35. Mostra do orifício de visualização para verificação e controle do mês de coleta giro manual do disco de distribuição.	63
Figura 36. Oxidação da esfera e limpeza efetuada por colaboradores.....	64
Figura 37. Disco inferior com coletores secundários. A) Disco inferior em uso. B) Projeto de disco inferior com coletores secundários de borda chanfrada e furo ladrão de excesso de água.....	65
Figura 38. Sistema de energia solar composto por placa solar e controlador de carga....	66

Lista de tabelas

Tabela 1. Isótopos de oxigênio com as seguintes abundâncias.....	21
Tabela 2. Relação de colaboradores/instituição e pontos de instalação dos pluviômetros.	38

Sumário

1. CONTEXTUALIZAÇÃO	13
2. JUSTIFICATIVA:.....	14
3. OBJETIVOS	15
3.1. Objetivos específicos	15
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
4.1. Circulação atmosférica.....	17
4.2. Isótopos de Oxigênio 18 ($\delta^{18}\text{O}$).....	21
4.3. Equipamentos de preservação de amostras.	24
4.4. Automação.....	27
5. MATERIAL E MÉTODOS	31
5.1. Estrutura	33
5.2. Distribuição mensal da água coletada.....	34
5.3. Preservação da amostra	34
5.4. Dados de precipitação.....	35
5.5. Rede de colaboradores	38
6. RESULTADOS	39
6.1. Estrutura	40
6.2. Coleta e distribuição mensal da água.....	43
6.3. Sistema de preservação das amostras.....	48
6.4. Sistema de automação.....	51
6.5. Avaliação do sistema de preservação das amostras	55
6.6. Precipitação nas área de instalação dos protótipos.....	35
6.7. Instalação dos Equipamentos:	56
6.8. Elaboração de material técnico/didático	66
6.9. Preservação dos equipamentos.	66
6.10. Custo unitário do pluviômetro totalizador	67
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	67

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
APÊNDICE A – Instruções de amostragem – Pluviômetro automático	72
APÊNDICE B – Tabela de preços.....	76

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Entender a variabilidade climática é um desafio desde os primórdios da evolução científica até o presente, visto que o conhecimento sobre o tempo e o clima é fundamental para planejamento ambiental. Nesse sentido, o uso de geotecnologias tem um papel fundamental na busca da compreensão das estruturas e processos dos sistemas terrestres, especialmente do sistema atmosférico e hidrológico.

A compreensão da variabilidade climática na América do Sul é parcial, visto que há diversos trabalhos sobre os modos de variabilidade interanual e interdecenal, mas existem carências de estudos em outras escalas espaço-temporal. Por exemplo, existem carências de estudos referentes a variabilidade dos processos de reciclagem da água sobre o continente, desde a Amazônia até as latitudes subtropicais ou sobre a variabilidade climática pretérita, que não abrange o período das observações instrumentais em estações meteorológicas.

Na América do Sul as observações instrumentais são mais abundantes na porção leste do continente a partir do século passado. Desta maneira, há uma demanda por observações no interior continental e para a compreensão dos registros paleoclimáticos recuperados por análises físico-químicas dos testemunhos de gelos da Cordilheira do Andes em latitudes tropicais.

Nesse contexto, surge a necessidade de coletar amostras da água da chuva e preservá-las usando técnicas de automação, visto que os equipamentos comercializados dependem de um observador, resultando em uma amostragem onerosa e com baixa resolução temporal e espacial. Em contra partida, a combinação de técnicas de coleta e preservação da água da chuva com mecanismos de automação possibilitou a invenção do pluviômetro automático, que possibilitará a ampliação das amostragens em escala continental e com boa resolução temporal (mensal).

O pluviômetro totalizador foi desenvolvido na Universidade Federal do Rio Grande – FURG, por 3 inventores que são: eu (William Carvalho Maia), o orientador do projeto (professor Dr. Éder Leandro Bayer Maier) e o bolsista de iniciação científica (Uriel de Oliveira Alves). A concepção do pluviômetro foi elaborada pelo professor Éder através de um projeto de pesquisa em que se iniciou a materialização do equipamento de forma artesanal e posteriormente somou-se esforços na construção do software que possibilitou a sua automação.

A ideia de construção do pluviômetro baseia-se no baixo custo, com menor peso bruto possível, na utilização de técnicas de produção simples e automação com uso de software livre, tendo em vista a possibilidade de construí-los e/ou transportá-los em/para locais de difícil acesso, diminuindo assim os custos de logística. Adicionalmente, o pluviômetro deverá armazenar e preservar de forma automática da água precipitada, o que possibilitará a mensuração do volume precipitado e da razão isotópica de oxigênio dezoito ($\delta^{18}\text{O}$).

A assinatura isotópica da água da chuva em latitudes tropicais está relacionada aos ciclos de evaporação e precipitação sobre o continente, porque a cada processo de evaporação-precipitação os isótopos com maior massa atômica (ex. ^{18}O) tendem a precipitar primeiro, conseqüentemente ocorre o empobrecimento desses isótopos. Por isso, quando é calculado a razão isotópica do oxigênio dezoito observa-se valores negativos, com decréscimo médio de 3‰ a cada processo de reciclagem (DANSGAARD, 1954).

Nesse contexto, o desenvolvimento do pluviômetro automático possibilitará observações sistemáticas do volume e da razão isotópica da precipitação em escala continental e com resolução mensal. Possibilitando a melhor compreensão dos processos continentais e atmosféricos que controlam a variabilidade espaço-temporal da precipitação na América do Sul.

2. JUSTIFICATIVA:

A necessidade de amostragens em ambientes remotos, em escala continental e com satisfatória resolução temporal (mensal) tem impulsionado o desenvolvimento do pluviômetro automático. Tratando-se da tecnologia de coleta de água da chuva para análises de isótopos estáveis, relata-se que os pluviômetros comerciais são projetados e construídos para coletas não seletivas. Em outras palavras, o coletor não seleciona ao longo do tempo diferentes amostras, sendo dependente ao observador a seleção das amostras ou definição a resolução temporal.

Em áreas remotas como, por exemplo, a Amazônia os pluviômetros são instalados e ficam coletando a água da chuva até o retorno do observador, que pode ser um dia, uma semana, um mês ou um ano. Sendo mais recorrentes, campanhas de campo com intervalos de 3 a 6 meses, obtendo 4 ou 2 amostras por ano. Essa resolução temporal, quando comparado a variabilidade da precipitação, é grosseira e

impossibilita a identificação de ciclos temporais na amostragem isotópica. Além disso, a invenção e construção de um pluviômetro automático pode ampliar a densidade espacial das amostras, seguindo o fluxo atmosférico da água que compõem as precipitações tropicais e subtropicais.

O equipamento possui um sistema operante por 12 meses, sendo coletado as chuvas que ocorrem entre o primeiro e o último dia de cada mês, de forma automática, além de contar com um sistema de vedação dos frascos para uma eficiente preservação das amostras. Adicionalmente, o sistema de automação contém sensores de observação da temperatura e umidade do ar e solo.

A possibilidade de coletar novos dados (volume da precipitação, $\delta^{18}\text{O}$, temperatura e umidade do ar e solo) auxiliará na compreensão da complexa dinâmica do ciclo hidrológico da América do Sul, especialmente a relação entre a atmosfera, a litosfera e a biosfera que alimenta as precipitações da região equatorial até a subtropical.

A porção leste do continente sul-americano, entre o Oceano Atlântico e a Cordilheira do Andes, desde o hemisfério norte até a foz do Rio da Prata, é detentora de 80% do PIB continental. Sendo que grande parte desse produto é dependente do regime das chuvas como, por exemplo, a agricultura e a produção de energia elétrica (hidroelétrica). Por final, a compreensão da variabilidade climática pode auxiliar na mitigação e compensação impactos ambientais oriundos das variações espaço-temporal da precipitação.

3. OBJETIVOS

Desenvolver o pluviômetro automático, construir réplicas do protótipo e instalar as réplicas na região do Chaco.

3.1. Objetivos específicos

- Montar o protótipo;
- Sanar qualquer problema estrutural e de *hardware* e *software* do protótipo;
- Desenvolver recursos (teóricos e operacionais) para futuros problemas operacionais do pluviômetro automático;
- Construir réplicas dos pluviômetros automáticos;
- Criar uma rede de observadores e instalar as réplicas na região do Chaco;

- Acompanhar e analisar o funcionamento dos pluviômetros automáticos (consumo de energia, preservação da amostra, integridade do sistema estruturante e eletromecânico).

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Observar as condições meteorológicas e climáticas é uma necessidade humana, mas é no período histórico que temos as primeiras descrições do tempo e do clima. Já as medições da água da chuva ocorrem desde o ano 100D.C. ou, na Coréia, a partir de 1440. Outros instrumentos como, por exemplo, o barômetro e o termômetro foram inventados em 1643 por Torricelli e em 1740 por Fahrenheit, respectivamente (CAVALCANTI, 2009).

No atual século, as observações e medições são específicas e evoluídas, quando comparadas ao princípio da ciência moderna. Possibilitando inferências ao nível da composição química, ou observações sistemáticas de alta frequência, ou obter amostras de áreas remotas como, por exemplo, os testemunhos de gelo, gerando a possibilidade de análises de climas pretéritos ou da variabilidade climática. Nesse sentido, dados paleoclimáticos obtidos em testemunhos de gelo são importantes fontes de informações do clima pretérito e de suas relações com variáveis atmosféricas ou hidrológicas, provendo dados com alta resolução temporal. Os isótopos estáveis ($^2\text{H}/^1\text{H}$ ou $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$) quando mensuradas em testemunhos de gelo tropical o $\delta^{18}\text{O}$ pode ser usado para inferências sobre o ciclo hidrológico (BALES; WOLFF, 1995).

Na América do Sul, especialmente sobre a cordilheira dos Andes, ocorreram diversas campanhas para coletar dados paleoclimáticos como, por exemplo, a extração do testemunho de gelo no Nevado Illimani – Bolívia (6350 m, 16°37'S, 67°46'W) que visou obter informações pretéritas da dinâmica atmosférica atuante sobre o planalto sul-americano. Essa massa de gelo, apesar de apresentar alta dinâmica, preserva informações desde o Último Máximo Glacial (RAMIREZ et al., 2003).

A reconstrução paleoclimática utilizando dados da $\delta^{18}\text{O}$ ainda é imprecisa, principalmente pela variabilidade temporal e espacial da precipitação sobre o continente sul-americano e sua interdependência com o processo de reciclagem da água continental. Os estudos sobre reciclagem são baseados em modelagem

numérica ou modelagem estatística, sendo carentes de dados observados (MAIER, 2014).

Essa carência de dados observados incentivou o desenvolvimento do protótipo, a fim coletar dados inéditos e subsidiar uma melhor compreensão do processo de reciclagem sobre o continente sul-americano e sua relação com a distribuição espacial e temporal da precipitação.

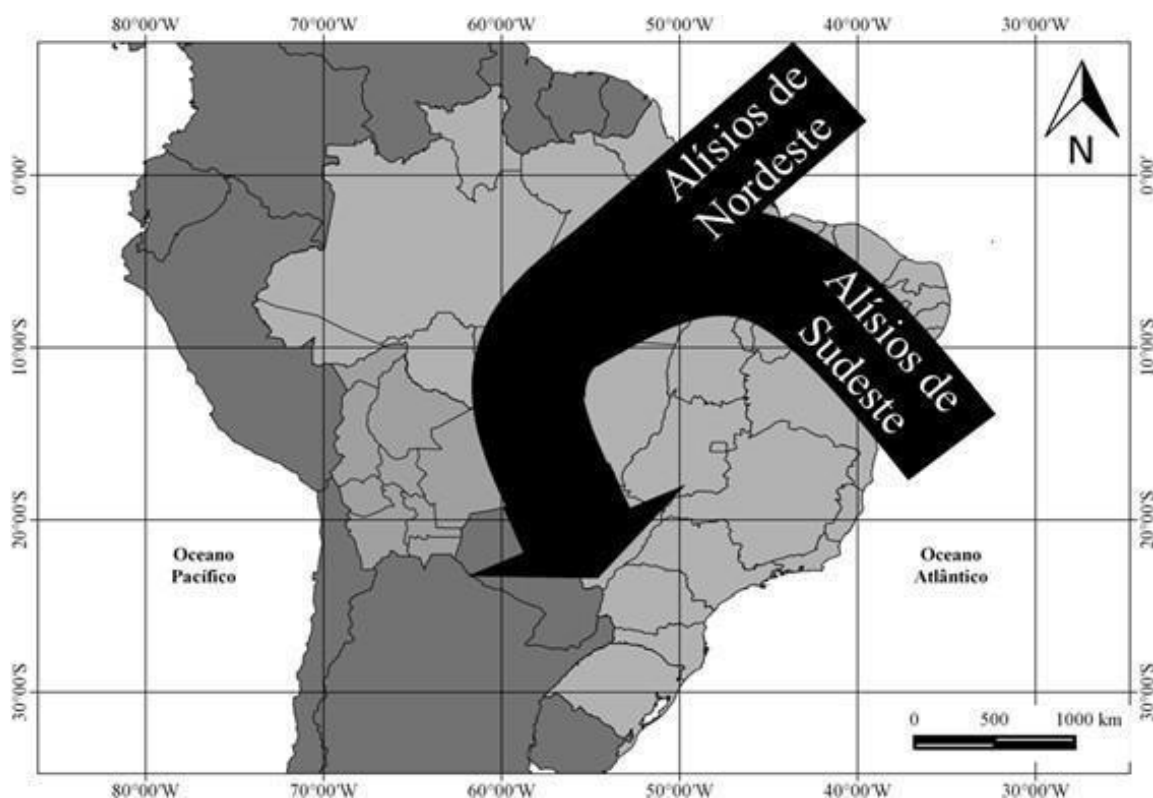
A *The Global Network of Isotopes in Precipitation* (GNIP) é uma rede mundial de monitoramento de isótopos de hidrogênio e oxigênio em precipitação, iniciada em 1960 pela *International Atomic Energy Agency* (IAEA) e pela *World Meteorological Organization* (WMO). A rede possui uma base de dados eficiente, no entanto, ainda tem deficiências espaciais (BOWEN; REVENAUGH 2003, ROZANSKI et al. 1993, TERZER et al. 2013, WASSENAAR et al. 2009, WEST et al., 2014)

4.1. Circulação atmosférica

A circulação geral da atmosfera é gerada por diversos fatores combinados e continuamente atuantes no transporte de energia e de massas de ar e de água. Em geral, a diferença entre a alta e baixa pressão originam a migração horizontal dos ventos que também se desloca verticalmente sob a influência de turbulências (CHRISTOPHERSON, 2012).

A circulação atmosférica global configura a distribuição de umidade na América do Sul. A água que precipita sobre a floresta Amazônica ocorre pela entrada de umidade pelo Oceano Atlântico (50%) que acompanha os ventos alísios demonstrados na Figura 1. Adicionalmente, 50% da precipitação ocorre pela evapotranspiração da própria floresta (DALL'OLIO et al., 1979). A evapotranspiração da própria floresta e o recebimento de vapor d'água de origem oceânica fazem com que a bacia amazônica se comporte como um sumidouro da umidade atmosférica (SATYAMURTY et al. 2013) e faz com que, associada a circulação regional, a Floresta Amazônica seja importante contribuinte no regime de precipitação que se estende para regiões como Centro, Sudeste e Sul do Brasil, e também para o norte da Argentina, incluindo a bacia do *Prata* (VERA et al. 2006).

Figura 1. Mapa de entrada de umidade na América do Sul.



Fonte: Peres e Maier (2016).

Com a reciclagem da umidade proveniente da Amazônia, os maiores volumes de precipitação vão se manter no Brasil Central, beneficiando, no verão, a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), começando a dissipar no final da mesma estação quando a convecção se desloca aos poucos para o equador, deixando o outono com baixos níveis de umidade devido as frequentes entradas de ar seco e frio que vem das médias latitudes (GAN et al., 2009).

Na região central da América do Sul, se estabelece um ciclo anual de chuvas bem definido, caracterizado por seis meses com chuva e seis meses de secas, com 90% da precipitação ocorrendo anualmente entre os meses mais quentes, caracterizando assim, uma circulação de regime de monções (GAN et al., 2009).

A propagação desse sistema na América do Sul começa durante a primavera, com o aumento da convecção sobre o noroeste da bacia Amazônica no mês de setembro, quando segue para o Sudeste até chegar na região sudeste do Brasil, já em novembro, atingindo as máximas de precipitação durante os meses de verão (dezembro a fevereiro), pela propagação de uma profunda convecção por cima da região tropical e subtropical na América do Sul. (MOREIRA; MAIA e MAIER, 2019).

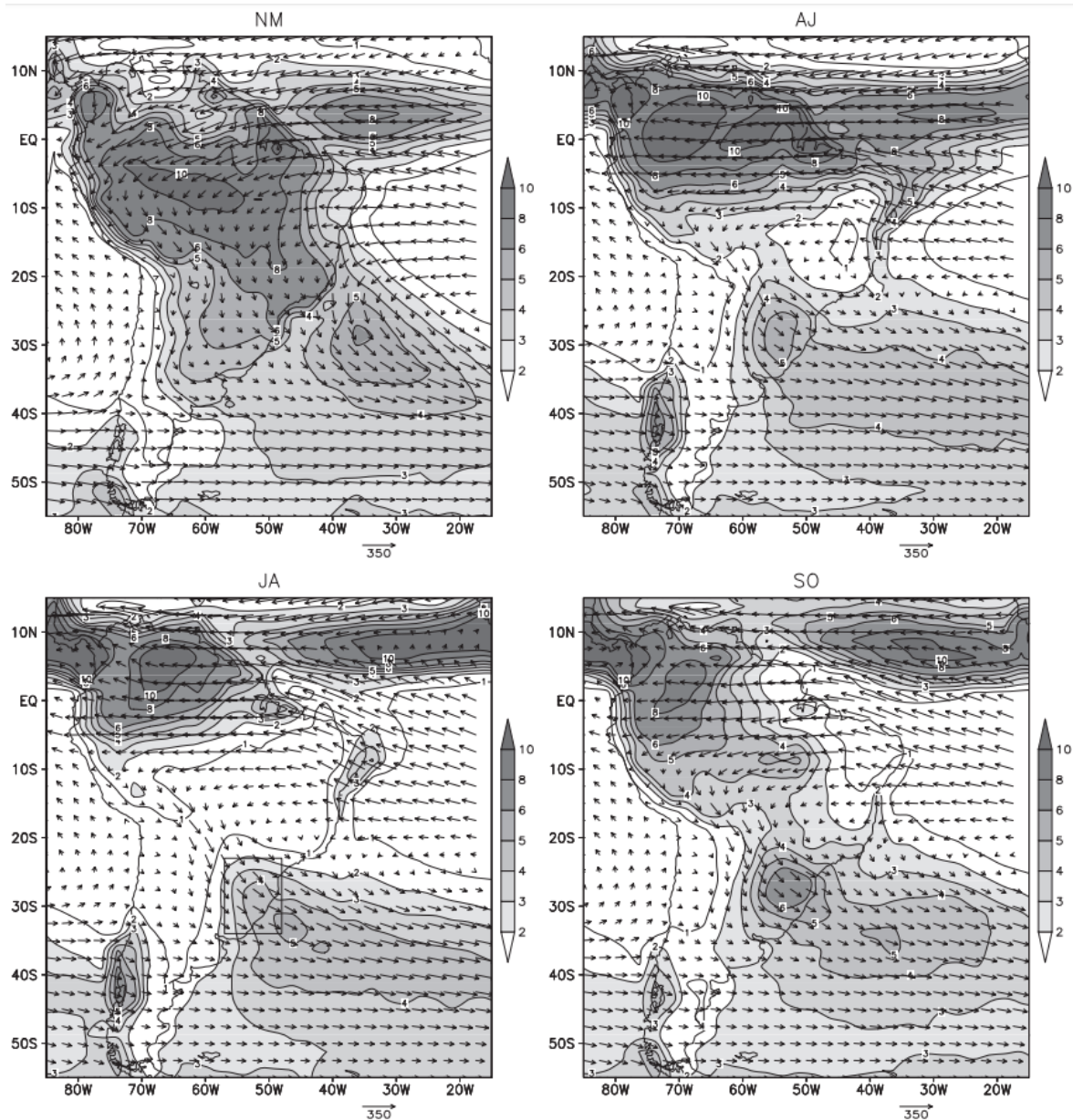
Um dos componentes das Monções da América do Sul é a Baixa do Chaco, região localizada aproximadamente entre 15-25°S e 60-65° O, nas planícies entre a Bolívia e Paraguai. As Monções se caracterizam pela ocorrência da estação chuvosa na América do Sul entre os meses de outubro e abril, quando a circulação nos campos da baixa troposfera se identifica pela ampla área de baixa pressão que vai desde a Amazônia até o noroeste da Argentina (GAN et al., 2009).

