

Acumulação e Transporte de Sedimentos na Microdrenagem: Monitoramento e Modelagem

Ana Paula Gomes e Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva

GHIDROS – Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental/UFSM

anapaulaa.gomes@gmail.com, eloiza@ct.ufsm.br

Recebido: 11/04/09 - revisado: 19/03/10 - aceito: 07/10/10

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo, contribuir para o entendimento do processo de acumulação e transporte de sedimentos na rede de microdrenagem proveniente de uma área urbana. O modelo SWMM foi utilizado com dados de monitoramento de precipitação, vazão, sedimento e foi avaliado o uso do solo, em uma área urbana de 0,012 km². As concentrações de sedimentos, das amostras líquidas do escoamento pluvial, variaram entre 3,48 e 6205 mg/L. O modelo SWMM foi utilizado na calibração e simulação quali-quantitativa do escoamento superficial. Os módulos calibrados e avaliados no modelo foram os módulos Runoff e Transport. A simulação da qualidade do escoamento superficial apresentou um coeficiente de correlação médio de 0,87 e erros médios entre os valores calculados e observados de 36%. Os resultados obtidos na calibração dos parâmetros foram satisfatórios, obtendo-se uma boa representação dos processos envolvidos na rede de microdrenagem.

Palavras-chave: Sedimentos, Drenagem Urbana, Modelagem, SWMM.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbano produz um aumento na produção de sedimentos e na degradação da qualidade da água superficial. Os problemas causados pelos sedimentos na drenagem urbana geralmente estão relacionados à perda da capacidade hidráulica, levando ao transbordamento e poluição das águas receptoras. (Butler & Clarke, 1995)

Dentre os estudos sobre a produção e propagação de sedimentos na microdrenagem podem-se destacar os trabalhos de Bannerman et al. (1993), Vaze & Chiew (2002), Mathukaruppan et al. (2002), Egodawatta & Goonetilleke (2007), Ichiki et al. (2007).

A modelagem matemática é uma ferramenta importante para o planejamento, dimensionamento e operação da drenagem urbana. Maksimovic (2001) comenta sobre sua utilidade na verificação das condições de funcionamento dos sistemas de drenagem e na determinação das respostas da bacia, auxiliando na avaliação da poluição, no planejamento e gerenciamento do sistema. Ele destaca os seguintes modelos: SWMM (US EPA's Storm Water Management Model, Huber 1995), Hydroworks (HR Wallinford – Wallingford Software), MOUSE (DHI – Danish Hydraulics Institute – 1990), Hystem Extran

(ITWH – Fuchs and Scheffer (1990), Bemus (IRT-CUD, Djordjevic et al 1998).

Este trabalho tem o objetivo de analisar e compreender os processos envolvidos na acumulação e propagação dos sedimentos provenientes de superfícies impermeáveis. Para atingir este objetivo, foram construídos sedimentogramas de cheia na saída da microdrenagem e utilizado o modelo SWMM para a simulação dos processos envolvidos através dos dados observados. O estudo foi realizado em uma área urbana, com monitoramento hidrológico e sedimentológico, na cidade de Santa Maria, RS, Brasil.

DESCRIÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

A pesquisa foi realizada na Bacia do Arroio Cancela, afluente do Arroio Cadena, na cidade de Santa Maria, RS. A área de estudo é predominantemente residencial com a presença de alguns estabelecimentos comerciais e possui área de 0,012 km². Neste local foi implantado monitoramento hidrosedimentológico por Dotto et al. (2007). A Figura 1 apresenta localização da área em estudo e as estações de monitoramento.

Na área de contribuição está inserida a primeira quadra da rua Marquês do Herval, a rua Ta-

manday e uma área residencial. A primeira quadra da rua Marquês do Herval apresenta 163,26 m de comprimento, 9 m de largura, 0,0531 m/m de declividade média, pavimento do tipo asfalto e uma boca de lobo localizada no lado esquerdo inferior da rua. A rua Tamanday apresenta 142,85 m de comprimento, 9m de largura, 0,0143 m/m de declividade média, pavimento do tipo bloco de concreto, duas bocas de lobo e dois poços de visitas.