Com alta variabilidade, está ligada a intensas anomalias de temperatura, vento e umidade, age praticamente por todo verão, mas tem sua máxima intensidade antes da passagem de um sistema frontal e frio, que se dissipa após o resfriamento convectivo, e tem sua formação e alterabilidade ligada ao balanço de radiação em superfície e a subsidência orográfica forçada (Seluchi e Saulo, 2012).

Os fenômenos El Niño e La Niña, anomalias já conhecidas pelas suas interações com a atmosfera e oceano podem se mostrarem como mais um fator importante de análise pluviométrica, que acaba acentuando a sazonalidade das secas e chuvas na região de estudo (MOREIRA; MAIA e MAIER, 2019). Com estudos já realizados, os comportamentos comprovados de cada fase do ENOS - El Niño Oscilação Sul, que quando positiva chamada de El Niño, temos o aquecimento das águas do Oceano Pacífico Equatorial, gerado pelo enfraquecimento dos ventos alísios e assim observamos mudanças na circulação atmosférica, e, portanto, a distribuição da umidade e das chuvas. Já com a fase negativa, o La Niña, os ventos mais intensos ocasionam movimentos descendentes da célula de Walker no Pacífico Equatorial Oriental não gerando tantas nuvens de chuvas, como na fase de El Niño (OLIVEIRA, 2001).

O transporte de umidade na AS foi calculado por Arraut et al., (2012), e este fluxo e umidade são demonstrados na Figura 2. Os resultados apresentam as médias para os meses de novembro a março (NM), para abril a junho (AJ), para julho e agosto (JA) e para setembro e outubro (SO). As maiores taxas de precipitação são em NM, ocorrendo desde o norte da Amazônia até a região subtropical. Em Julho e Agosto ocorrem chuvas nas baixas latitudes e no sul do Brasil, e nas demais áreas é considerado seco. Nesse período o fluxo na região equatorial é longitudinal, de leste para oeste e os fluxos gera maior distribuição da precipitação no interior da bacia amazônica.

Figura 2. Fluxo de transporte de umidade e campos de precipitação na AS., onde NM representa novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março, AJ representa abril, maio e junho, JA representa julho e agosto e SO representa setembro e outubro.



Fonte: ARRAUT et al., 2012

Os campos médios sazonais do fluxo de vapor d'água (Figura 2) mostram que no verão austral há um movimento circular ciclônico e convergente sobre a região do Chaco, que causa convergências e precipitações na Amazônia Central e o Altiplano da Bolívia. Outro mecanismo atmosférico atuante no verão e outono são os ventos alísios de Nordeste, que transportam umidade para o interior da bacia amazônica, associados à maior pressão atmosférica no Oceano Atlântico Tropical Norte (ROCHA et al., 2018).

O fluxo de umidade da Amazônia para o centro sul do Brasil, norte da Argentina, até a foz do Rio da Prata, ocorre durante todo o ano com os Jatos de Baixos Níveis (JBN), sendo predominantes no verão, quando há um acoplamento do transporte de umidade do Atlântico Tropical Norte pelos ventos Alísios de Nordeste, o prolongamento do transporte para o interior continental com os JBN, o redirecionamento dos ventos para sul (efeito da Cordilheira dos Andes) e a convergência tropical e subtropical pelos CCM e Sistemas Frontais, para mais informações consulte (NOBRE et al., 2009).

4.2. Isótopos de Oxigênio 18 ($\delta^{18}\text{O}$)

O oxigênio é o elemento mais abundante na Terra e vital para a existência humana no planeta. Ele está presente em gases, líquidos e sólidos e por esta razão tem sido um dos elementos que a geoquímica tem dado grande relevância (HOEFS, 2018).

Os isótopos estáveis se caracterizam por apresentarem configurações nucleares estáveis, isto é, não alteram a massa ao longo da sua existência, ao contrário dos chamados instáveis ou radioativos, que decaem (mudam suas massas) por emissão de energia ou partículas subatômicas (MARTINELLI et al., 2009). Cada elemento tem um isótopo dominante “leve” (^{16}O) e um ou mais isótopos “pesados” (^{17}O e ^{18}O), com abundância natural menor que 1 % (HOEFS, 2004), conforme Tabela X abaixo, com dados de Rosman e Taylor (1998).

Tabela 1. Isótopos de oxigênio com as seguintes abundâncias.

Isótopo	Abundância
^{16}O	99:757%
^{17}O	0:038%
^{18}O	0:205%

Fonte: (ROSMAN; TAYLOR 1998)

Uma molécula de água é composta por diferentes elementos químicos (hidrogênio e oxigênio) que possuem isótopos estáveis de diferentes massas atômicas, por exemplo, a massa do O pode variar entre 16 e 18 daltons. Em função de processos naturais os isótopos passam por processos de fracionamento, de

maneira que, seus valores de razão isotópica sofrem flutuações. Destaca-se que a água possui abundância de isótopos pesados, como o ^{18}O , e que os mesmos são os primeiros a serem precipitados nos processos de reciclagem da água. A concentração isotópica da chuva depende, entre outros fatores, da origem do vapor d'água (DALL'OLIO et al., 1979).

Todos os isótopos de oxigênio têm 8 elétrons e 8 prótons, sendo que o átomo de oxigênio com massa de 18 (^{18}O) possui 2 nêutrons a mais que oxigênio-16 (^{16}O). Esse aumento de massa (peso) é o que determina qual isótopo tende a precipitar primeiro e essas variações nas razões de $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ estão na faixa de partes por mil e são denotadas com o símbolo delta (δ) (WHITE, 2015). Para determinar o fracionamento dos isótopos de oxigênio, utiliza-se um padrão de referência que é uma amostra padrão das médias dos oceanos SMOW (*Standard Mean Ocean Water*) (CRAIG, 1961) ou o padrão VSMOW (Vienna-SMOW).

Para calcular os valores de fracionamento (δ em ‰), divide-se o valor da amostra coletada (R) pelo valor da amostra padrão SMOW (R-1) e multiplica-se por mil, conforme Equação 1. Resultados com valores negativos significam que a amostra tem menos isótopo pesado que a amostra padrão, logo, quando o δ é positivo, significa que a amostra tem mais isótopos pesados que a amostra padrão. (KENDAL; CALDWELL, 1998)

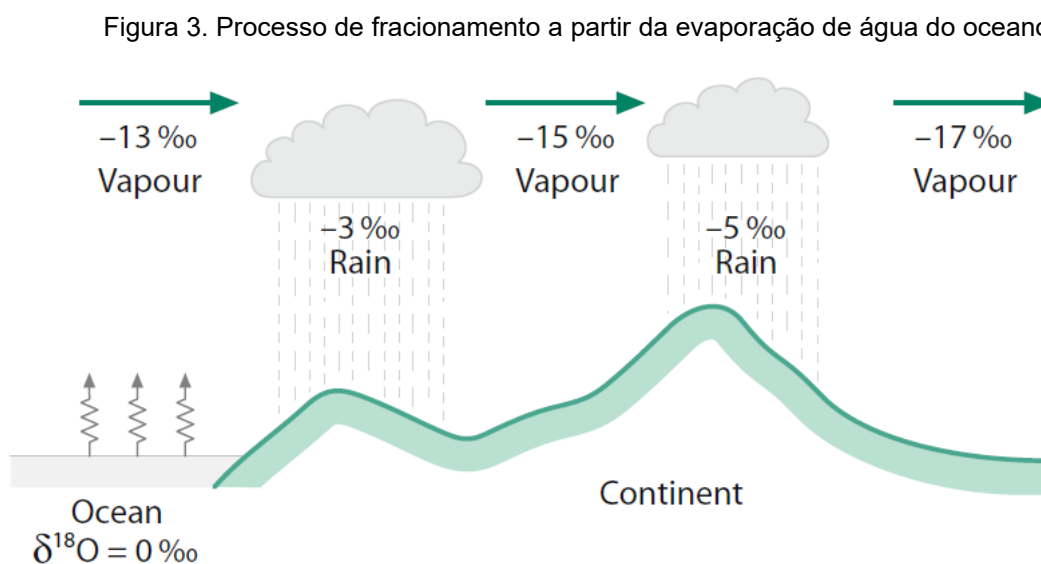
$$\delta = (\text{amostra R} / \text{padrão R} - 1) 1000 - \text{Equação 1}$$

A distribuição geográfica das diferentes assinaturas isotópicas está relacionada ao local de amostragem como, por exemplo, a latitude, altitude, distância da costa, quantidade de precipitação e temperatura do ar em superfície, sendo que mais importante a temperatura e o processo de formação da precipitação (DANSGAARD, 1954).

White (2015) afirma que a continentalidade é um dos fatores da diminuição dos valores isotópicos, visto que as menores razões (mais negativas) são encontrados no interior dos continentes, porque no caminho entre o oceano e o interior continental a água é simultaneamente transportada e integrada no processo de evaporação-precipitação. Adicionalmente, Eltahir e Bras (1994) destacam que a razão isotópica do oxigênio dezoito de -15‰ (média) está associada a um distanciamento de 3.000 km entre a coleta da amostra e a evaporação no oceano. Outro fator importante no

processo de fracionamento é a diminuição da temperatura em razão do aumento da altitude, visto a diminuição da disponibilidade de água na atmosfera e a precipitação orográfica (VIMEUX et al., 2005).

A Figura 3 ilustra o processo de empobrecimento isotópico com a evaporação da água no oceano e o processo de evaporação-precipitação sobre os continentes. Mostrando que a evaporação no oceano produz vapor na atmosfera empobrecidos de isótopos pesados ($\delta^{18}\text{O} = -13\text{‰}$) porque os mais leves mudam de fase primeiro, mas no processo de precipitação as moléculas mais ricas em ^{18}O precipitam primeiro, resultando em um $\delta^{18}\text{O} = -3\text{‰}$. Tornando a análise isotópica "impressões digitais" das massas de água e seus caminhos no ciclo hidrológico (KENDALL; CALDWELL, 1998).



Fonte: Hoefs (2018)

Diferenças de pressão de vapor geram fracionamento isotópico altera a razão entre o ^{16}O e o ^{18}O , sendo que cada mudança de fase de uma massa de água durante o seu caminho pela atmosfera, desde sua fonte líquida (evaporação) até a precipitação na forma de neve ou chuva (condensação) diminui a razão entre o número de moléculas de ^{16}O e ^{18}O . Em latitudes tropicais esse empobrecimento isotópico ocorre em cada processo de condensação da água na atmosfera com a evaporação-precipitação, portanto, a repetição desse processo ao longo da reciclagem da água sobre o continente diminui a porcentagem relativa do ^{18}O . Cada

processo de evaporação e precipitação da água sobre o continente diminui a razão isotópica do oxigênio em cerca de 3 per mil (‰) (DANSGAARD, 1964).

Estudos em eventos pontuais de chuva, apontaram que a composição isotópica pode ter diferentes resultados quando se analisa amostras coletas em diferentes fases da precipitação. Um padrão “em forma de V” foi descrito por Hoefs (2018) que aponta uma queda brusca nos valores de $\delta^{18}\text{O}$ no início da chuva e tem um mínimo depois de certo tempo do evento, mas volta a aumentar os valores no período mais intenso da chuva, visto que a intensidade dificulta o processo de evaporação das gota. Adicionalmente, há uma variação da assinatura isotópica para diferentes tipos de nuvens, por exemplo, nuvens convectivas o ciclo de evaporação e precipitação pode ocorrer com maior intensidade e velocidade e valores maiores do $\delta^{18}\text{O}$ foram encontrados quando comparados aos de nuvens estratiformes, que estão associadas a um processo lento de formação.

A razão isotópica também é diferente quando se compara precipitações líquidas e sólidas, visto que os registros isotópicos presentes nos granizos (precipitação sólida) dizem respeito a estrutura interna da nuvem, enquanto que as gotas de chuva sofrem alteração isotópica por evaporação e troca isotópica com o vapor atmosférico durante o caminho percorrido da nuvem ao solo. Por fim, melhorias nas técnicas analíticas dos últimos anos possibilitam que o ^{17}O possa ser incluído nas análises de espectrometria, aumentando a confiabilidade dos estudos que utilizam a razão entre de $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, suprimindo imprecisões causadas pelas diferenças de temperatura e expandindo assim a utilidade dos estudos com a razão entre $^{17}\text{O}/^{16}\text{O}$ e $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ (HOEFS, 2018).

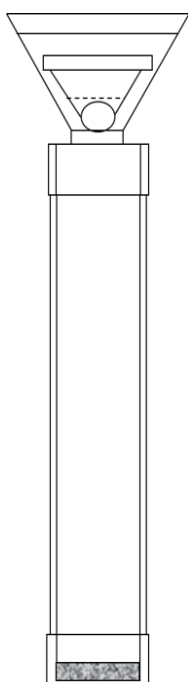
4.3. Equipamentos de preservação de amostras.

Uma diversidade de equipamentos esta disponíveis para medição do volume da precipitação, podendo ser manuais ou automáticos, com diferentes intervalos de tempo entre leituras de dados de chuva. No que tange a coleta de precipitação associado a preservação de amostras para análise química, a quantidade de equipamentos diminui consideravelmente e ao se tratar de equipamentos de preservação por longos períodos, diga-se de meses até um ano, a disponibilidade é limitada a apenas algumas unidades.

Considerando que o principal desafio dos coletores é conter a evaporação da água coletada, nesse contexto Weaver e Talma (2005) desenvolveram um

amostrador simples, de baixa manutenção e opera sem supervisão. O modelo CRC-V1, (Figura 4), possui um funil acoplado a um tubo de PVC de Ø140mm e com altura dimensionada de acordo com o volume de precipitação esperada para a região. Para contenção da evaporação é utilizado uma camada de óleo de silicone dentro do frasco e uma bola de tênis de mesa é colocada sobre o funil de coleta fazendo com que a mesma flutue quando o funil enche água e permita a passagem da água para o tubo de coleta e após toda água descer a bola volta a tapar a garganta do funil (WEAVER; TALMA, 2005)

Figura 4. Pluviômetro de preservação de amostras que utiliza bola de tênis de mesa para contenção da evaporação - modelo CRC-V1.



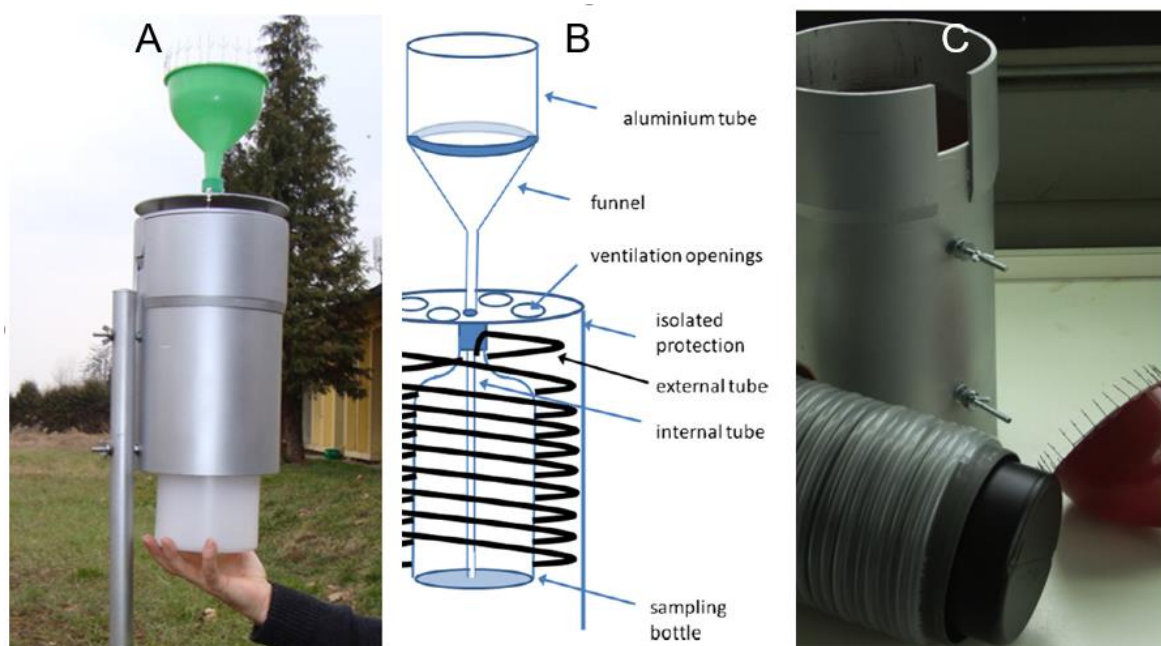
Fonte: Adaptado de Weaver e Talma (2005).

Um segundo modelo, também desenvolvido por Weaver e Talma (2005), nomeado como CRC-V2 possui os mesmos mecanismos do modelo anterior, diferenciando-se apenas por conter um visor milimetrado que possibilita uma leitura visual do montante precipitado sem a necessidade de abrir o equipamento (WEAVER; TALMA, 2005).

Rodrigues e Fauth (2013) descrevem um equipamento que coleta e preserva as amostras durante o período de um mês e apresentam resultados do seu excelente desempenho na preservação das amostras. Eles não utilizam óleo de silicone para contenção de evaporação, visto que o equipamento possui outras características, como o revestimento externo por tinta prata, a fim de minimizar as influências da radiação da luz solar, especialmente a ultravioletas, isolamento térmico da garrafa

de amostragem, proteção contra corrosão, usando peças de aço inox ou latão na fabricação e uma serpentina de mangueira como suspiro, que favorece a condensação do vapor e o retorno da água para o frasco de armazenamento (Figura 5).

Figura 5. Coletor de chuva Palmex – A) Fotografia do coletor instalado em um poste, B) Desenho ilustrativo da estrutura e componentes, C) Mostra do tubo interno, do funil com proteção anti-pássaros e da proteção externa com pintura prateada.



Fonte: IAEA/GNIP precipitation sampling guide

Rodrigues e Fauth (2013) explicam que qualquer evaporação das amostras deve ser evitada, devido a variação da composição isotópica da água após a sua coleta. Sendo que o uso do óleo de silicone pode ser utilizado, no entanto, o agito da água e óleo de silicone para homogeneizar a amostra no momento da coletada, pode contaminar a água com pequenas frações de óleo e o óleo contaminante pode gerar problemas na análise laboratorial, inclusive no espectrômetro de massa.

A *The Global Network of Isotopes in Precipitation (GNIP)* possui diretrizes para preservação da integridade de amostras, evaporação e estratégias de proteção, além de discutir novas estratégias de amostragens. No manual GNIP de fevereiro de 2014 é feito uma abordagem didática sobre os cuidados que devem ser tomados acerca das amostras de precipitação para análise isotópica, bem como especifica as características dos equipamentos utilizados nas estações de coleta de precipitação para análises isotópicas.

Os cuidados contra a evaporação se dão principalmente na contenção da exposição das amostras durante o período de captura, armazenamento e coleta, ajustando os amostradores ao período de armazenamento e volume da precipitação. Durante o transporte e armazenamento das amostras os cuidados convergem em manter frascos bem fechados e seguros contra rachaduras, visto que a ausência desses cuidados essenciais pode tornar a amostra inutilizável. Além disso, as amostras são representativas quando a captura da chuva ocorre durante todo período, ou seja, a mostra deve ser uniforme e sem falhas durante o período de amostragem. No caso de um evento extremo de chuva, no qual o frasco receptor transborde, uma parte importante de isótopos pode deixar de ser somada na amostra mensal (GNIP, 2014).

No que se refere aos aspectos logísticos e de segurança, a GNIP/IAEA *International Atomic Energy Agency (IAEA)* relaciona a escolha do equipamento de acordo com a acessibilidade. Em locais de difícil acesso, onde a visita ao equipamento é de no máximo uma vez ao mês, a recomendado que seja instalado equipamentos de baixa manutenção. Além disso, devem ser adicionados cuidados contra vandalismo, proteção contra ventos fortes e contaminação externa como, por exemplo, equipamentos de irrigação (GNIP 2014).

4.4. Automação

Automação é um sistema de controle de mecanismos onde não se faz necessário a intervenção humana durante a atividade e por meio de dispositivos eletroeletrônicos é possível configurar e controlar as ações de diversos mecanismos. Na Tabela 2, estão relacionados os principais componentes do sistema presentes no protótipo, conforme Maia (2017).

Quadro 1. Componentes do sistema de automação do pluviômetro automático

Componente	Descrição	Maiores informações
Motor de passo	O motor de passo é utilizado em aplicações que necessitam uma precisão no seu posicionamento pois é possível fazer seu controle através do ângulo de	https://athoselectronics.com/motor-de-passo-como-funciona/

	rotação, velocidade e posição de sincronismo.	
Driver motor de passo	Dispositivo responsável por coordenar quais bobinas devem ser acionadas para gerar o movimento requerido do motor de passo. Os drivers são dispositivos eletrônicos que permitem a comunicação e controle de motores através de microcontroladores de maneira mais simples e efetiva.	https://www.orientalmotor.com.br/motores-de-passo/index.html
Arduino	Plataforma open-source focada na facilidade de integração de hardware e software. A placa Arduino é capaz de fazer a leitura de entradas, processar essas informações através do microcontrolador e fazer a escrita em suas saídas de acordo com as instruções programadas. Sua programação é feita através de uma linguagem própria com elementos similares à linguagem C/C++ e também possui seu próprio ambiente de desenvolvimento (Arduino IDE).	https://www.arduino.cc/
Microcontrolador	Pequeno chip que possui os principais elementos de uma arquitetura de computador, como CPU, unidade de memória, controle e entrada/saída. É nele que são armazenadas as instruções e onde as operações lógicas e aritméticas são realizadas, sendo considerado então o cérebro da placa Arduino.	https://www.eletronjunior.com.br/post/o-que-sao-microcontroladores

Resistor	<p>Elemento básico de circuitos elétricos utilizado para modelar fluxo de corrente ou fluxo de carga em um determinado material. O resistor converte a energia elétrica em energia térmica, gerando assim uma queda de tensão em seus terminais.</p>	<p>https://athoselectronics.com/resistor/</p>
Memória (Cartão de memória SD)	<p>Dispositivos capazes de armazenar informações mesmo sem estarem conectados à uma fonte de alimentação. Os microcontroladores geralmente possuem memória pequena, usada apenas para armazenar as instruções (programas) e variáveis de programa. Para armazenar informações, como leitura de sensores é necessário a utilização de Cartão de memória SD pois são de tamanho pequeno e capazes de armazenar um volume consideravelmente grande de informações.</p>	<p>https://www.tecmundo.com.br/cartoes-de-memoria/31521-tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-cartoes-de-memoria.htm</p>
Módulo Relógio Tempo Real (RTC).	<p>O RTC é um módulo que possui a capacidade de calcular precisamente o tempo, realizando a contagem exata dos segundos, minutos, horas, bem como, dos dias, semanas, meses e anos, possibilitando a placa microcontroladora executar diversas tarefas programadas em datas e horários corretos.</p> <p>Este módulo possui ainda compartimento para pilha, o que permite que o mesmo continue em operação mesmo diante da falta de energia do sistema.</p>	<p>https://portal.vidadesilicio.com.br/real-time-clock-rtc-ds3231/</p>

Capacitor	<p>O capacitor é um elemento armazenador de energia composto por duas placas que possui um material não condutor entre elas. A diferença de potencial entre as placas tende a se igualar, ao longo do tempo, à fonte de energia conectada em seus terminais fazendo com que uma carga elétrica seja acumulada em seu interior. As características básicas deste elemento são a capacitância (capacidade de armazenar energia), tensão máxima e o tipo de acordo com seu material de construção. Um exemplo em que este elemento pode ser útil é em casos em que possa haver variações de tensão em determinado ponto do circuito e pelo fato de armazenar energia ele atua como um compensador.</p>	<p>https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-um-capacitor-e-qual-a-sua-funcao/</p>
Regulador de tensão	<p>O regulador de tensão é fundamental em um sistema composto por bateria e placa fotovoltaica, pois a energia solar está em constante variação, gerando uma tensão variada nos terminais da placa solar. Para fornecer a tensão exigida pela bateria, em seu carregamento, o regulador é capaz de receber em sua entrada uma tensão variável e fornecer uma tensão fixa para a bateria.</p>	<p>https://athoselectronics.com/regulador-de-tensao/</p>
Sensores:	<p>Os sensores são dispositivos capazes de perceber variação de alguma forma de energia do ambiente como por exemplo a energia luminosa, térmica e cinética e</p>	<p>https://www.usinainfo.com.br/sensores-474#</p>

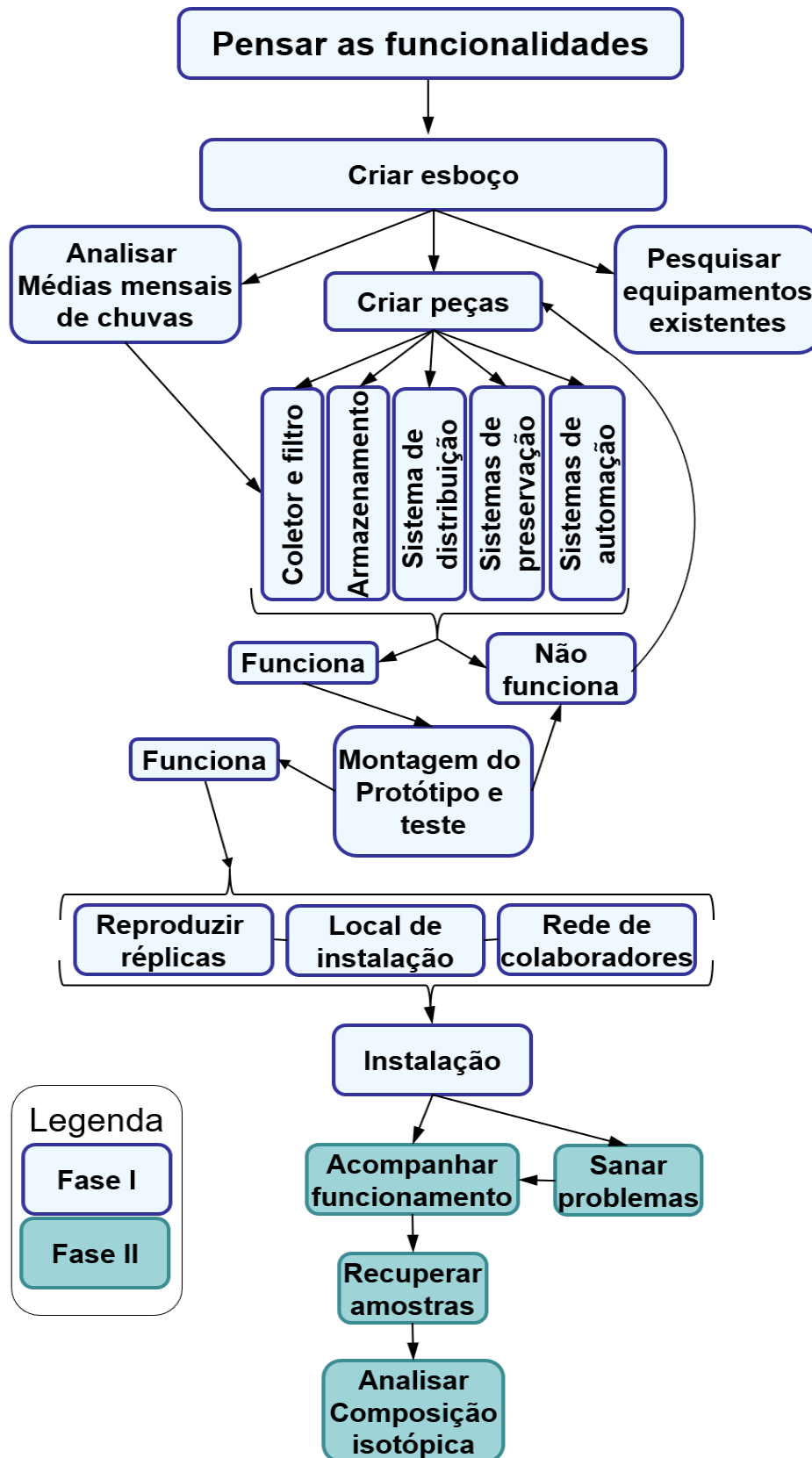
	<p>relacionar com a grandeza a ser mediada como temperatura, umidade, pressão, etc.</p> <p>Os sensores que fornecem sinais elétricos podem ser analógicos, que podem assumir qualquer valor no sinal de saída, ou digitais que assumem apenas dois valores, geralmente zero e um.</p>	
Placa fotovoltaica	<p>Uma fonte de energia elétrica composta por sistema fotovoltaico se dá pela transformação da radiação solar em energia elétrica através das células fotovoltaicas.</p>	<p>https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-o-painel-solar-fotovoltaico.html</p>
Controlador de Carga PWM	<p>O controlador de carga possui algoritmos que controlam a tensão de saída da placa solar de acordo com a fase de carregamento das baterias, entregando por volta de 13 a 15V para as baterias.</p>	<p>https://www.mpptsolar.com/pt/controlador-de-carga-solar-qual-escolher.html</p>
Bateria	<p>A bateria converte energia química em energia elétrica quando está se descarregando e o inverso acontece no seu carregamento. É uma fonte de energia elétrica ideal para aplicações que não possuem acesso à rede elétrica.</p>	<p>https://www.manualdaqumica.com/fisico-quimica/baterias.htm</p>

Fonte: própria do autor.

5. MATERIAL E MÉTODOS

Tem-se como desígnio principal deste trabalho, o desenvolvimento do equipamento, preservando os princípios de construção de baixo custo, com menor peso bruto possível e desenvolvimento de técnicas de produção simples e automação com uso de *software* livre. Estão descritas abaixo, as fases conforme foram surgindo ideias e testes. Quando o objetivo de cada parte era alcançado, este se torna o resultado descrito em cada subitem do Capítulo 6 – Resultados.

Figura 6. Fluxograma contendo os passos para criação, desenvolvimento instalação e acompanhamento dos pluviômetros



O trabalho é dividido em duas partes, uma teórica e outra operacional. Na primeira etapa, são feitas pesquisas relacionadas à precipitação na região a ser instalados os pluviômetros, a fim de dimensionar o tubo de coleta de água, para que mesmo em diferentes regimes climáticos a coleta máxima de precipitação não seja superior a 1 litro de água e equacionar a relação entre os mililitros de água coletada e o volume da precipitação. Já o projeto operacional é responsável pelo planejamento e modificações estruturais do pluviômetro.

Manteve-se a utilização de PVC (*Polyvinyl Chloride*), para construção de peças estruturais, tendo em vista a disponibilidade e facilidade de aquisição no mercado. Com o propósito de instalação dos equipamentos em áreas remotas da Amazônia, Andes e do Chaco, a utilização de materiais leves e de baixo custo, beneficia a logística, bem como garante um baixo custo de frete.

Por fim, destaca-se que o desenvolvimento do equipamento se dá concomitantemente ao surgimento de novas ideias, a elaboração de mecanismos, ao pensar das funcionalidades desejadas e tudo mais que compreende este fazer, a metodologia, de certa forma, é simultânea aos resultados tocantes a cada parte concluída, no entanto, não há um critério para o melhoramento material do pluviômetro, visto que o avanço de cada parte/componente dá sustento a modificação ou a criação de uma nova peça.

5.1. Estrutura

O equipamento possui estrutura externa construída com cano de PVC com Ø250mm dividido em parte de armazenagem e parte de coleta e distribuição de água, com altura total de aproximadamente 2 (dois) metros, fixada ao solo por meio de 4 hastes de cabo de aço de aproximadamente Ø3mm. Na parte interna, são acomodados 12 frascos (12 meses), com capacidade de armazenamento de 1 (um) litro de água, inseridas em suportes produzidos com cano de PVC de Ø100mm e fixados em um cano central.

Com base no esboço do equipamento, se produziu desenhos técnicos no *Autocad Inventor*, visando a possibilidade de fabricação de algumas peças através de impressão 3D.

5.2. Distribuição mensal da água coletada

A água é captada a partir do coletor principal, posicionado na parte superior do pluviômetro, é conduzida aos coletores secundários por meio de uma mangueira flexível, fixada – na extremidade inferior – a um disco móvel, que gira sobre os coletores secundários, distribuindo mensalmente a água. Os 12, de um total de 13 coletores secundários, são conectados a cada um dos 12 frascos de armazenamento, sendo que o 13° coletor é utilizado apenas para descartar a água captada a partir do 12° mês de operação do equipamento.

No que tange a distribuição da água, o sistema automático é responsável por efetuar o giro do disco de distribuição sobre o disco inferior onde está fixado os coletores secundários. Utiliza-se um motor de passo, acionado por um driver específico, comandado pela placa Arduíno. O motor de passo, com uma engrenagem, é fixado na lateral interna do cano da estrutura e atua em conjunto com uma cremalheira fixada no disco de distribuição e com este mecanismo, o acionamento do motor de passo induz o giro do disco, posicionando precisamente a mangueira do coletor principal com o coletor secundário.

5.3. Preservação da amostra

A principal preocupação deste invento situa-se nos mecanismos de preservação das amostras, devido ao fato de ser, a atividade-fim do equipamento quando em funcionamento. Diante desta preocupação, diversos dispositivos foram testados e o produto final, que mostrou maior eficiência, é composto por três mecanismos em que dois atuam na redução da área de exposição da água, fazendo com que a evaporação da água seja diminuída.

Considerando que o frasco utilizado para armazenamento da amostra coletada tem um diâmetro interno de aproximadamente 80mm (5026mm²) - Equação 1 - e a mangueira, que conecta o coletor secundário e o frasco, tenha o diâmetro interno de 10mm (78,54mm²) - Equação 2 – elaborou-se o primeiro utensílio para manter uma quantidade mínima de água dentro da mangueira.

$$\text{Frasco} = \text{Área} = \pi \cdot r^2 = 3,14 \cdot 40 = 5026,55\text{mm}^2 \text{ - Equação 1}$$

$$\text{Mangueira} = \text{Área} = \pi \cdot r^2 = 3,14 \cdot 5 = 78,54\text{mm}^2 \text{ - Equação 2}$$

O segundo mecanismo atua na vedação do sistema de entrada de água a partir dos coletores secundários e suspiro, através da inserção de uma esfera de aço. Os

mecanismos de preservação podem ser conferidos no subcapítulo 6.3 dos Resultados Preliminares.

Observadas as orientações do Manual GNIP (2014), considerou-se a utilização de frascos apropriados para produtos químicos, que mantém a amostra inviolável. Neste sentido, optou-se por utilizar frascos produzidos em Polietileno de Alta Densidade (PEAD) na cor branco, material atóxico e próprios para produtos agroquímicos e fármacos.

5.4. Dados de precipitação

Foram utilizados dados mensais da precipitação da Universidade de *Delaware*, que compila observações globais de climatologia histórica em uma grade com resolução de 0,5° de latitude e longitude usando a interpolação espacial. E usa a normal climática para quando não há dados observados, tendo assim dados confiáveis da precipitação para todos os continentes (Matsuura e Willmot, 2012).

Os dados foram escolhidos nos locais onde os pluviômetros serão instalados, sendo eles as cidades: Uruguaiana/Brasil (25°45'S, 57°5'O), Corrientes/Argentina (27°28'S, 58°48'O), Assunción/Paraguai (25°15'S, 57°34'O), Santa Rosa del Aguaray/Paraguai (23°49'01S,56°31'54O), Jardim/MS/Brasil (21°29'50S,56°09'41O) e Corumbá/MS/Brasil (19°S, 57°39'O).

A série temporal (1900-2010) da precipitação que representa a variabilidade de cada cidade foi analisada a partir do cálculo das médias mensais e das anomalias mensais, que são obtidas pela subtração da média mensal das amostras que compões a serie temporal.

5.5. Precipitação nas áreas de instalação dos protótipos

A Figura 7 mostra a localização dos pluviômetros automáticos instalados para teste, distribuídos no eixo Sul-Norte com aproximadamente 2° de latitude de distanciamento entre os equipamentos. Além disso, é possível observar nos gráficos as variações das anomalias da precipitação (gráficos da direita) e as médias mensais (gráficos da esquerda) no período entre 1900-2010, que auxiliam no dimensionamento do tubo de coleta de água de cada equipamento.

A cidade de Corumbá, localizada entre a fronteira do Mato Grosso do Sul/BR e a Bolívia (Figura 7), apresenta estação chuvosa crescente a partir do mês de outubro, até março, com máxima precipitação de 162 mm no mês de janeiro, e com

a estação seca entre os meses de junho a agosto, com precipitação mensal mínima de 20 mm. Além disso, os gráficos mostram que nos anos de El Niño, com predomínio de anomalia pluviométrica positivas entre os meses de novembro a março, chegando a atingir uma anomalia de 200 mm em 1979-80. Adicionalmente, existem períodos de secas anômalas entre maio e setembro que estão associadas a ocorrência de La Niña, como no ano de 1933-34, com anomalia negativa chegando a -100 mm.

Na cidade de Jardim no Mato Grosso de Sul/BR (Figura 7), onde a precipitação pode atingir máxima de 180 mm no mês janeiro, e mínima de 50 mm em agosto, há evidência de uma sazonalidade da precipitação, com verões chuvosos e invernos secos. A variabilidade climática em escala temporal superior a sazonal é caracterizada pelo predomínio de anomalias positivas nos meses de dezembro a fevereiro, marcantes nos anos de El Niño, mas diferente de Corumbá, visto que as anomalias da precipitação não passam de 198 mm, e nos anos de La Niña, chegam a -98 mm.