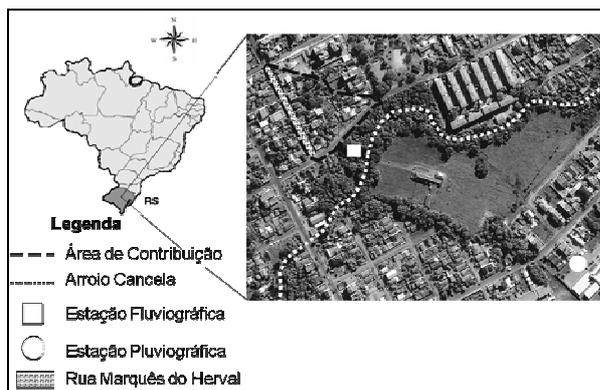


Figura 1- Localização da área de estudo.

(Fonte: modificado de Dotto 2006)

MONITORAMENTO PLUVIOMÉTRICO, FLUVIOMÉTRICO E SEDIMENTOMÉTRICO

Os dados de precipitação foram obtidos da estação pluviográfica Sest Senat, monitorada pelo grupo GHIDROS desde 22/12/2003, distante 800 m da área de estudo e localizada nas coordenadas 29°42'13,93" S e 53°48'2,58" W (Dotto, 2006).

Essa estação possui um pluviômetro eletrônico do tipo Pluvio-OTT, com intervalo de tempo de um minuto entre cada leitura a partir do início da precipitação.

Os dados de vazão e sedimentos foram obtidos da estação fluviométrica Tamandaí, monitorada pelo grupo GHIDROS, desde maio de 2005, localizada nas coordenadas 29°42'6,4" S e 53°48'16,2" W (Dotto, 2006).

A estação está equipada com um registrador de nível digital do tipo Thalimedes (OTT) e com uma calha. O registrador de nível foi configurado para um intervalo de tempo de 1 minuto na ocorrência de no mínimo 5 mm de variação no nível.

Apresenta uma calha de fundo plano, proposta por Scogerboe et al. (1972) apud Martins e Paiva (2001), que difere da calha Parshall por ter o

fundo plano e apresentar um estreitamento de seção localizado a um terço da borda inicial. A vazão na calha pode ser obtida através da equação 1.

$$Q = 0,958h_a^{1,65} \quad (1)$$

onde: h_a é a altura da lâmina da água, (m), e Q é a vazão, (m³/s).

A equação 1 foi verificada por Dotto (2006) através de medições de vazões com o auxílio de um sensor de velocidade baseado no princípio magnético indutivo. A verificação apresentou um bom ajuste da equação sendo utilizada neste estudo para estimativa da vazão.

Foram coletados sedimentos secos ao longo das sarjetas da rua Marquês do Herval, com o auxílio de um aspirador de pó, com a finalidade de identificar o início do processo de acumulação e transporte de sedimento.

A coleta de água na drenagem pluvial foi feita com amostrador de água automático modelo ISCO FR7600. O equipamento é composto por 24 garrafas plásticas com capacidade de 1000 mL, que ficam acondicionadas no interior do amostrador, o qual é composto de três partes bem definidas: painel de controle, bomba de sucção e refrigerador. A Figura 2 apresenta o amostrador junto à calha.

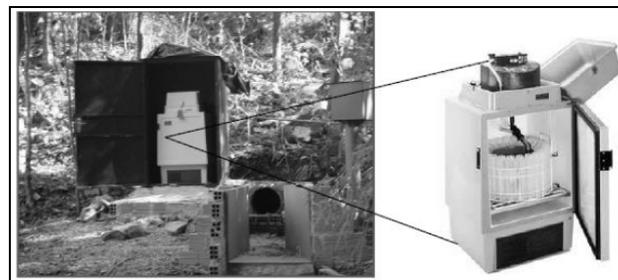


Figura 2 – Amostrador ISCO modelo FR7600.

Fonte: Dotto (2006).

DISCRETIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

Foi realizado detalhamento do uso do solo e discretização, tendo em vista a aplicação do modelo SWMM (James et al. 2003), de modo a representar a acumulação e o transporte dos sedimentos.

A subdivisão da área em estudo baseou-se nas características físicas, obtidas no modelo numérico do terreno, nas informações reais do sistema de drenagem e na análise do uso do solo, resultando, assim, em três subáreas. As análises do uso do solo

foram obtidas através da imagem do satélite Ikonos, do ano de 2004.