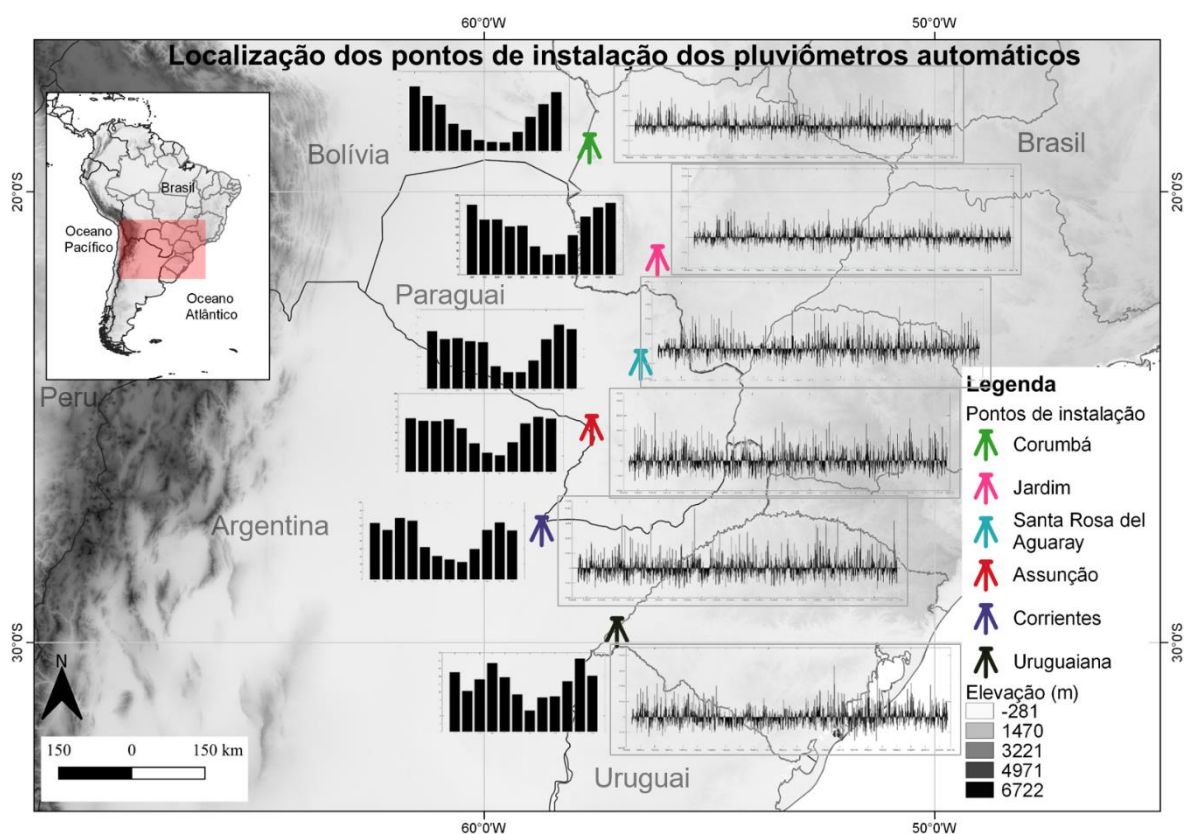
Em Santa Rosa de Aguaray, cidade localizada no Paraguai (Figura 7), observa-se uma estação chuvosa a partir do mês de outubro, com máxima de 161 mm em novembro, e uma estação seca entre os meses de junho a setembro, com mínima de 45 mm em agosto. Nos anos de El Niño foi registrado anomalias da precipitação de 220 mm entre os meses de janeiro a março nos anos de 1992 e 1983. Em períodos de La Niña as secas anômalas podem atingir -140 mm como, por exemplo a ocorrência nos anos entre 1942-1943.

Outra cidade do Paraguai, a cidade de Assunción (Figura 7), registra uma estação chuvosa entre os meses de novembro a abril, atingindo volumes médios de 140 mm entre dezembro e março e a estação seca entre junho e setembro com mínima de 45 mm em agosto. Nos anos de El Niño observa-se um maior número de anomalias positivas chegando a 300 mm, e durante os de La Niña, períodos de secas com -140 mm.

Na cidade de Corrientes, na Argentina (Figura 7), observa-se uma estação chuvosa entre os meses de outubro a abril, com máxima de 160 mm em março e a estação seca entre junho e setembro com mínima de 45mm em agosto. Nessa região, tem-se em anos de El Niño as maiores anomalias positivas entre as seis cidades, chegando a registrar precipitações anômalas de 410 mm entre os meses de novembro a março, e as secas mais intensas durante os anos de La Niña, com anomalia de - 140 mm.

Em Uruguai, no estado brasileiro do Rio Grande do Sul, observa-se entre os meses de Novembro a Maio a estação chuvosa, atingindo em Novembro um valor médio da precipitação de 185mm, e entre Junho a Setembro um período de seca, com precipitações de 55mm. Nos anos de El Niño predominam anomalias positivas, podendo atingir 380 mm e durante os eventos de La Niña é mais comum as secas, chegando a registrar anomalias de -130mm.

Figura 7. Mapa de localização dos pluviômetros com a média mensal e anomalia de precipitação.



Fonte: Mapa do autor com dados adaptados de Moreira, A. L.

Além dos ciclos sazonais e interanuais controlados pela radiação solar e pelo ENOS, respectivamente, é possível observar que os períodos com secas intensas e prolongadas estão associados às fases frias da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e com a ocorrência mais frequente dos eventos La Niña. Os períodos com predomínio das anomalias positivas da precipitação estão associados a ocorrência simultânea da fase positiva da ODP e a intensificação e maior frequência de ocorrência do El Niño (KAYANO e ANDREOLI, 2009).

5.6. Rede de colaboradores

A rede de colaboradores foi composta por profissionais que atuam no serviço público, e foram selecionados por indicações de pessoas conhecidas do Prof. Éder Leandro Bayer Maier ou por meio de ligações para as instituições onde os colaboradores trabalham. Em outras palavras, amigos enviaram os contatos dos colaboradores ou realizamos uma prospecção de colaboradores via *e-mail* ou telefone dos órgãos públicos.

As cidades foram selecionadas de acordo com sua localização e distância entre elas, com aproximadamente 2 graus de latitude entre as Cidades, que é de aproximadamente 220 km, em um perfil longitudinal situado no caminho atmosférico de transporte da umidade da Amazônia para o sul do Brasil. Os locais de instalação foram definidos pelas possibilidades de colaboração e da implementação da resolução espacial proposta no projeto, resultando na instalação de 6 pluviômetros automáticos.

Na Tabela 3 estão descritos os colaboradores, as instituições, o local e as coordenadas onde os equipamentos estão instalados. Destaca-se que o colaborador José Luiz Fontana é servidor da *Universidad Nacional del Nordeste (UNNE)* (Argentina) e foi responsável por encontrar um local apropriado para a instalação junto ao *Instituto de Tecnología Agropecuária (INTA)* (Argentina), bem como o Colaborador Ivan Bergier, servidor da Embrapa Pantanal, cedeu em sua residência um local para instalação. Na Marinha do Brasil, o local cedido é uma área pertencente a Delegacia Fluvial de Uruguaiana. Os demais colaboradores indicaram locais para instalação junto às instituições a que servem, cita-se: Derlis Medina no *Instituto Nacional de Tecnología, Normalizacion Y Metrología (INTN)* (Paraguai), Juan Manuel Vázquez Ramírez na *Facultad Ciencias de la Producción (UNCA)* (Paraguai) e a Prof^a Msc Joyce Avila de Oliveira no Instituto Federal do Mato Grosso do Sul (IFMS).

Tabela 2. Relação de colaboradores/instituição e pontos de instalação dos pluviômetros.

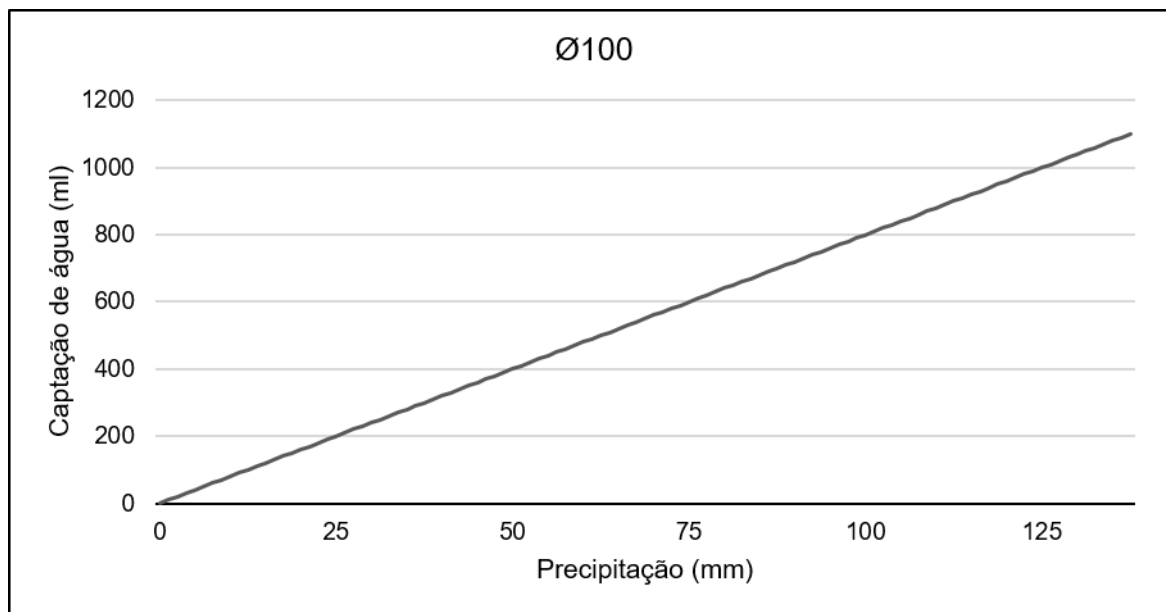
Colaborador	Instituição/local de instalação	Cidade, Estado/Província, País	Coordenadas
José Cléber Pitaméia dos Santos	Marinha do Brasil	Uruguaiana, RS, Brasil	-29.753502, -57.095560

José Luis Fontana	INTA	Capital, Corrientes, Argentina	-27.672639, -58.760997
Derlis Medina	INTN	Assunção, Paraguai	-25.253770, -57.584295
Juan Manuel Vázquez Ramírez	UNCA	Santa Rosa de Aguaray, São Pedro, Paraguai	-23.817102, -56.531880
Joyce Avila de Oliveira	IFMS	Jardim, Mato Grosso do Sul, Brasil	-21.497310, -56.161405
Ivan Bergier Tavares de Lima	Residência particular	Corumbá, Mato Grosso do Sul, Brasil	-19.005855, -57.648511

6. RESULTADOS

A primeira parte deste trabalho refere-se ao dimensionamento do diâmetro de entrada de água no coletor principal, considerando que o período de coleta é um mês e o volume total máximo coletado não pode ultrapassar 1 litro de água, a fim de evitar o extravasamento da água no frasco e a consequente perda de parte da amostra de chuva. Neste sentido foi elaborado um gráfico (Figura 8), onde no eixo horizontal (X) mostra a quantidade de precipitação em milímetros (mm) e no vertical (Y) a quantidade de água captada em litros (ml). Adicionalmente, a reta representa a relação entre o volume precipitado e a captação de água usando um cano de 100mm como coletor.

Figura 8. Gráfico da relação entre o volume precipitado e a captação de água usando um cano de coleta de 100 mm.



Essa relação possibilita dimensionar o diâmetro do cano para a captação de água em diferentes regimes pluviométricos. Além disso, será possível mensurar a quantidade precipitada em cada mês a partir do volume coletado, usando a relação entre as duas variáveis mostradas na reta de regressão linear.

6.1. Estrutura

A estrutura do pluviômetro é composta por cano de PVC de $\varnothing 250\text{mm}$ e altura de 1500mm. A altura total, divide-se em 1000mm para o setor de armazenagem dos frascos e 500mm para o setor de automação, desconsiderando o tubo de coleta principal. As Figuras 9 e 10 mostradas na sequência, mostram a estrutura geral com indicativo de peças e uma vista expandida do equipamento, respectivamente.

Figura 9. Representação da estrutura geral do pluviômetro automático.

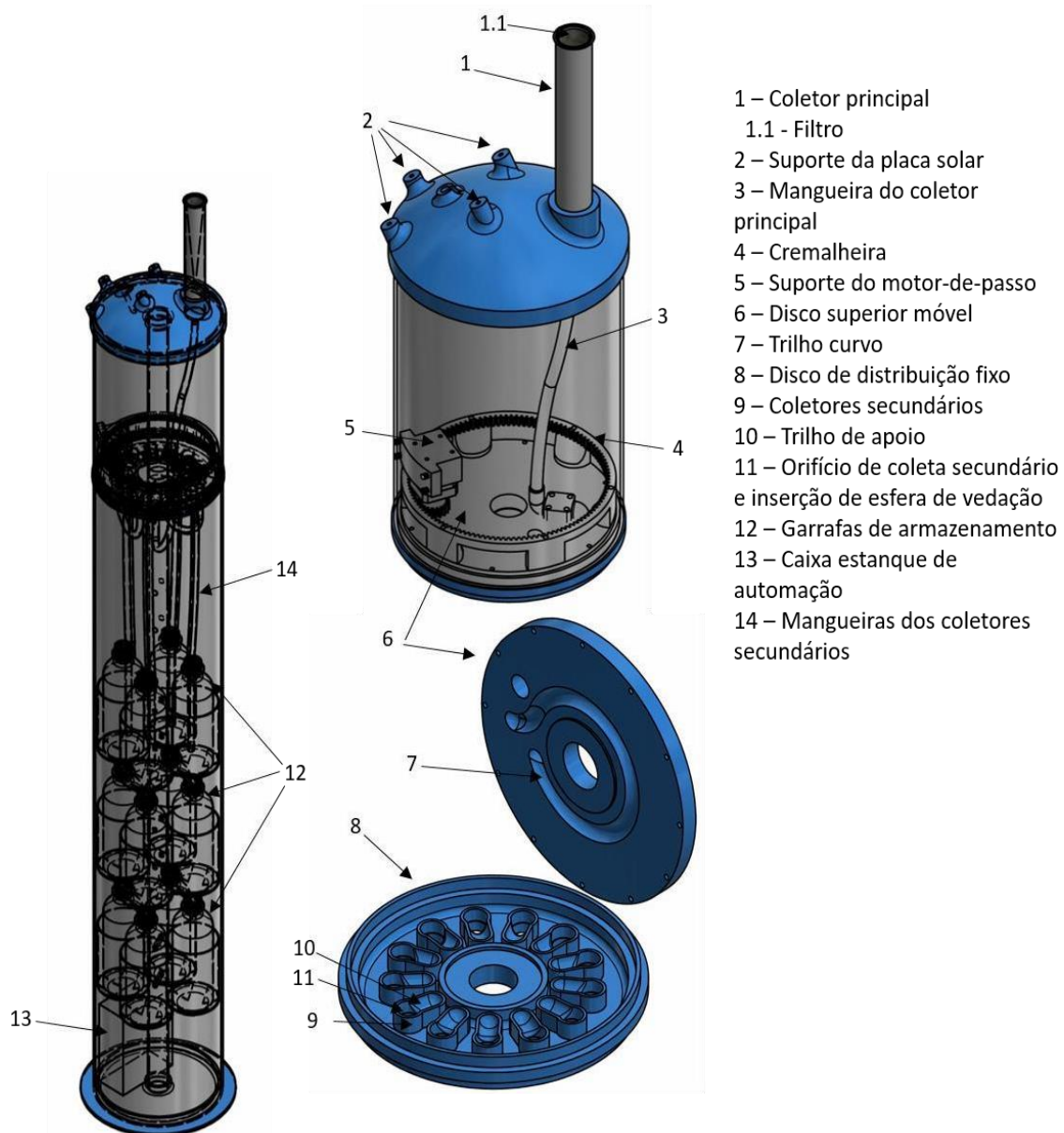
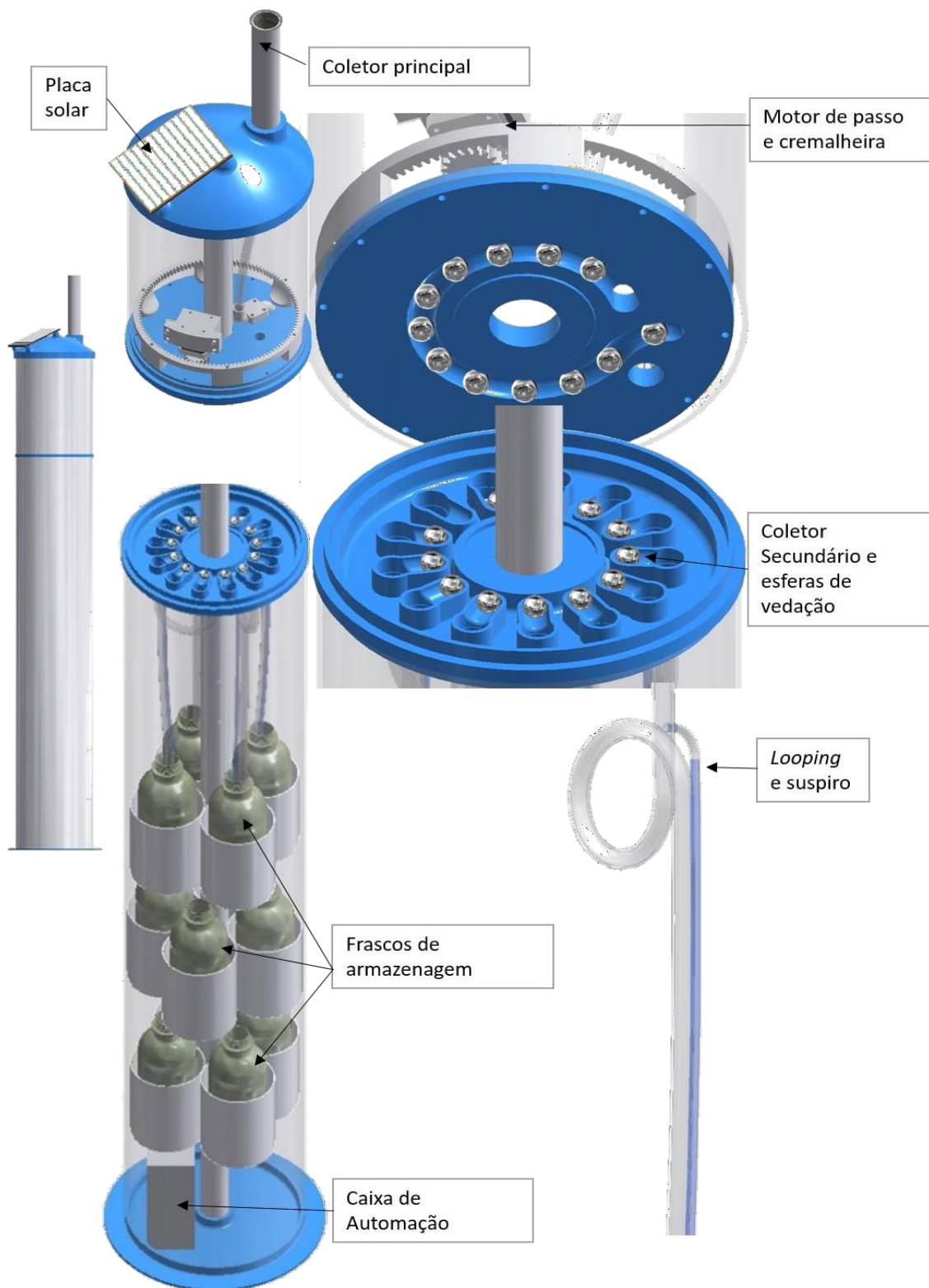


Figura 10. Representação expandida do pluviômetro automático.



6.2. Coleta e distribuição mensal da água

A água coletada é distribuída para cada um dos 12 frascos acondicionados na parte inferior da estrutura por meio de um sistema de distribuição, conforme descrito a seguir:

- Coletor principal (Figura 9, item1): Posicionado sobre a tampa do pluviômetro, o coletor foi produzido em cano de PVC cujo diâmetro é dimensionado de acordo com o regime pluviométrico da região onde será instalado. Possui altura aproximada de 300mm a fim de que possa conter um filtro cônico (Figura 11), produzido com tela de alumínio com furos/malha de aproximadamente 2mm. A altura do filtro possui a mesma altura do coletor e se justifica pela necessidade de armazenar uma grande quantidade (12 meses) de impurezas como folhas e outros materiais que poderiam obstruir a passagem de água.

Figura 11. Filtro em tela de alumínio.

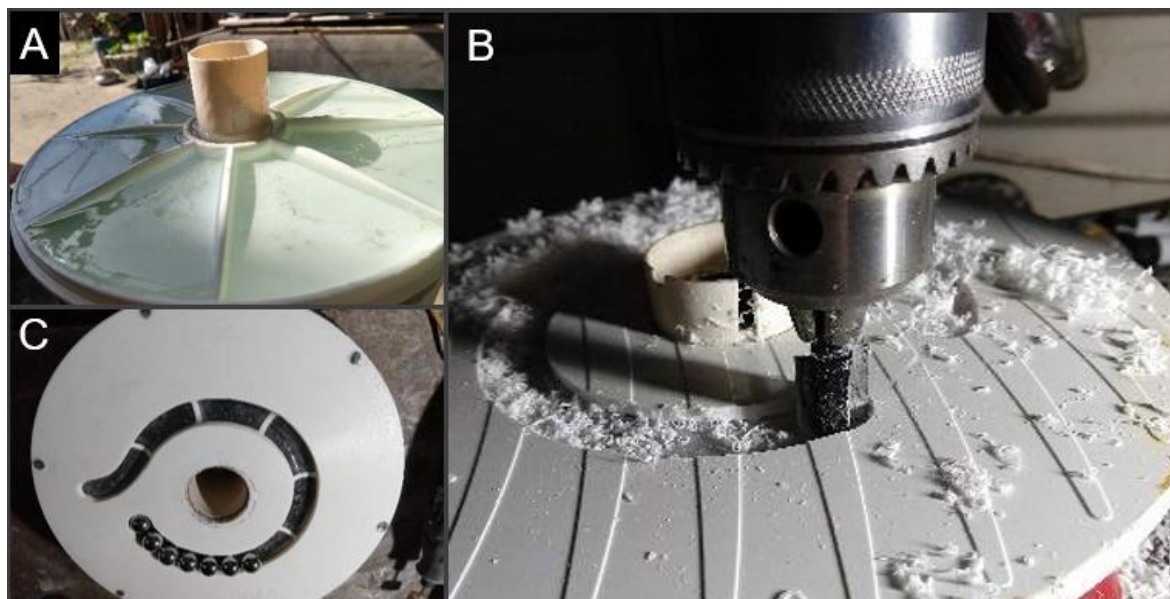


A água captada e ligeiramente filtrada no coletor principal, é conduzida até o disco de distribuição através de uma mangueira de silicone atóxica. A mangueira deve ser suficientemente maleável a fim de oferecer o mínimo de resistência ao disco de distribuição que possui a tarefa de deslizar sobre o disco inferior (Fig 9, item 8).

- Disco de distribuição (Figura 12): Este disco é produzido a partir de uma tampa de PVC rígido, com Ø240mm e engrossada com resina poliéster (Figura 12A) e possui uma conexão, feita por mangueira, com o coletor principal. Este disco tem por

finalidade efetuar o giro sobre o disco inferior, fazendo com que a mangueira fique precisamente alinhada com o coletor secundário.

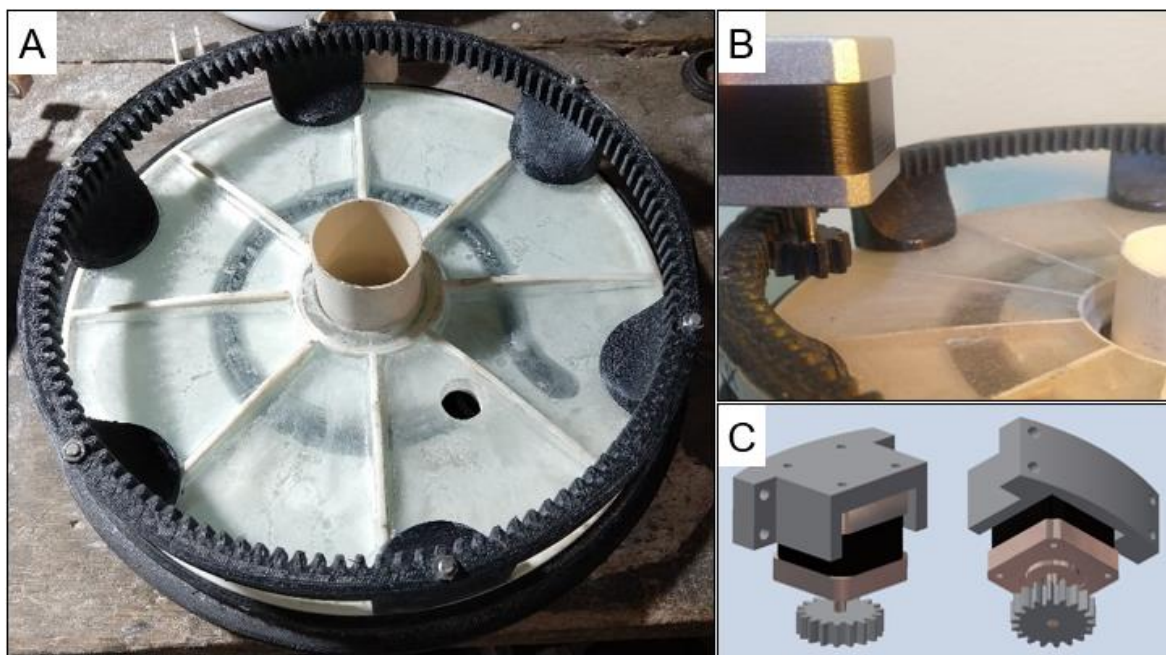
Figura 12. Mostra do processo de concepção do disco de distribuição.



O disco de distribuição apresenta na sua parte inferior, um trilho curvo (Figura 12C) para movimentação das esferas, fazendo com que elas permaneçam devidamente posicionadas sobre o trilho de apoio do coletor secundário e sejam liberadas somente quando estiver devidamente posicionada ao final do trilho do disco superior onde se encontra a curva de liberação da esfera, descrito no subcapítulo 6.3 - Sistema de preservação das Amostras. O mecanismo que executa o giro do disco de distribuição é formado por uma placa Arduino, um motor de passo, e um sistema de energia, que estão mais bem detalhados no subcapítulo 4.4 - Sistema de Automação.

A parte mecânica desse giro consiste no acionamento do motor de passo pela placa Arduino pré-programada para que o disco efetue um giro de $27,7^\circ$, posicionando assim, o direcionador para o coletor secundário seguinte. Para que o disco de distribuição seja movimentado, uma cremalheira foi produzida e fixada no disco de distribuição (Figura 13A) e o motor de passo é fixado à parede do pluviômetro na parte interna, por meio de um suporte conforme Figura 13B e 13C. Destaca-se que a cremalheira e o suporte do motor de passo foram produzidos a partir de impressão 3D.

Figura 13. Conjunto do disco de distribuição, cremalheira e motor de passo.



- Disco inferior: Este foi produzido a partir de impressão 3D (Figura 14), tem $\text{Ø}250\text{mm}$ e nele estão fixados os coletores secundários (Figura 9, item 9), e as canaletas de apoio (Figura 9, item 10) para esferas de vedação dos frascos além de conter roletes de nylon que auxiliam o deslizamento do disco de distribuição.

Figura 14. Disco inferior com coletores secundários.



- Coletores secundários: O disco inferior apresenta 13 orifícios de $\text{Ø}20\text{mm}$ distribuídos equidistantes e em forma de círculo onde em cada um, na parte inferior do disco, é fixado um prensa-cabos de $\text{Ø}1/2''$ de PVC (Figura 15), por onde é fixada a

mangueira de conexão (Figura 9, item 14) que conecta 12 coletores aos frascos e 1 coletor que descarta a água a partir do 12º mês de coleta.

Figura 15. Parte inferior do coletor secundário (prensa cabo) com mostra do anel de vedação e esfera.



- As mangueiras de conexão variam o comprimento de acordo com a posição de cada frasco acondicionado nos suportes, ou seja, para os frascos acondicionados na base (1º nível) a mangueira possui aproximadamente 70cm, para os frascos acondicionados no 2º nível, 50cm e para os frascos superiores (3º nível) 30cm. Para alívio de pressão dentro do frasco, a mangueira acompanha um suspiro (Figura 16) que é conectado na parte inferior do coletor secundário. As mangueiras ainda apresentam um “looping” que será descrito a seguir no subcapítulo 6.3 – Sistema de preservação das amostras.

Figura 16. Mangueira de conexão e suspiro.

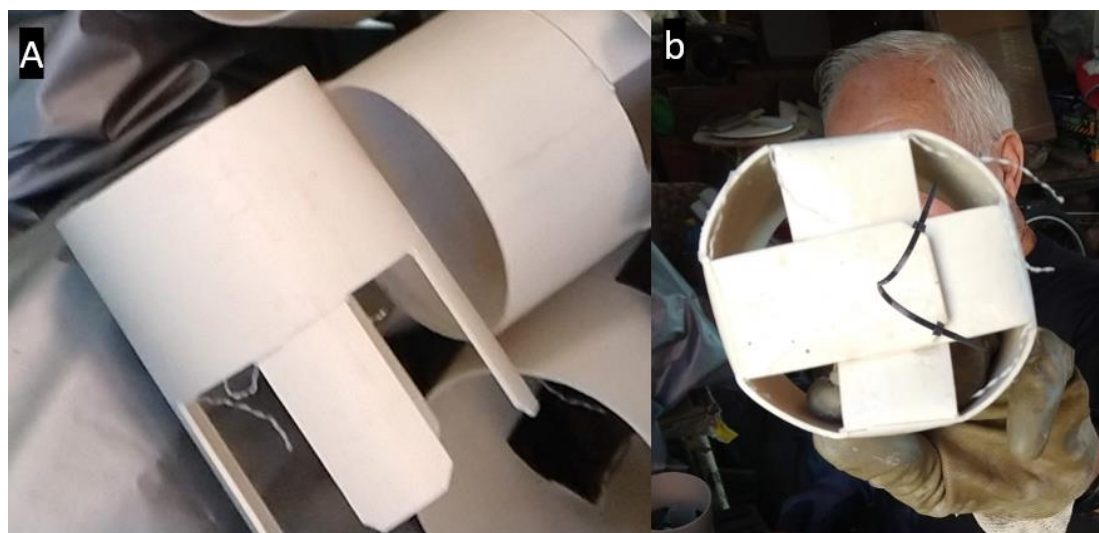


Para unir a mangueira de conexão ao coletor secundário, foi utilizado um tubo de inox, que permite que seja ajustado pelo prensa-cabos e mesmo em diferentes temperaturas não se desprenda. Neste mesmo tubo foi inserido a conexão do suspiro do frasco, que é produzido a partir de um tubo de inox de Ø8mm. A partir da conexão, um tubo plástico é conduzido paralelamente com a mangueira de conexão até o frasco. Destaca-se que o suspiro foi alocado nesta posição, abaixo a entrada principal do coletor secundário, devido a necessidade de total vedação do sistema após o período de coleta (1 mês).

- Armazenamento de água: A água coletada no período de um mês, é depositada em um frasco com capacidade de 1000ml, produzido em Polietileno de Alta Densidade (PEAD), conforme recomendações GNIP. A união da mangueira de conexão e do suspiro são feitos a partir de furos devidamente dimensionados na tampa do frasco e vedados com cola de silicone. Os frascos são alocados na parte inferior do pluviômetro, definido como setor de armazenagem, em suportes produzidos a partir de cano de PVC de Ø100mm.

Para dar sustentação aos frascos, uma parte do tubo de Ø100mm é cortado conforme demonstra a Figura 17A, e dobrado e fixado com presilhas de nylon (Figura 17b).

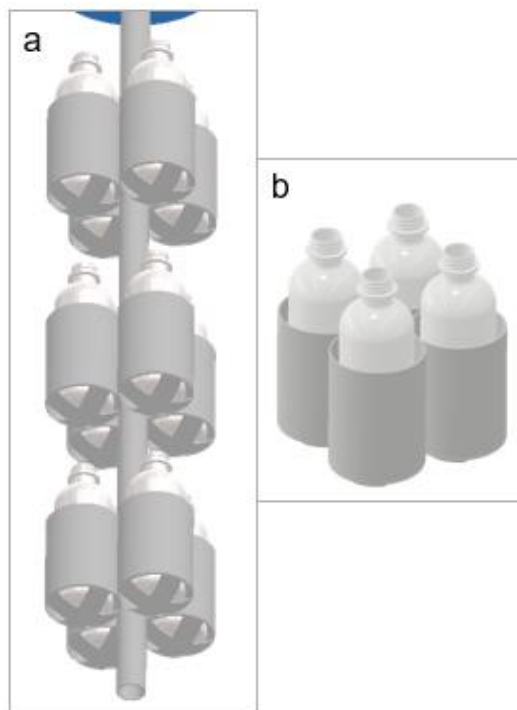
Figura 17. Suporte dos frascos. A) Corte feito em uma extremidade do cano para possibilitar a dobra. B) Fundo do suporte dobrado e fixado com laçre de nylon.



A organização dos suportes com os frascos no setor de armazenagem, ocorre como demonstrado na Figura 18a e 18b, sendo distribuídos em três níveis, onde cada nível contém quatro frascos/suportes. A fixação no cano central é feita por meio de

parafusos que atravessam o cano central de PVC de Ø40mm e prendem os dois suportes.

Figura 18. Disposição dos suportes e frascos. A) Frascos e suportes nos 3 níveis. B) Organização de frascos em cada nível.



6.3. Sistema de preservação das amostras

O primeiro mecanismo para preservação da amostra consiste na diminuição da água do frasco, baseado na análise empírica sobre a área de exposição da água, descrita e exemplificada na metodologia deste trabalho. O resultado foi a criação de um “*looping*” que após a primeira coleta de água precipitada no mês, aprisiona cerca de 10ml na mangueira. Esta água na mangueira tem duas tarefas importantes, sendo que a primeira é a diminuição da área de exposição da água e conseqüentemente a evaporação. A segunda tarefa é fazer com que a evaporação de dentro do frasco condense ao entrar em contato com essa água aprisionada na mangueira.

O segundo item de preservação é inserir a mangueira que sai do coletor secundário até o fundo do frasco de coleta, assim, após a coleta da primeira fração de água, a área de possível evaporação se restringe a área do diâmetro interno da mangueira. Esta técnica tem uma funcionalidade semelhante ao do *looping*, pois atua principalmente na diminuição da área de evaporação, com isto, a evaporação é duplamente restringida.

A Figura 19 abaixo, ilustra como o tubo do suspiro situa-se dentro do tubo de conexão entre o looping e o coletor secundário. A ponta que está inserida dentro do tubo de conexão, deve estar inclinada no mesmo sentido de passagem da água, evitando assim que a água entre pelo suspiro.

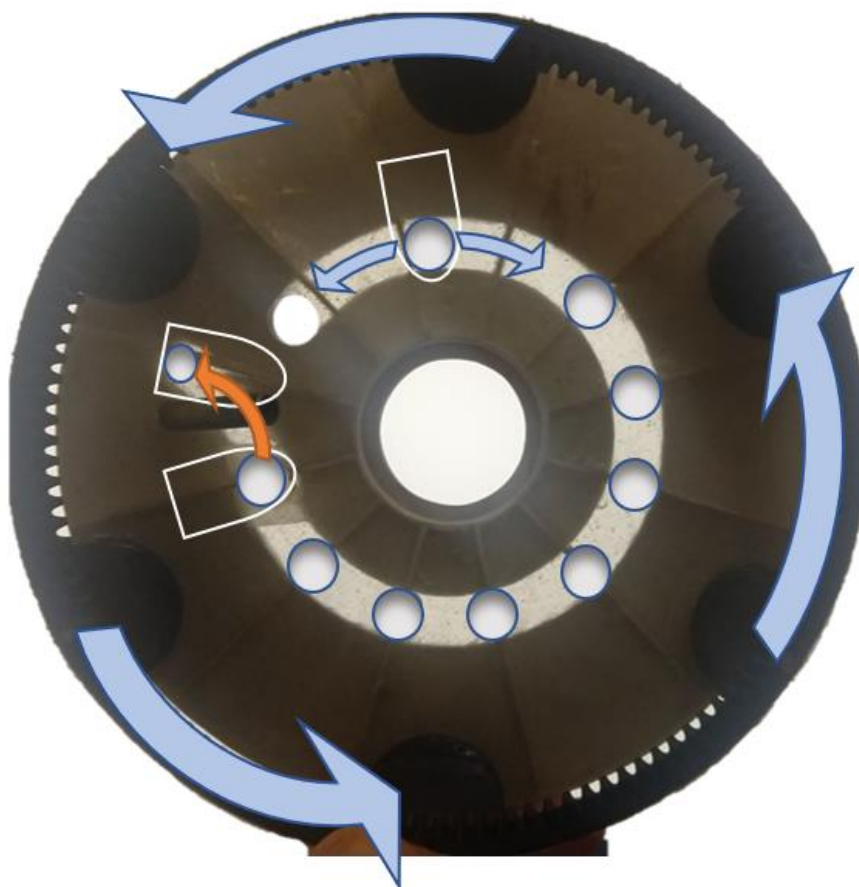
Figura 19. Disposição do suspiro no tubo de conexão.



Para aprimorar o sistema de preservação, foi criado um terceiro mecanismo de vedação, que consiste na inserção de uma esfera de aço no orifício de entrada de água do coletor secundário. Para inserção das esferas foram implantados trilhos de apoio (Figura 9, item 10) no disco inferior e um trilho curvo (Figura 9, item 7), na parte inferior do disco superior, que direciona as esferas a cada rotação do disco.

A Figura 20 abaixo, exemplifica o mecanismo de condução da esfera para vedação do coletor secundário. As esferas dispostas no trilho do coletor secundário têm seu movimento restrito, exceto em direção ao orifício do coletor, com o movimento do disco de distribuição. Com o movimento rotundo do disco de distribuição, o prolongamento do trilho do disco superior obriga a esfera movimentar-se no sentido do orifício do coletor, sendo lançada pela gravidade no conduto do coletor e alojando-se sobre um anel de vedação. Que aliado ao peso da esfera evita a saída do vapor de água.

Figura 20. Ilustração da restrição e movimento das esferas.



Na parte interna do conduto foi inserido um anel de vedação, de borracha, para aumentar o atrito com a esfera, com isso, após a coleta mensal da precipitação, o sistema é totalmente vedado. Fazem parte da mesma peça: O conduto de entrada de água e da esfera onde encontra-se inserido o anel de vedação (Figura 21), o coletor secundário, e a parte onde é feita a fixação das mangueiras de conexão com os frascos.

Figura 21. Conduto do coletor secundário e anel de vedação.