A discretização do sistema de drenagem foi realizada a partir de dados obtidos com levantamentos topográficos realizados para os condutos, boca de lobo e poços de visita. A Figura 3 mostra a área com as subáreas.



Figura 3 – Discretização da área.

As características físicas para cada subárea são apresentadas na Tabela 1. Nesta tabela, também são apresentados os valores de porcentagem de áreas impermeáveis, permeáveis e a largura obtida para cada subárea.

Para ruas asfaltadas, calçadas públicas e telhados foram adotados 100% de impermeabilização e para rua de bloco de concreto foi considerado 78% de impermeabilização.

Para a definição da largura das subáreas (w), foi adotado o valor da largura do retângulo equivalente (I_e), dado pela equação 2.

$$I_e = \frac{k_c \sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{k_c} \right)^2} \right] \quad (2)$$

onde I_e é a largura do retângulo equivalente (m), A é a área total ou subárea (m²), k_c é o coeficiente de compacidade, igual 0,282[P/ (A^{0,5})] e P é o perímetro da área total ou subárea (m).

Tabela 1 – Características das subáreas

SubA	I _e	Área (ha)	AI (%)	AP (%)	S (m/m)
101	4,53	0,073	100	0	0,0531
102	51,05	1,064	58	42	0,0531
103	3,98	0,053	78	22	0,0143

onde SubA é a subárea, I_e é a largura do retângulo equivalente, AI é a porcentagem de área impermeável, AP é a porcentagem de área permeável e S é a declividade.

O sistema de drenagem, após discretizado, consistiu em cinco trechos, sendo estes classificados em cinco condutos circulares. A figura 4 mostra um desenho esquemático do sistema de drenagem com a contribuição de cada subárea.

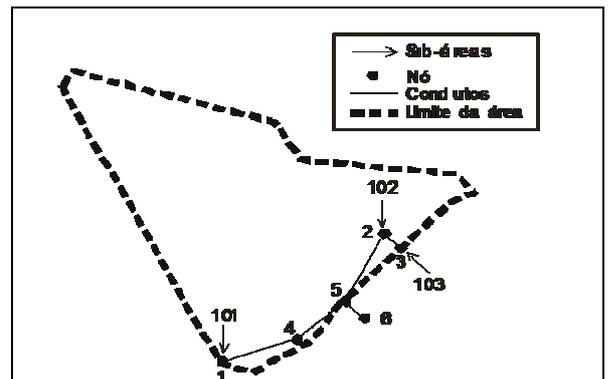


Figura 4 – Desenho esquemático do sistema de drenagem.

A Tabela 2 apresenta as características dos condutos, que foram obtidas através de levantamento topográfico, visitas a campo e consulta do projeto pluvial concedida pela prefeitura de Santa Maria.

Tabela 2 – Características dos condutos

Nº	Nós	C (m)	FST	D (m/m)	Ø (m)
10	1 4	38,45	Conduto Circular	0,015	0,3
20	4 5	25,29	Conduto Circular	0,063	0,3
30	3 2	8,25	Conduto Circular	0,013	0,3
40	2 5	26,53	Conduto Circular	0,018	0,3
50	5 6	6	Conduto Circular	0,795	0,4

onde N° é o número do conduto, C é o comprimento, FST é a forma da seção transversal, D é a declividade e Ø é o diâmetro de cada conduto.

APLICAÇÃO DO MODELO SWMM (*Storm Water Management Model*)

O modelo SWMM foi desenvolvido pela EPA (Environmental Protection Agency) entre 1969 e 1971 e vem sofrendo diversas atualizações. A simulação dos processos hidráulicos/hidrológicos é realizada através dos blocos *Runoff* (transformação chuva-vazão), *Transport* (modelação da rede de drenagem conforme o conceito de onda cinemática), *Extran* (modelação hidrodinâmica de condutos e canais) e *Storage/Treatment* (qualidade da água) (Garcia e Paiva (2006), James et al. (2003)).

O modelo foi aplicado para a área em estudo através da utilização dos módulos *Runoff* e *Transport*. O módulo *Runoff* foi utilizado para a simulação da qualidade do escoamento pluvial gerado em áreas urbanas. O módulo *Transport* foi utilizado para a propagação da qualidade do escoamento pluvial através do sistema de drenagem.