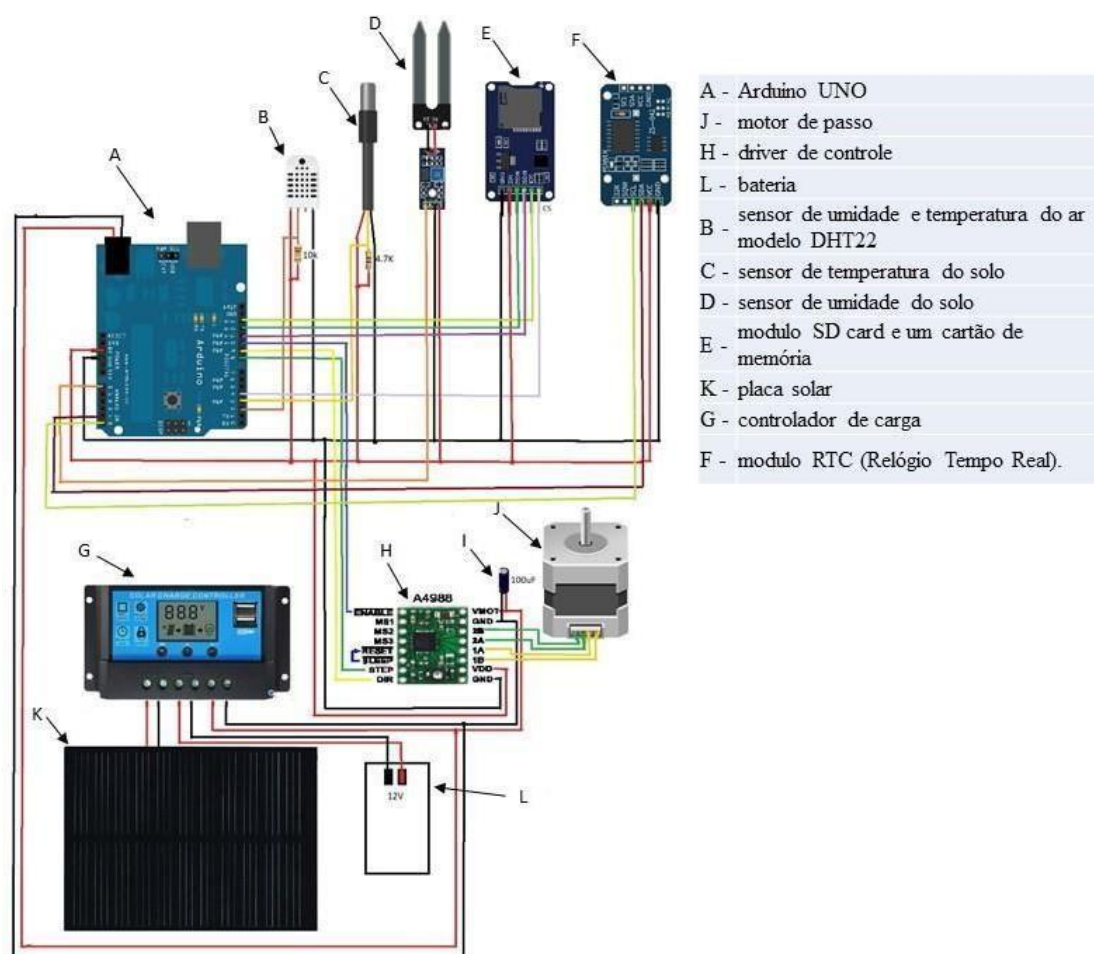


A esfera no conduto do coletor atua a partir do momento que se encerra o ciclo de coleta do mês, fazendo assim o fechamento do sistema de coleta e de suspiro do frasco. Destaca-se que o suspiro do frasco é inserido no tubo abaixo do coletor secundário, para que a esfera possa atuar na contenção de eventual evaporação que possa ocorrer através do referido suspiro.

6.4. Sistema de automação

O sistema de automação é responsável pelo funcionamento autônomo do equipamento durante o período de 12 meses e foi projetado para efetuar a distribuição das coletas por meio de giro do disco superior e também para coletar informações atmosféricas como temperatura e umidade do ar e do solo. No entanto, os sensores foram suprimidos devido ao conflito gerado entre o driver do motor de passo e alguns sensores. A Figura 22 apresenta o esquema no qual foram elaboradas as bibliotecas e originou o desenvolvimento da placa de circuito impresso, que teve apenas a substituição do Arduino Uno pelo Arduino Nano conforme mostrado na Figura 24.

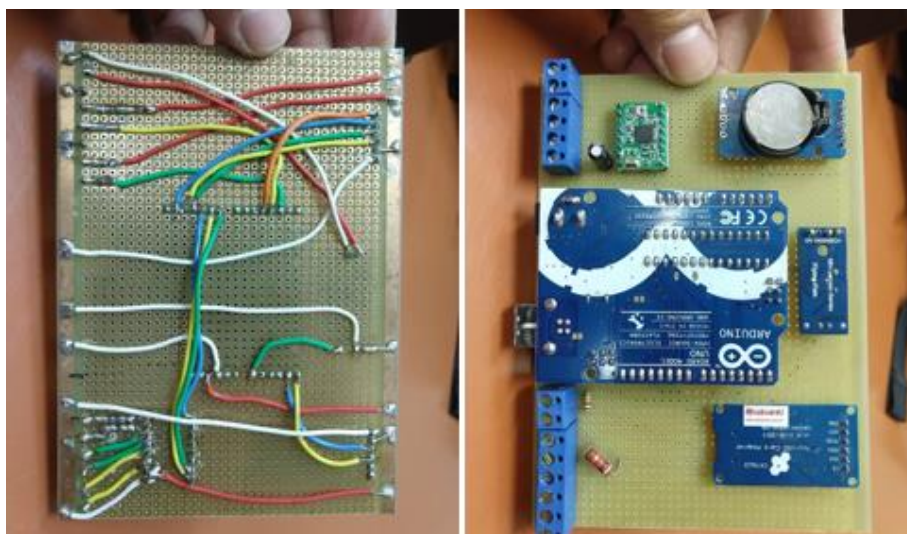
Figura 22. Esquema dos componentes de automação.



O sistema de automação foi objeto de inúmeros testes e ajustes desde o período inicial do estudo até o presente. Inicialmente o desejo de coletar maior quantidade de dados meteorológicos gerou grande demanda de estudos e integração de conhecimentos. Neste sentido, o aluno do curso de engenharia de automação, cito Uriel de Oliveira Alves, somou esforços na concepção do pluviômetro no que tange a automação.

A escolha pelos componentes mais apropriados se deu a partir de prototipagem de sensores, motores e demais complementos. Destaca-se que de acordo como evoluíam a construção das peças, alguns mecanismos referentes a automação também tinham de ser substituídos. As Figuras 23 e 24 abaixo demonstram uma pequena evolução nas placas de circuito na qual a primeira era utilizada fios soldados a fim de conectar os componentes e na última, a placa de circuito é produzida a partir de uma placa cobreada que tem os caminhos elétricos definidos a partir do processo de abrasão química.

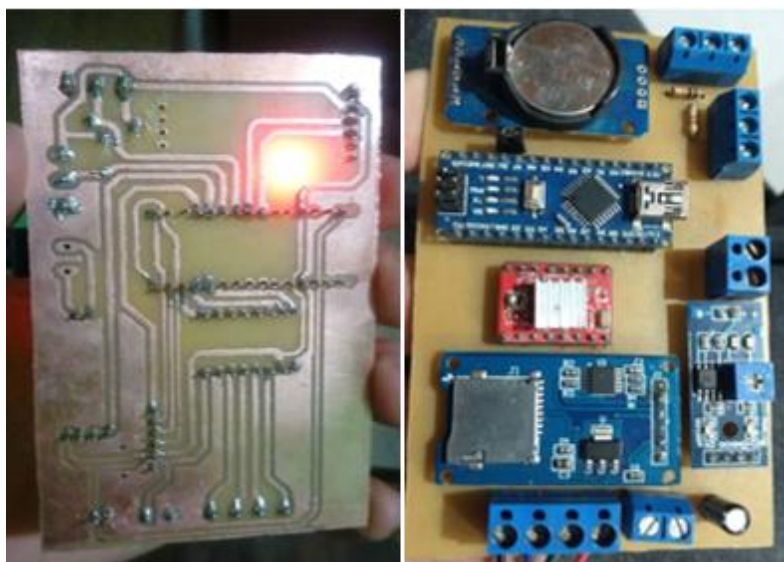
Figura 23. Protótipo da placa com placa perfurada e Arduino Uno.



As duas placas Arduino utilizadas possuem as mesmas características elétricas, sendo diferenciadas apenas pelo tamanho. O Arduino Uno (Figura 23) foi utilizado nos primeiros testes devido as facilidades de conexão dos cabos, enquanto que nas placas de circuito impresso se optou pela utilização do Arduino Nano (Figura 24), devido seu tamanho reduzido, o que permite um melhor aproveitamento dos espaços dedicados ao sistema de automação do pluviômetro.

Para efetuar o giro do disco de distribuição é utilizado um motor de passo Nema 17 com aproximadamente 4Kgf.cm. O dimensionamento da potência do motor de passo se deu através de testes práticos no próprio equipamento, no qual foi efetuado giros do disco sem a utilização de roldanas que auxiliam no deslizamento, simulando assim que um possível travamento das roldanas não comprometeria o giro do disco.

Figura 24. Protótipo da placa a partir de abrasão e Arduino Nano.



Para garantir melhor qualidade e reduzir falhas ocasionadas por mau-contato ou descontinuidade de corrente no circuito, as placas de circuito foram produzidas por empresa especializada que também fez a soldagem dos componentes.

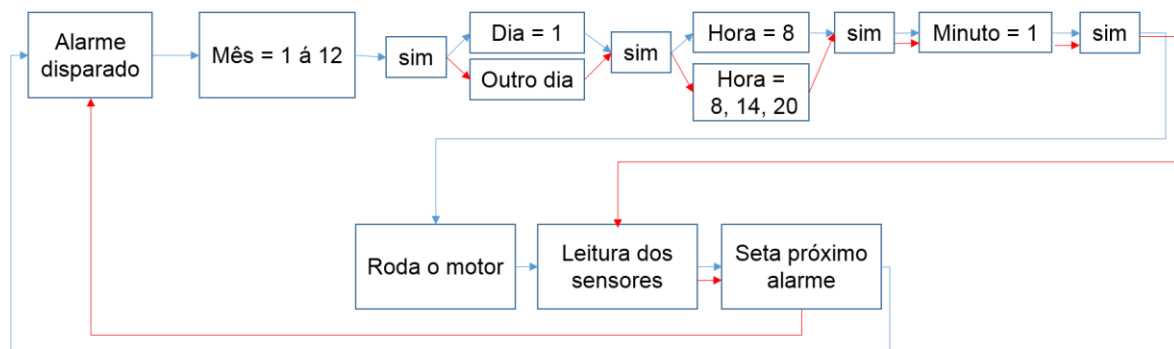
Figura 25. Placa de circuito industrializada.



Como fonte de energia para suprimento de carga na bateria, optou-se por utilizar energia elétrica, tendo em vista que os locais pré-definidos para instalação disponibilizariam este recurso. Assim, utilizamos uma fonte carregadora com função *no-break* que atua como controlador de carga da bateria, completando-a sempre que a bateria sofre alguma descarga e interrompendo o fornecimento de energia sempre que a mesma atinge seu limite de carga.

A programação das placas de controle do pluviômetro ocorre pelo Ambiente de Desenvolvimento Integrado (Arduino IDE), que além de permitir o desenvolvimento do software, é através da IDE que se envia a programação à placa e se interage com a mesma. A seguir, a Figura 26 demonstra de maneira sintetizada a forma como o Arduino é programado para executar a leitura dos sensores e o giro do motor de passo.

Figura 26. Fluxograma ilustrativo sobre a programação da placa de controle do pluviômetro.



A configuração da placa de controle é feita de forma que o equipamento colete dados meteorológicos três vezes por dia, e execute o comando de acionar o motor de passo para que o mesmo comande o giro do disco de distribuição em $27,7^\circ$ uma vez por mês. Assim, o fluxograma da Figura 26 ilustra que: Ao disparar o alarme, o Arduino verifica a data e se “sim” para mês = de 1 à 12, verifica o dia e se “sim” para o dia = 1, verifica a hora e se “sim” para hora = 1, verifica o minuto e se “sim” para minuto = 1 executa os comandos de “rodar motor de passo”, “fazer leitura dos sensores” e “setar próximo alarme”. Logo, se ao verificar a leitura do dia e o resultado for dia \neq 1, o comando de girar motor de passo é desativado. O Arduino segue a verificação da hora e se for hora = 8, 14, 20, a placa executa apenas os comandos de “fazer leitura dos sensores” e “setar próximo alarme”.

6.5. Avaliação do sistema de preservação das amostras

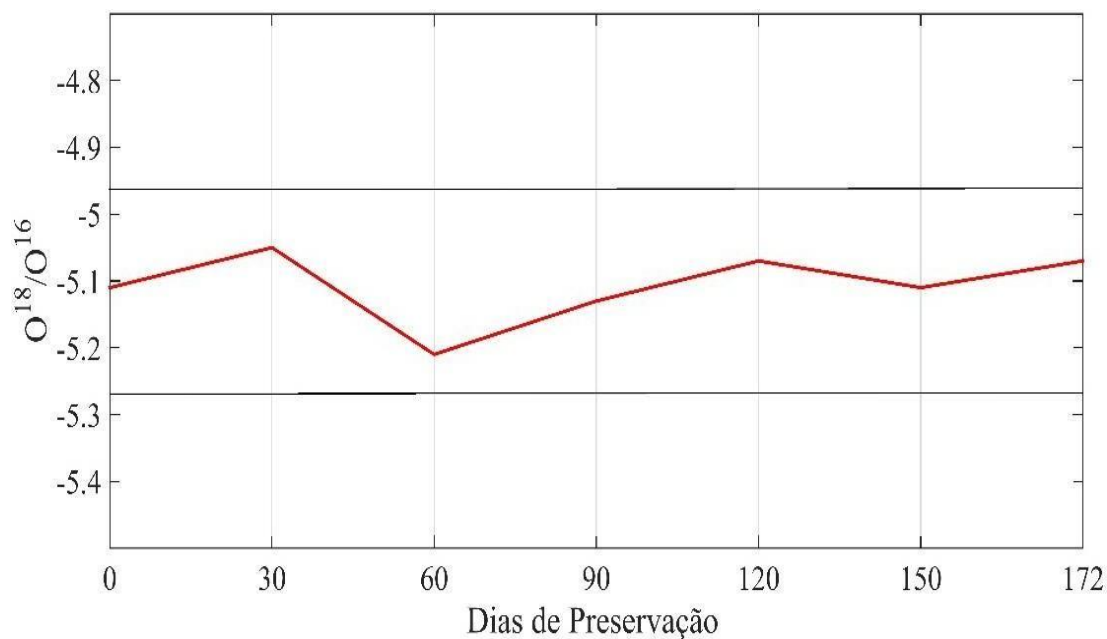
No dia 15 de março de 2017 foram coletados 4 litros de água da chuva. Essa água foi utilizada como amostra controle e para análise da capacidade de preservação das amostras no protótipo de pluviômetro. A amostra controle foi preservada em frasco vedado e resfriado. A análise da capacidade de preservação das amostras foi operacionalizada com as seguintes ações: A) abastecimento de 1 frasco (1 litro) do pluviômetro com a amostra controle; B) ao longo de 6 meses (coleta mensal) foram retirados 20 ml de água do frasco de preservação da mostra e C) a amostra controle e as coletas mensais foram analisadas em um espectrômetro de massa marca Pigarro, pelo servidor Ronaldo Torma Bernardo (UFRGS).

Os resultados da composição isotópica da água da chuva mostraram que o sistema de preservação das amostras é eficiente, visto que a permanência durante 172 dias não alterou a assinatura isotópica da água. As variações na razão isotópica do oxigênio dezoito ($\delta^{18}\text{O}$) (Figura 27) são inferiores a precisão do equipamento de mensuração, em outras palavras, o dado da razão isotópica pode conter um erro de 0,3 ‰ para o $\delta^{18}\text{O}$.

Adicionalmente, se ocorresse evaporação da água, a razão isotópica seria maior, visto que ocorre maior evaporação do isótopo leve (^{16}O), concentrando o isótopo pesado (^{18}O). Por isso, acredita-se que as variações, especialmente da diminuição da razão isotópica, estão aos limites de precisão da técnica de mensuração dos isótopos estáveis. Cabe ressaltar, que o limiar de 0,3 ‰ da imprecisão é pequeno, quando comparado ao empobrecimento isotópico de um processo de evaporação-precipitação, que é de aproximadamente 3‰.

Na Figura 27 é possível observar as variações do $\delta^{18}\text{O}$ da amostra preservada por 6 meses no pluviômetro automático. Observa-se que as seis coletas mensais, ao de 172 dias (no eixo horizontal) apresentaram variações inferiores a 0,3‰ (linha vermelha) do $\delta^{18}\text{O}$.

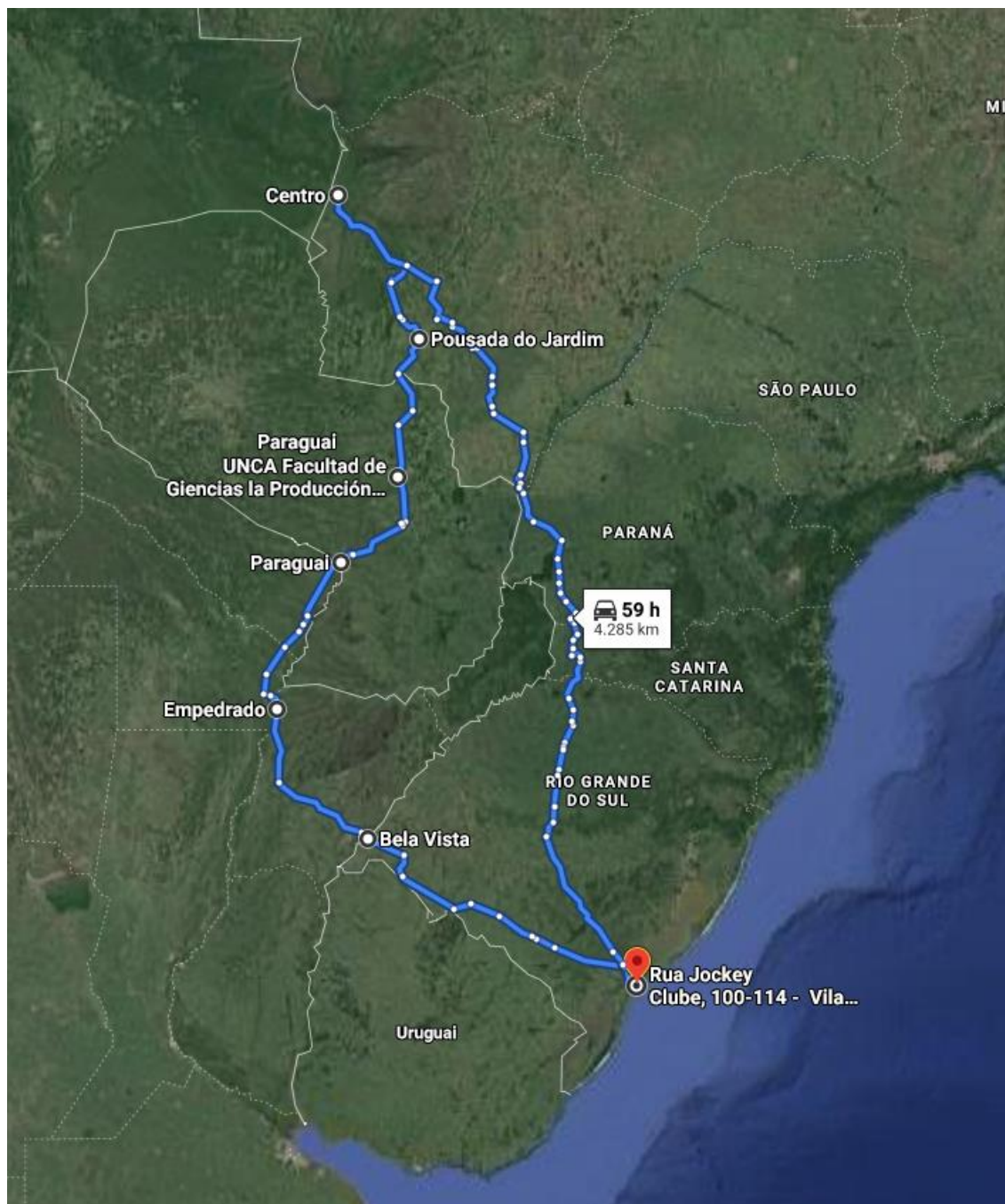
Figura 27. Razão isotópica do oxigênio dezoito ($\delta^{18}\text{O}$) de uma amostra preservada por 172 dias no pluviômetro automático desenvolvido na FURG. As coletas foram mensais (6 meses).



6.6. Instalação dos Equipamentos:

No período entre 12 e 20 de março de 2019, foram instalados 6 pluviômetros em um perfil latitudinal entre Uruguaiana _ RS e Corumbá - MS, partindo de Rio Grande - RS, cidade sede da FURG (Figura 28). Destaca-se, que a viagem foi feita em carro particular da categoria sedã médio, onde os equipamentos ocuparam todo o porta malas e os espaços do banco de trás do veículo, desde o assoalho até o teto.

Figura 28. Simulação do trecho percorrido durante a instalação dos 6 protótipos.



Saímos da Cidade de Rio Grande, RS no dia 12/05/2019 e na noite do mesmo dia chegamos a cidade de Uruguaiana onde fomos recebidos na delegacia da Marinha do Brasil daquele município onde nos foi oferecido estrutura para passarmos a noite. No dia seguinte (13/05/2019) fomos recebidos pelo Sargento Pitaméia que nos acompanhou até um terreno pertencente a Marinha do Brasil no qual foi o local de instalação do primeiro equipamento.

Na manhã do dia 11, o primeiro equipamento foi instalado nas coordenadas -29.753502, -57.095560. Após instalação, seguimos para a aduana de Passo de Los libres para dar entrada no território Argentino.

Figura 29. Equipamento instalado em Uruguaiana, RS, Brasil.



Na Argentina, seguimos até a cidade de Corrientes, onde pernoitamos. Na manhã do dia 14 fomos recebidos pelo professor Jose que nos conduziu até o Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária (INTA) onde fomos recebidos pelo engenheiro Ditmar Kurtz, que nos acompanhou até o local onde instalamos o segundo equipamento nas coordenadas -27.672639, -58.760997.

A instalação do equipamento contou com a colaboração de funcionários do INTA, que providenciaram os cabos e postes para extensão de energia elétrica até o local de instalação do pluviômetro, assim como, fizeram um cercamento para evitar que animais pudessem provocar danos ao equipamento.

Figura 30. Equipamento instalado em Corrientes, El Sombrerito, Argentina.



Após a instalação, seguimos até a cidade argentina de Clorinda, onde passamos uma noite e um dia, para fazer câmbio de dinheiro, migração de entrada no Paraguai no dia 15/05/2019, sendo que essa data é um feriado nacional no Paraguai. Adicionalmente, esse dia de feriado foi aproveitado para fazer ajustes da carga, pré montagem dos equipamentos que seriam instalados no futuro e descansar, visto que foi uma jornada exaustiva de trabalho e deslocamento e dirigir longas distâncias cansado e com sono pode adicionar risco de acidente.

Na manhã do dia 16 fomos recebidos pelo Sr Derlis Medina na sede do *Instituto Nacional del Metrologia e Normalizacion (INTN)*, onde foi instalado o terceiro equipamento nas coordenadas -25.253770, -57.584295.

Figura 31. Equipamento instalado em Assunción, Paraguai.



Após a instalação na sede do INTN seguimos para Santa Rosa de Aguaray, onde fomos recebidos pelo professor Juan Manuel Vázquez Ramírez e demais professores e funcionários da *Faculdade de Ciencias de la Producción (UNCA)*, de Santa Rosa de Aguaray. O equipamento foi instalado nas coordenadas -23.817102, -56.531881 e após a instalação, que adentrou as primeiras horas da noite, seguimos em direção ao Brasil, onde passamos por uma fronteira deserta e isolada entre Bela Vista do Norte, PY e Bela Vista, BR em torno das 2 horas da manhã, com chegada no hotel em Jardim após as 3h do dia 17/05/2019.

Figura 32. Equipamento instalado em Santa Rosa de Aguaray, São Pedro, Paraguai.



Na cidade de Jardim, MS, no período da tarde do dia 17/05 fomos recebidos pela professora Joyce Oliveira no Instituto Federal do Mato Grosso do Sul, (IFMS) onde se fez a instalação do quinto equipamento nas coordenadas -21.497310, -56.161405.

Figura 33. Equipamento instalado em jardim, Mato Grosso do Sul, Brasil.



Por consequência do final de semana, e tendo em vista que o próximo equipamento seria instalado somente na segunda feira, 20/05, passamos outra noite

na cidade de jardim. E no dia 18/05, seguimos até a cidade de Bonito, MS onde passamos a noite do dia 18/05. No dia 19 seguimos para a cidade de Corumbá, MS onde passamos a noite e na manhã do dia 20/05/2020 fomos recebidos pelo Sr. Ivan Bergier, em sua residência, onde nos foi cedido um espaço para instalação do sexto e último equipamento. O equipamento foi instalado nas coordenadas -19.005855, -57.648511.

Figura 34. Equipamento instalado em Corumbá, Mato Grosso do Sul, Brasil.



Após a instalação do equipamento na cidade de Corumbá, que foi concluído às 12:00h do dia 20, retornamos para a cidade de Rio Grande, RS em uma viagem ininterrupta de aproximadamente 2.150km, totalizando aproximadamente 30 horas de percurso no território brasileiro.

Durante todo o período em viagem, contamos com a essencial ajuda de colegas do Laboratório de Climatologia e Cartografia, que a qualquer tempo (24hs por dia) estavam a postos para nos dar informações e fazer reservas de hotel ou pousadas. Destaca-se que as reservas não foram realizadas previamente à viagem, porque havia muitas incertezas acerca do tempo que levaríamos no percurso devido a condições das estradas e rodovias bem como as condições meteorológicas. A dedicação das colegas Aline Moreira, Karla Mendes e Tainã Peres no apoio à distância, foi fundamental na garantia da tranquilidade e melhor aproveitamento das poucas horas de descanso.

Fase II

Após a fabricação e instalação dos 6 protótipos iniciou-se uma nova fase (II), que tinha o compromisso de acompanhar o funcionamento dos pluviômetros, recuperar as amostras, analisar a composição isotópica da água da chuva e sanar problemas dos protótipos relatados pelos colaboradores nos locais de instalação.

Desde os primeiros meses de 2020 até o presente (setembro de 2020) a pandemia pelo covid-19 impossibilitou uma nova viagem para buscar as amostras de água e avaliação da estrutura do pluviômetro de forma presencial. Adicionalmente, o fluxo de carga via os correios está interrompido entre os países sul americanos tornando-se inevitável impactos negativos no desenvolvimento das metas propostas pelo projeto de pesquisa. Ao mesmo tempo, o colaboradores retiraram as amostras para preservação e enviaram informações do estado geral dos pluviômetros, possibilitando criar uma lista de problemas e buscar soluções como, por exemplo: 1) não funcionamento dos componentes eletroeletrônicos de automação; 2) oxidação de peças metálicas; 3) extravasamento da água nos frascos de armazenamento; 4) possível contaminação das amostras. Além disso, percebeu-se a necessidade de 5) desenvolver uma fonte de energia solar e 6) diminuir o tamanho do equipamento.

O primeiro problema relatado pelos colaboradores foi o não funcionamento dos componentes eletroeletrônicos de automação, o qual já era uma preocupação dos inventores. Nesse contexto, no processo de fabricação dos protótipos foi feito um furo de aproximadamente Ø20mm na lateral do equipamento (Figura 35), para que em casos de pane elétrica pudesse tornar o pluviômetro automático em um equipamento manual, bem como, o furo era um local para observar o posicionamento do disco e constatar o funcionamento (ou não) do sistema de automação. Em casos de falha dos componentes eletroeletrônicos, o colaborador poderia forçar o giro do disco com uma chave de fenda ou com a ponta de uma faca.

Figura 35. Mostra do orifício de visualização para verificação e controle do mês de coleta giro manual do disco de distribuição.



O furo era coberto por um plástico transparente que pudesse ser rompido conforme a necessidade de girar o disco. Logo no primeiro mês ocorreram falhas no sistema de automação nos protótipos, e as instruções para girar o disco manualmente foram divulgadas por meio de vídeos. Adicionalmente, a causa do travamento era desconhecida, indicou-se que a energia externa que alimenta o sistema fosse definitivamente cortada e os giros fossem feitos manualmente no primeiro dia de cada mês.

Após instruções de como proceder para efetuar o giro manual, os colaboradores do INTA relataram que o disco encontrava-se travado e solicitaram permissão e instruções para abrir o equipamento na tentativa de solucionar o problema. Foi então observado que as esferas teriam sofrido muita oxidação (Figura 36). Neste sentido, nos novos equipamentos as esferas de aço deverão ser substituídas por esferas de vidro, que além de diminuir o custo, a esfera de vidro atende a necessidade de vedação e se mantém utilizável por um período maior, podendo ser reutilizadas em outros equipamentos.

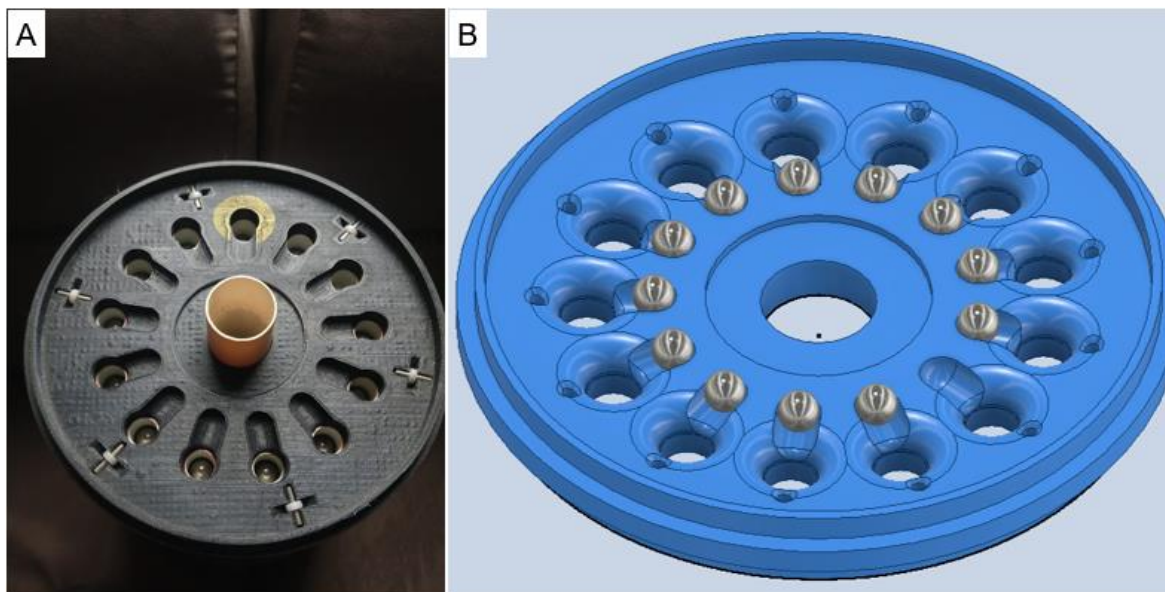
Figura 36. Oxidação da esfera e limpeza efetuada por colaboradores.



Os problemas de extravasamento da água do frasco e contaminação das amostras está associado aos discos de distribuição das amostras, visto que o disco inferior não tinha furos que servem como “ladrão” e as saliências eram pequenas para barrar a passagem da água de um furo para o outro. Por este motivo, foi projetado um novo disco (Figura 37b) onde foi adicionado um furo ladrão, de aproximadamente 5mm, que atua como ponto de fuga do excesso de água quando o frasco de armazenamento está cheio. Além dessa modificação, também foram adicionados chanfros na borda de cada entrada do coletor secundário a fim de aumentar o diâmetro de coleta e minimizar a contaminação das amostras associado ao alinhamento entre o dispenser do coletor principal e o coletor secundário.

Outra possibilidade de evitar o extravasamento da água no frasco de armazenamento é diminuir o diâmetro do coletor principal, o que diminuirá o volume de água coletado.

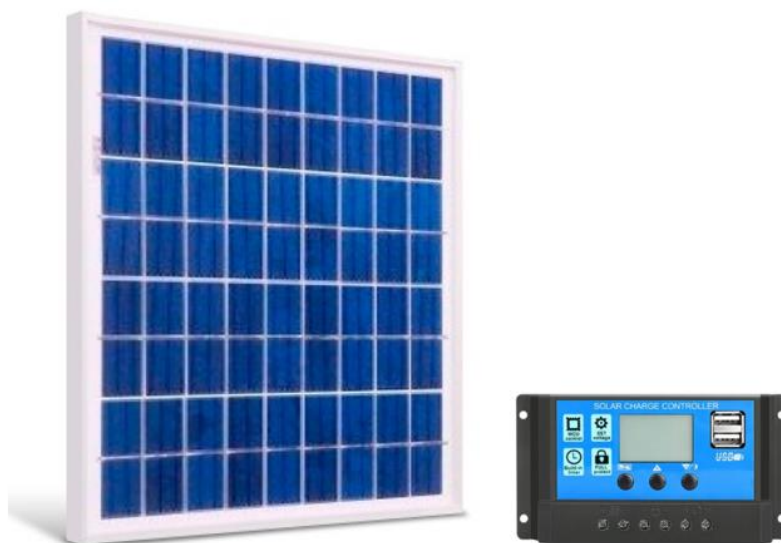
Figura 37. Disco inferior com coletores secundários. A) Disco inferior em uso. B) Projeto de disco inferior com coletores secundários de borda chanfrada e furo ladrão de excesso de água.



Constatou-se que as peças fabricadas a partir de impressão 3D apresentaram boa resistência, porém, esta ainda é uma atividade com custo elevado quando considera-se a produção em escala industrial. Uma alternativa a ser considerada é a produção a partir de usinagem em tarugo de PVC em fresa de controle numérico computadorizado (fresa CNC).

Uma avaliação do sistema de automação pode ser feita no equipamento instalado na cidade de Jardim, no qual a colaboradora Joyce Oliveira procedeu com a desmontagem e envio das peças via correio. Foi constatado a queima de um resistor na fonte de energia. Neste sentido, aquilo que já era previsto no projeto inicial, garante que a utilização de energia solar para suprimento de carga da bateria é primordial nos novos equipamentos, considerado a eficiência e confiabilidade das placas solares e controladores de carga existentes no mercado aliados ao preço acessível desses sistemas para projetos que demandam pouco consumo energético. A Figura 38 refere-se a um sistema já adquirido para testes.

Figura 38. Sistema de energia solar composto por placa solar e controlador de carga.



Ao fazer uma avaliação geral dos equipamentos, se julgou apropriado a reestruturação do sistema de automação onde se mantenham apenas os componentes fundamentais à separação mensal e preservação das amostras, tendo em vista que esta é a principal atividade-fim do equipamento. Já os dados meteorológicos são disponíveis em diferentes escalas de tempo e espaço, enquanto os dados da razão isotópica do ^{18}O são pontuais e limitados.

6.7. Elaboração de material técnico/didático

Para que as amostras e partes do equipamento fossem enviadas para Rio Grande, foi elaborado conteúdo didático com a finalidade de instruir os colaboradores a fazer a desmontagem do equipamento e fazer a retirada de amostras de água e o registro fotográfico, conforme o Anexo I.

6.8. Preservação dos equipamentos.

Para preservar a placa de programação e a fonte de alimentação da bateria, estes foram instalados dentro de uma caixa plástica hermeticamente fechada. Os componentes não sofreram nenhum tipo de oxidação, no entanto, em ambos ocorreu a queima da fonte de alimentação.

Os discos provenientes de impressão 3D não sofreram nenhum dano estrutural durante o período de funcionamento, porém, durante a desmontagem do

equipamento de Jardim, uma parte do disco inferior trincou. E todos os protótipos apresentaram grande oxidação das esferas de vedação dos coletores secundários, as quais serão substituídas por esferas de vidro.

6.9. Custo unitário do pluviômetro totalizador

A estimativa dos valores das peças que compõem os protótipos é uma importante fonte de informações para a fabricação de réplicas do pluviômetro automático, possibilitando a realização de orçamentos mais precisos, a redução de custo e o planejamento para comprar novas peças. O nome, número e valor das peças são apresentadas no Apêndice B.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do pluviômetro automático teve uma evolução progressiva, desde uma ideia hipotética, passando pela construção artesanal do primeiro pluviômetro, até a fabricação e instalação de 6 protótipos. Permanecendo necessários ajustes para a reprodução industrial do pluviômetro automático e maior confiabilidade do sistema de automação. Em uma avaliação do desenvolvimento do projeto, ressalta-se que ela foi positiva, visto que a teoria tornou-se materializada de forma artesanal, utilizando materiais comercializados em ferragens e eletrônicas. Nesse contexto, ressalta-se a necessidade de uma combinação entre a ciência e o desenvolvimento técnico, visto que eles são dependentes porque não há desenvolvimento sem ciência e não há avanços na ciência se não houver novas técnicas.

O desenvolvimento técnico/científico é resultado de várias tentativas, entre erros e acertos, sendo que o texto de descrição do pluviômetro automático relata somente as tentativas que foram úteis. Em outras palavras, não é possível relatar todas ideias e ações que subsidiaram a invenção denominada pluviômetro automático, visto que para cada problemas que tínhamos usávamos diversas soluções, sendo que uma era mais eficiente e permaneciam no projeto e na redação de descrição.

O trabalho de idealização, fabricação artesanal, adaptações, produção e instalação dos protótipos dos pluviômetros automáticos gerou um projeto que coleta,

armazena e preserva a água da chuva de forma automática. Bem como, qualificou uma pequena equipe para continuar a evolução do pluviômetro, que já lançou como desafio a fase II, que visa sanar os problemas do sistema de automação, ajustar o projeto para reproduções em escala industrial e reduzir o tamanho e peso do pluviômetro automático.

Cabe salientar que as metas foram cumpridas, com exceção da análise geoquímica da água da chuva, visto que a pandemia do Covid-19 impossibilitou a segunda viagem para recuperação das amostras de água e avaliação presencial dos pluviômetros. Por fim, a solicitação de patente de proteção intelectual passou para o exame técnico, conforme publicação (RPI n.º 2583, de 07/07/2020).

8. PERSPECTIVAS FUTURAS

Os próximos desafios partem da necessidade de diminuir o tamanho do pluviômetro, visto que 6 protótipos ocuparam todos espaços do porta malas e banco traseiro de um sedan médio e o peso e tamanho tornam mais oneroso o futuro envio de pluviômetros automáticos por transportadora ou correios. Havendo a possibilidade de reduzir o volume dos frascos de armazenamento da água da chuva para 500 ml (redução de 50%) e tornar a parte superior do pluviômetro mais compacta, alterando a configuração dos mecanismos de distribuição e automação.

Consideradas as possibilidades de reprodução dos equipamentos, se pretende melhorar as técnicas de construção a fim de possibilitar a reprodução eficiente e de diminuir o custo de produção e de material, assim, busca-se alternativas de substituição do método de construção de peças através de impressão 3D. No que tange ao sistema de energia, será feita a substituição do atual sistema de alimentação por um sistema de energia fotovoltaica.

Por fim, se pretende desenvolver recursos e projetos com o propósito de criar uma rede de aproximadamente cento e cinquenta (150) pluviômetros por todo território brasileiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRAUT, J. R.; NOBRE, C.; BARBOSA, H. M. J.; OBREGON, G.; MARENGO, J. A. Aerial Rivers and Lakes: Looking at Large-Scale Moisture Transport and Its Relation to Amazonia and to Subtropical Rainfall in South America. **Journal of Climate**, v.25, n.2, p.543-556, 2012.

BALES, R. C.; WOLFF, E. W. Interpreting natural climate signals in ice cores. EOS, Transactions. **American Geophysical Union**, v. 76, n. 47, p. 477–483, 1995.

BOWEN, G. J.; REVENAUGH, J. Interpolating the isotopic composition of modern meteoric precipitation. **Water Resources Research**, v. 39, n. 10, p.1-13, 2003.

CAVALCANTI, I, F, A. FERREIRA, N, J. SILVA, M, G, A, J. DIAS, M, A, F, S (Org.) **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, 463p.