Os eventos simulados foram: 03 e 04/10/05, 23/12/05, 14/12/06, 02/08/07, 18/09/07, 13 e 14/11/07, obtidos através do monitoramento realizado na área em estudo no período de junho de 2005 a novembro de 2007, onde foram selecionados seis eventos para as simulações.

O tipo de poluente simulado neste estudo foi a concentração de sedimentos em suspensão presente no escoamento pluvial.

No módulo *Runoff* há seis parâmetros para a simulação da qualidade do escoamento, sendo um deles determinado diretamente, sendo ele: a duração do período seco antecedente (DRYDAY). Os demais parâmetros foram calibrados para cada evento, sendo eles: a máxima quantidade de poluentes disponível na superfície QFAC(1), a constante QFACT(2) da função de acumulação, para o tipo exponencial, e os parâmetros WASHPO e RCOEF da função de carreamento dos poluentes sobre a superfície.

O módulo *Transport* simula o transporte de sedimentos em suspensão, contido no escoamento através da rede de drenagem, por meio do diagrama de Shields, sendo necessário informar a distribuição granulométrica e a densidade específica de cada poluente. Para a distribuição granulométrica foi utilizado um valor médio em relação aos dias secos antecedentes aos eventos, coletados ao longo das sarjetas. A tabela 3 apresenta a porcentagem acumulada dos sedimentos coletados em cada evento monitorado.

Em ambos os módulos, a calibração foi feita através de um processo manual, por tentativa e erro,

individualmente para cada evento monitorado, sem a utilização de algoritmos de otimização, como proposto, por exemplo, por Santos et al. (2003).

Tabela 3 – Granulometria utilizada no módulo *Transport* para cada evento.

T (mm)	Ev1	Ev2	Ev3	Ev4	Ev5	Ev6
	%Sup	%Sup	%Sup	%Sup	%Sup	%Sup
0,125	91,2	91,5	92,8	91,6	95,2	91,2
0,25	68,1	66,1	73,4	70,8	80,6	68,1
0,5	29,2	26,7	32,5	29	37,6	29,2
2	7,4	5,6	5,7	8,8	9,5	7,4

onde T é o tamanho do sedimento, Ev1 é o evento do dia 03 e 04/10/05, Ev2 é o evento do dia 23/12/05, Ev3 é o evento do dia 14/12/06, Ev4 é o evento do dia 02/08/07, Ev5 é o evento do dia 18/09/07, Ev6 é o evento do dia 13 e 14/10/07 e Sup é a porcentagem retida na peneira.

Os eventos usados para a calibração foram os mesmos usados para a validação dos parâmetros obtidos.

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS PARÂMETROS DO MODELO

A análise de sensibilidade dos parâmetros relacionados com a concentração de sedimentos em suspensão, dos módulos *Runoff* e *Transport*, foi realizada com o objetivo de perceber a influência de cada parâmetro nos resultados do modelo.

Para a análise de sensibilidade foi utilizada uma variável dependente que foi o erro médio entre os valores observados e calculados.

Para esta análise foi selecionado o evento do dia 14/12/06, com uma precipitação acumulada de 11,32 mm. Este evento foi escolhido por ter apresentado um bom ajuste na calibração de seus parâmetros.

Os parâmetros utilizados em relação ao módulo *Runoff* foram a máxima quantidade de poluentes disponível na superfície (QFAC(1)), a constante de acumulação (QFACT(2)) e os parâmetros da função de carreamento (WASHPO e RCOEF).

Para o módulo *Transport* foi analisado o parâmetro que representa a densidade específica da partícula.

RESULTADOS

Os resultados da calibração apresentaram um ajuste médio em relação ao coeficiente de correlação, R, de 0,87; e o erro entre os valores calculados e observados resultou em um valor médio de 36%. As Figuras 5 a 10 apresentam gráficos dos eventos ajustados.

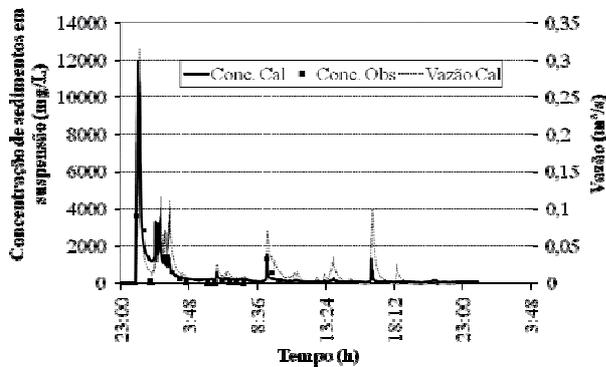


Figura 5 – Evolução da concentração de sólidos suspensos para o evento 03 e 04/10/05.