CHRISTOPHERSON, R. W. **Geossistemas** – Uma introdução à geografia física. Trad. Francisco Eliseu Aquino et al. Porto Alegre: Bookman, 7ª edição, 2012, 726p.

CRAIG, H. Isotopic Variations in Meteoric Waters. **Science**, v.133, n.3465, p.1702-1703, 1961.

DALL’OLIO, A.; SALATI, E.; AZEVEDO, C.T.; MATSUI, E. Modelo de fracionamento isotópico da água na bacia amazônica (Primeira aproximação). **Acta Amazônica**, v. 9, n. 4, p. 675–687, 1979.

DANSGAARD, W. The O¹⁸ abundance in fresh water. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.6, n.5, p.241-260, 1954.

DANSGAARD, W. Stable isotopes in precipitation. **Tellus**, v.16, n. 4, p. 436–468, 1964.

ELTAHIR, E. A. B.; BRAS, R. L. Precipitation recycling in the Amazon basin. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.120, n. 518, p.861-880, 1994.

GAN, M, A; RODRIGUES, L, R; RAO, B, V. Monção na América do Sul. In: CAVALCANTI, I, F, A. FERREIRA, N, J. SILVA, M, G, A, J. DIAS, M, A, F, S (Org.) **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p. 297 – 316.

GNIP - THE GLOBAL NETWORK OF ISOTOPES IN PRECIPITATION, 2014. **IAEA/GNIP precipitation sampling guide**. Disponível em: <http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/documents/other/gnip_manual_v2.02_en_hq.pdf> Acesso em: 18 ago. 2019.

HOEFS, J. **Stable Isotope Geochemistry**. 8. ed. Berlin: Springer, 2018. 460p.

KAYANO, M, T; ANDREOLI, V, R. Variabilidade Decenal a Multidecenal. In: CAVALCANTI, I, F, A. FERREIRA, N, J. SILVA, M, G, A, J. DIAS, M, A, F, S (Org.) **Tempo e Clima no Brasil**. Editora Oficina de Textos, São Paulo, 2009, p. 375 – 383.

KENDALL, C.; CALDWELL, E.A. Fundamentals of Isotope Geochemistry. In: KENDALL, C.; McDONNELL, J. J. (Eds.). **Isotope Tracers in Catchment Hydrology**. Amsterdam: Elsevier Science, p. 51-86, 1998.

MAIA, W. C. **Desenvolvimento de geotecnologias para coleta de dados climáticos**. 44f. Trabalho de Conclusão de Curso (Geografia Bacharelado) - Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS, 2017.

MAIER, E. L. B. **Relações espaço-temporais entre dados paleoclimáticos do Nevado Illimani (Bolívia) e a precipitação na América do Sul**. 2014. 126f. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2014.

MARTINELLI, L. A.; OMETTO, J. P. H.; FERRAZ, E. S.; VICTORIA, R. L.; CAMARGO, P. D. de; MOREIRA, M. Z. **Desvendando Questões Ambientais com Isótopos Estáveis**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. v. 1, 144p.

MATSUURA, K.; WILLMOTT, C. J. **Terrestrial precipitation: 1900–2010 gridded monthly time series (versão 3.01)**. Newark – EUA: Center for Climatic Research, Department of Geography, University of Delaware, 2012. Disponível em: <http://climate.geog.udel.edu/~climate/html_pages/Global2011/README.GlobalTsP2011.html>. Acesso em: 01 de abr. 2019.

MOREIRA, A. L.; MAIA, W. C.; MAIER, E. L. B. Análise da variabilidade da precipitação na região sul da baixa do chaco. In: PINHEIRO, L. S.; GORAYEB, A. (Org.). **Geografia Física e as Mudanças Globais**, Fortaleza: UFC, 2019, p. 1-11.

NOBRE, C. A.; OBREGÓN, G. O. MARENGO, J. A.; FU, R.; POVEDA, G. Characteristics of Amazonian Climate: Main Features. In: KELLER, M.; BUSTAMANTE, M.; GASH, J.; SILVA DIAS, P. (Orgs.). **Amazonia and Global Change. Geophysical Monograph Ser**, v. 186. Washington, D.C.: American Geophysical Union Books, 2009b. p.149-162.

OLIVEIRA, G. S. **El Niño**. 2001. CPTEC. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/saiba/Oque_el-nino.shtml>. Acesso em: 25 mar. 2020

PERES, T. C.; MAIER, E. L. B. Análise das relações entre o $\delta^{18}\text{O}$ do testemunho de gelo do Nevado Illimani (Bolívia) com a precipitação da região tropical da América do Sul (1929- 1998). **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. n. 3, p. 820 – 83, 2016. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233720>>. Acesso: 1 out. 2018.

RAMIREZ, E.; HOFFMANN, G.; TAUPIN, J. D.; FRANCOU, B.; RIBSTEIN, P.; CAILLON, N.; FERRON, F. A.; PETIT, J. R.; LANDAIS, A.; SIMÕES, J. C. A new Andean deep ice core from Illimani (6350 m), Bolivia. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 212, n. 3, p. 337–350, 2003.

ROCHA, V. M.; SILVA, P. R. T. da. Reciclagem de Precipitação na Amazônia: Um Estudo Utilizando as Reanálises do Era-Interim (ECMWF). **Revista do Departamento de Geografia**, v. 35, p. 71-82, 2018.

RODRIGUES, G.; B.; FAUTH, G. Isótopos estáveis de carbono e oxigênio em ostracodes do Cretáceo: metodologias, aplicações e desafios. **Terra e didática**, v. 9, p. 34-49, 2013. Disponível em:

<<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/TED/article/view/8416/7687>> . Acesso: 1 abr. 2019.

ROSMAN, K. J. R.; TAYLOR, P. D. P. Isotopic compositions of the elements 1997.

ROZANSKI, K.; ARAGUAS-ARAGUAS, L.; GONFIANTINI, R. Isotopic patterns in modern global precipitation. In: SWART, P. K.; LOHMANN, K. C.; MCKENZIE, J.; SAVIN, S. (Eds.). **Climate Change in Continental Isotopic Records**. Washington: AGU, v. 78, p. 1-36, 1993.

SATYAMURTY, P.; COSTA, C. P. W. da; MANZI, A. O. Moisture source for the Amazon Basin: a study of contrasting years. **Theoretical and Applied Climatology**, v.111, n.1-2, p.195-209, 2013.

SELUCHI, M. E.; SAULO A.C. Baixa do Noroeste Argentino e Baixa do Chaco: Características, diferenças e semelhanças. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.1, p.49-60, 2012.

TERZER, S.; WASSENAR, L. I.; ARAGUAS-ARAGUAS, L.; AGARWAL, P. K. Global isoscapes for $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ in precipitation: improved prediction using regionalized climatic regression models. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.17, p.4713-4728, 2013.

VERA, C.; BAEZ, J.; DOUGLAS, M.; EMANUEL, C. B.; ORSINI, J. A. M.; MEITIN, J.; NICOLINI, M.; NOGUES-PAEGLES, J.; PAEGLE, J.; PENALBA, O.; SALIO, P.; SAULO, C.; SILVA DIAS, M. A. F.; SILVA DIAS, P.; ZIPSER, E. The South American Low Level Jet Experiment. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.87, n.1, p.63-77, 2006.

VIMEUX, F., GALLAIRE, R., BONY, S., HOFFMANN, G. e CHIANG, J.C.H. What are the climate controls on δD in precipitation in the Zongo Valley (Bolivia)? Implications for the Illimani ice core interpretation. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 240, n. 2, p. 205–220, 2005.

WASSENAR, L. I.; VAN WILGENBURG, S. L.; LARSON, K.; HOBSON, K. A. A groundwater isoscape (δD , $\delta^{18}\text{O}$) for Mexico. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 102, n. 3, p. 123-136, 2009.

WEAVER, J.M.C.; TALMA, S.A. Cumulative rainfall collectors – A tool for assessing groundwater recharge. **Water Research Commission**, v.31, n.3, p.283-290, 2005.

WEST, A. G.; FEBRUARY, G. J; BOWEN. Spatial analysis of hydrogen and oxygen stable isotopes (“isoscapes”) in ground water and tap water across South Africa. **Journal of Geochemical Exploration**. v. 145, p. 213-222, 2014.

WHITE, W. M. **Isotope Geochemistry**. Nova York: John Wiley & Sons, 2015, p. 495.

APÊNDICE A – Instruções de amostragem – Pluviômetro automático

Instruções de amostragem - Pluviômetro automático BR102018076833-6

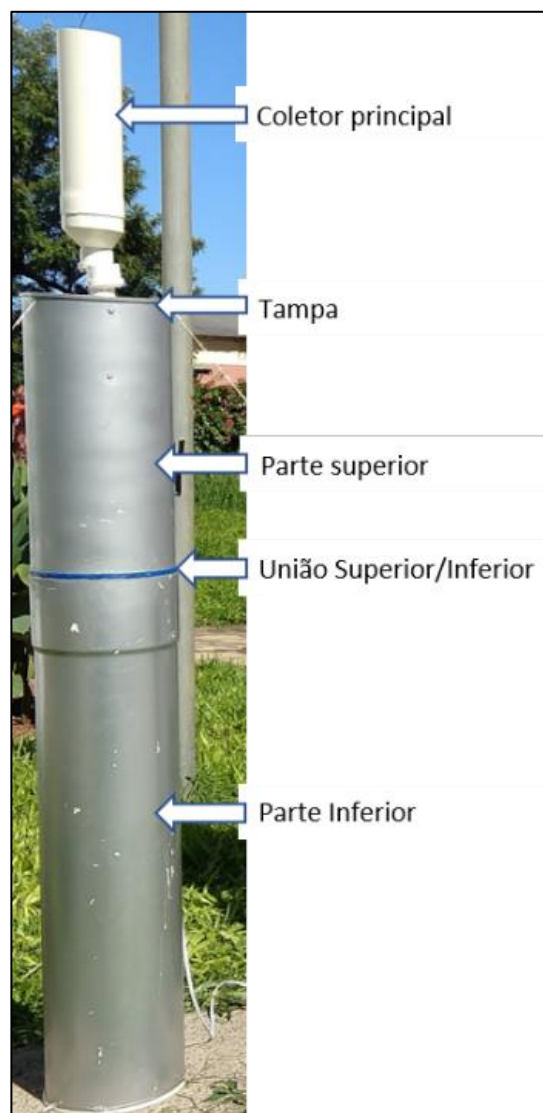
Este documento tem por objetivo auxiliar a desmontagem do pluviômetro e retirar amostras da água, seguindo os cuidados necessários à preservação da amostra.

Primeiramente, informamos que devido as restrições de transporte causadas pela pandemia do COVID-19, possivelmente o envio das amostras sejam feitas por meio de serviços de correios. Neste sentido, consideramos importante que guardem uma pequena amostra da água até que tenhamos recebido a amostra enviada. Esta é uma estratégia para que, caso ocorra o extravio no transporte das amostras, tenhamos ainda uma segunda amostra guardada.

Lembramos que este trabalho faz parte de um projeto acadêmico e, portanto, pedimos que durante a desmontagem sejam feitos registros fotográficos, a fim de que possamos analisar e documentar a conservação do equipamento.

Para abertura do equipamento deve-se seguir os seguintes passos:

1 – Corte de energia: os equipamentos ainda conectados à



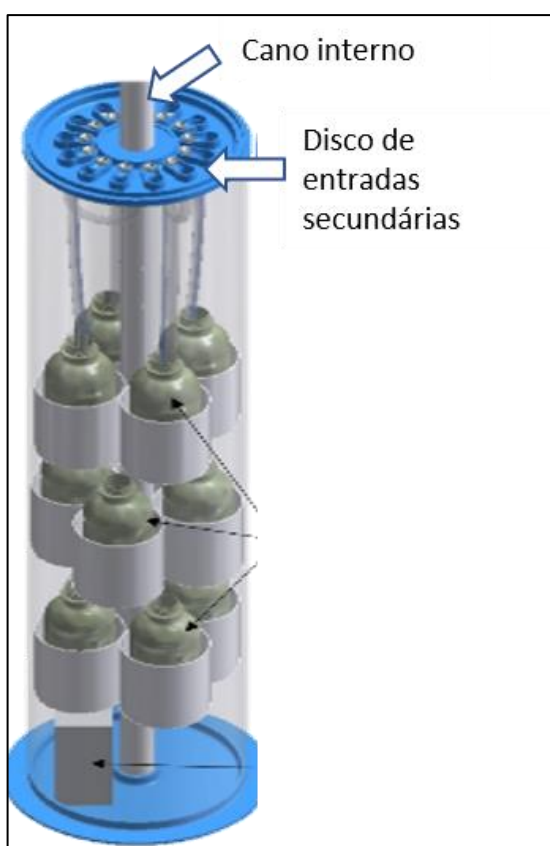
rede elétrica deverão ser desenergizados, tomando os cuidados necessários contra curto-circuito e choques elétricos. Utilizado alicate de corte ou outro equipamento adequado, o cabo pode ser cortado próximo ao pluviômetro;

2 – Soltar os cabos de fixação: para soltar os cabos de aço que fixam o pluviômetro ao solo, pode-se cortar o cabo com um alicate de corte ou

equipamento adequado, ou pode-se desenterrar as estacas espetadas no solo;

3 – Separar a parte superior e inferior: todas uniões do pluviômetro estão coladas com cola de silicone, portanto pode ser necessário o uso de equipamento cortante para auxiliar a desintegração das partes;

3.1 – Ao erguer a parte



superior do pluviômetro, notar-se-á que um dos discos internos está preso a uma mangueira. Ambos devem ser removidos juntos à parte superior.

3.2 – Restará sobre a parte inferior, um disco que contém as 13 entradas secundárias de água

e abrigam as esferas de vedação (provavelmente as esferas estarão oxidadas);

3.3 – O disco com as esferas foi fixado com cola de silicone ao cano externo afim de evitar a entrada de água e insetos, portanto é necessário fazer com que o mesmo se desprenda do cano externo, levantando-o até aproximadamente 1 centímetro (o disco também está fixado aos frascos por meio de mangueiras de silicone, portanto não pode ser erguido mais que 2 centímetros);

4 – Remover os frascos do interior da parte inferior: Os frascos estão apoiados em suportes fixados ao cano interno, portanto é necessário segurar fortemente a parte inferior e, puxando o cano interno, exercer força vertical até que toda estrutura interna contendo os frascos sejam removidas (tomar cuidado para manter os frascos na posição vertical);

5 – Para controle do mês de referência, cada frasco do pluviômetro possui uma numeração que deve ser copiada para o frasco de amostragem de 25ml.

6 – A mangueira de cada frasco é fixada no disco através de

uma pesca rosqueada. Para removê-la basta girar.

7 – Transferindo a água para o frasco menor:

Observações:

a) para os frascos que não possuírem água, apenas relatar.

b) fotografar o looping das mangueiras para que possamos observar a evaporação da água, principalmente nos primeiros meses de coleta.

7.1 – Para tornar a amostra homogênea, é necessário fazer com que a água presente no *looping* da mangueira desça para o frasco grande;

7.2 – Transferir todo o conteúdo do frasco para um medidor, a fim de mensurar a quantidade coletada no mês;

7.3 – Aguardar aproximadamente 15 segundos para que as partículas sólidas mais pesadas decantem no fundo do frasco;

7.4 – Com o auxílio de um funil, separar duas amostras (25ml ou 50ml cada) e enumerar os frascos menores conforme os maiores;

7.5 – Repetir os passos do item 7 para cada um dos frascos do pluviômetro;

8 – Vedar bem os frascos para que não corra risco de vazamento. Caso as tampas não sejam bem justas, utilizar “plástico film” ou outro material que garanta a vedação;

9 – Conservar as amostras sob refrigeração (entre 2° e 10°, NÃO PODE CONGELAR) até que sejam enviadas.

Endereço para correspondências:

Eder Bayer Maier
Rua Alcides Dalla Riva, 648
Bairro - cassino
Rio Grande, Rio Grande do Sul - Brasil
CEP 96208-120

Correio normal com rastreio



APÊNDICE B – Tabela de preços

Lista de preços por equipamento

Item	Unidade de medida	Quantidade por equipamento	Preço total por equipamento
Cano PVC 250mm	Mt	1,5	R\$ 85,25
Cano PVC 100mm	Mt	2,7	R\$ 25,74
Cano PVC 40mm	Un	1,5	R\$ 6,60
Tampa de caixa sifonada 250mm (tigre)	Un	3	R\$ 33,30
Porta tampa de caixa sifonada 250 mm	Un	2	R\$ 19,80
Lacre Nylon 12cm (Embalagem c/100)	Un	30	R\$ 3,12
Prensa cabos PVC 15mm (PG 13.5)	Un	12	R\$ 22,80
Mangueira Silicone 3/8" (com a menor parede)	Mt	0,5	R\$ 6,85
Mangueira transparente/cristal 1/2" parede de 1.5mm	Mt	8	R\$ 12,00
Mangueira 1/2" (+- 13mm) com espiral de aço	Mt	3	R\$ 75,00
Mangueira 1/8" (6mm) colorido	Mt	3	R\$ 5,40
Resina cristal	MI	500	R\$ 16,50
Filamento PLA para imp. 3D	Kg	1	R\$ 139,90
Barra roscada 3/16	Mt	0,5	R\$ 1,90

Porcas para varão 3/16	Un	12	R\$ 1,20
Parafuso latão 1/8" x 40mm	Un	2	R\$ 2,40
Porcas para parafuso 1/8"	Un	4	R\$ 1,00
Frascos 1 litro PEAD	Un	12	R\$ 28,80
Esferas 15mm	Un	12	R\$ 34,80
Oring borracha 16mm	Un	12	R\$ 3,60
Cabo de aço 1/8 (para hastes)	Mt	10	R\$ 10,00
Tubo inox 3/8	Mt	0,7	R\$ 41,30
Redução PVC 100x50mm	Un	1	R\$ 8,09
Bucha de redução 50x20mm	Un	1	R\$ 3,09
Adaptador roscável PVC 20mm	Un	1	R\$ 0,79
Adaptador com bucha de redução 3/4	Un	1	R\$ 3,85
Arduino nano	Un	12	R\$ 26,90
Bateria 12V 7Ah Selada	Un	12	R\$ 90,00
Placa Solar 12V 10W	Un	12	R\$ 99,00
Controlador de Carga	Un	12	R\$ 59,90
Motor de Passo 39HBS22BJ4 com conector	Un	12	R\$ 79,90
Driver Motor de Passo A4988 + Dissipador de calor	Un	12	R\$ 9,90
RTC DS3231 Com bateria	Un	1	R\$ 19,90
Modúlo R/W SD Card para	Un	1	R\$ 9,90

Arduino

Micro SD Card 4Gb	Un	1	R\$ 22,00
Placa de Circuito Impresso	Fabricação	1	R\$ 27,50
Conector Borne KRE 12mm 2 vias	Un	4	R\$ 5,36
Conector Borne KRE 12mm 3 vias	Un	2	R\$ 3,80
Resistor 10K 1/4W (kit com 10)	Un	1	R\$ 0,09
Resistor 4K7 1/4W (kit com 10)	Un	1	R\$ 0,11
Capacitor 10uF 25V	Un	1	R\$ 0,23
Regulador de tensão 7805	Un	1	R\$ 2,38
Fio paralelo 0,75mm	Mt	3	R\$ 8,97
Caixa hermética 20x15x9	Un	1	R\$ 14,80
Cola de silicone 280 gramas	Un	1	R\$ 12,50
Cola de PVC 17gramas	Un	1	R\$ 10,00
Tinta spray prata 350ml	Un	1	R\$ 13,43
Outros consumíveis*			R\$ 10,00
TOTAL			R\$1.119,65

* Estanho, fita isolante, eletrodo, discos de corte, brocas