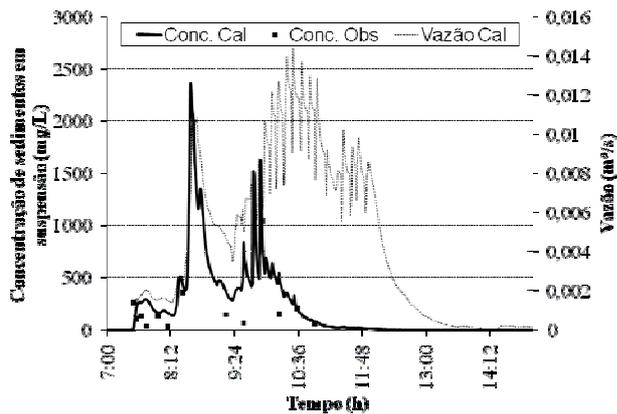


Figura 6 – Evolução da concentração de sólidos suspensos para o evento 23/12/05.

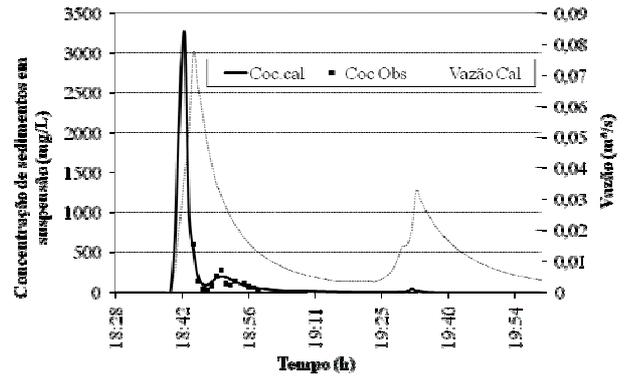


Figura 7 – Evolução da concentração de sólidos suspensos para o evento 14/12/06.

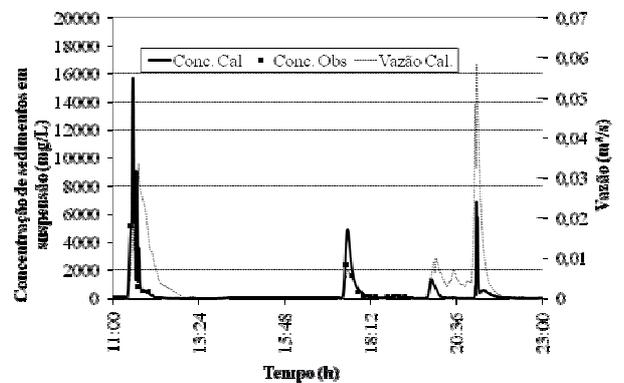


Figura 8 – Evolução da concentração de sólidos suspensos para o evento 02/08/07.

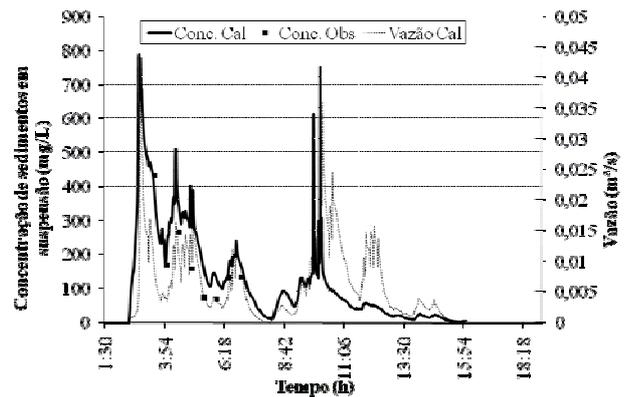


Figura 9 – Evolução da concentração de sólidos suspensos para o evento 18/09/07.

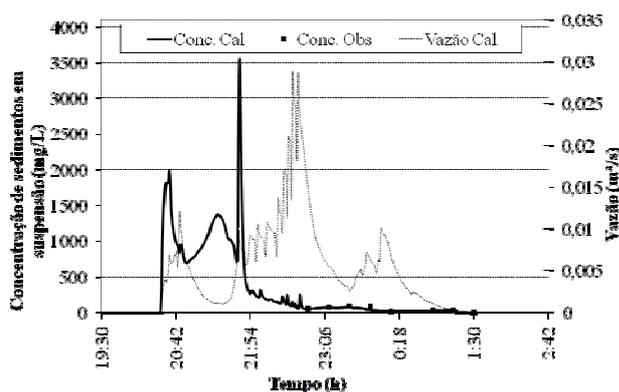


Figura 10 – Evolução da concentração de sólidos suspensos para o evento 13 e 14/11/07.

No módulo *Runoff* foram calibrados os processos de deposição e transporte dos poluentes sobre a superfície em estudo, enquanto que, no módulo *Transport* foi calibrado o processo de transporte de sedimentos através do sistema de drenagem. A seguir são descritos os parâmetros calibrados em cada um dos processos.

- **Calibração da função de acumulação dos poluentes.**

A função exponencial de acumulação de poluentes sobre a superfície, utilizada neste estudo, possui dois principais parâmetros a serem calibrados, que são a máxima quantidade de poluentes disponível, QFACT(1), e o coeficiente de acumulação, QFACT(2).

Os valores encontrados para a máxima quantidade de sedimentos em suspensão variaram de 19 a 210 g/m². Este parâmetro varia muito de um evento para o outro, visto que é um parâmetro que sofre interferência de vários outros fatores como, por exemplo: a duração do período seco antecedente ao evento, surgimento de fontes extras, implementações de loteamentos, entre outros.

Para o coeficiente de acumulação, os valores variaram de 0,01 a 0,45. Segundo Deletic et al. (1997), esse coeficiente de acumulação está relacionado principalmente com o uso do solo.

- **Calibração da função de transporte dos poluentes.**

A função de carreamento dos poluentes utilizada pelo modelo SWMM possui dois parâ-

metros a serem calibrados que são o coeficiente de carreamento, RCOEF, e o expoente em relação à intensidade de chuva, WASHPO. Os valores encontrados para o coeficiente de carreamento variaram de 0,02 a 1,5 e o expoente em relação à intensidade de chuva variou de 0,1 a 2,2.

Chen & Adams (2007), em um estudo onde simularam a concentração de sedimentos em suspensão com a utilização do modelo SWMM, encontraram valores de 0,0112 e 0,96 para o coeficiente de carreamento e para o expoente em relação à intensidade de chuva, respectivamente.

Sonnem (1980, apud James et al., 2003) calculou o valor de RCOEF, pela teoria do transporte de sedimentos, encontrando valores entre 0,052 e 6,6 e observou que o coeficiente de carreamento aumentava inversamente com o diâmetro da partícula, e diretamente com a intensidade de chuva e o tamanho da área em estudo. Quanto menor for o diâmetro da partícula mais fácil será seu transporte, elevando assim o valor do coeficiente de carreamento. A intensidade de chuva interfere diretamente no transporte das partículas porque quanto maior for a intensidade mais facilmente ocorrerá o desprendimento das partículas da superfície a qual se encontram. A área de estudo interfere também no transporte das partículas, ou seja, quanto maior for a área maior será a disponibilidade de partículas a serem transportadas.

- **Calibração do transporte de sedimentos através do sistema de drenagem.**

A calibração do transporte de sedimentos através do sistema de drenagem envolve apenas dois parâmetros que é a densidade relativa do sedimento e a granulometria do poluente simulado. Estes parâmetros são utilizados para o cálculo do diâmetro crítico do sedimento, através do diagrama de Shields, e a quantificação da massa transportada. A densidade relativa da partícula foi calibrada para cada evento e variou entre 1,1 a 1,4.

Temprano et al. (2006) calibraram o modelo SWMM para a simulação de sólidos suspensos em um sistema de esgoto combinado e obteve um ajuste de 94% em relação ao coeficiente de correlação, R. No presente estudo, na calibração foi utilizado um valor fixo para a densidade relativa do sedimento de 2,65 para sólidos em suspensão.

A granulometria foi considerada para cada evento como um valor médio do sedimento seco coletado durante o período antecedente ao evento simulado. Os eventos dos dias 03 e 04/10/05 e 13 e 14/11/07 não possuíam dados de sedimentos secos

anteriores ao evento. Portanto, o valor atribuído para esses eventos foi um valor médio em relação a todos os dados coletados de sedimentos secos na rua (Gomes, 2008).

A tabela 4 apresenta os valores obtidos para cada parâmetro, o ajuste do coeficiente de correlação, R, e o erro entre os valores observados e calculados para cada evento.

Tabela 4 – Parâmetros obtidos na calibração do modelo para a área em estudo.

EV	DRYDAY	QFACT(1) kg/ha	QFACT(2)	WASHPO	RCOEF	SPG	R	E%
EV1	10	2100	0,45	1,4	0,02	1,2	0,94	48
EV2	15	400	0,01	2,1	0,2	1,4	0,64	48
EV3	5	250	0,01	2	0,6	1,1	0,95	30
EV4	10	1200	0,2	2	1,5	1,3	0,93	30
EV5	17	200	0,04	1,1	0,1	1,4	0,91	29
EV6	12	190	0,02	0,1	1	1,4	0,86	30
Média	723	0,12	1,4	0,6	1,3	0,87	36	

onde DRYDAY é o número de dias secos antecedentes ao evento, QFACT(1) é a quantidade de sedimentos disponível na superfície, QFACT(2) é o coeficiente de acumulação, RCOEF é o coeficiente de carreamento, WASHPO é um expoente da equação de carreamento, SPG é a densidade relativa da partícula, R é o coeficiente de correlação entre os valores observados e calculados e E% é o erro médio entre os valores observados e calculados.

A figura 11 apresenta a variação dos valores simulados, baseados nos eventos calibrados, em relação aos valores observados para todos os eventos.

Um fator desconhecido na simulação em relação à qualidade do escoamento é a quantidade de poluente remanescente de um evento no sistema de drenagem, que irá contribuir para o próximo evento como carga disponível dentro das canalizações. Nesse sentido, foi analisado o evento do dia 02/08/07 para verificar a influência da carga remanescente do evento anterior a este.

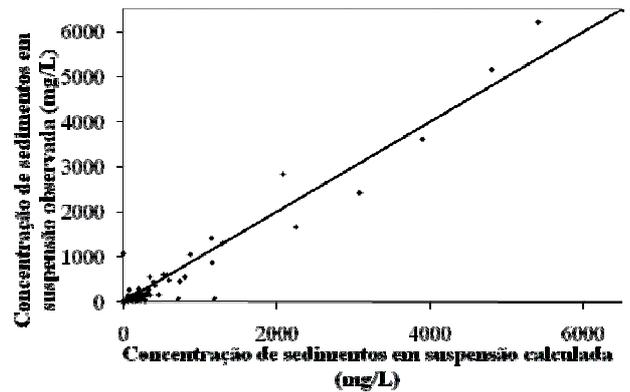


Figura 11 – Relação entre os valores simulados pelo SWMM e os observados.

A figura 12 apresenta a concentração de sedimentos em suspensão para o evento do dia 02/08/07 com simulação contínua e individual. A simulação contínua foi realizada levando em consideração o evento anterior ao dia 02/08/07 e a simulação individual foi realizada levando em consideração somente o evento do dia 02/08/07 isolado.

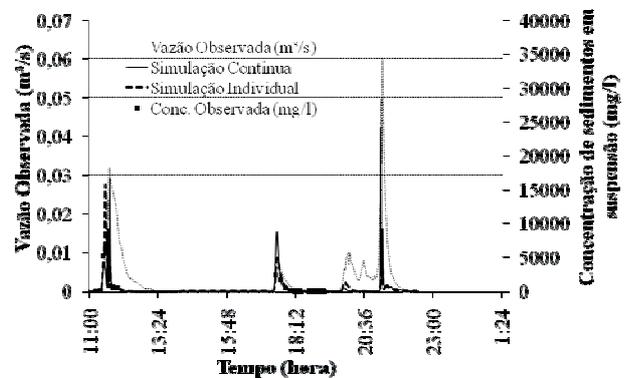


Figura 12 – Simulação contínua e individual do evento do dia 02/08/07.

Para as concentrações de sedimentos em suspensão ocorreu um aumento do erro médio de 30 para 38%, na simulação contínua, em relação às concentrações observadas. As Figuras 13 a 17 apresentam a quantidade de sedimentos a montante e a jusante em cada conduto para o evento do dia 02/08/07 simulado individualmente.

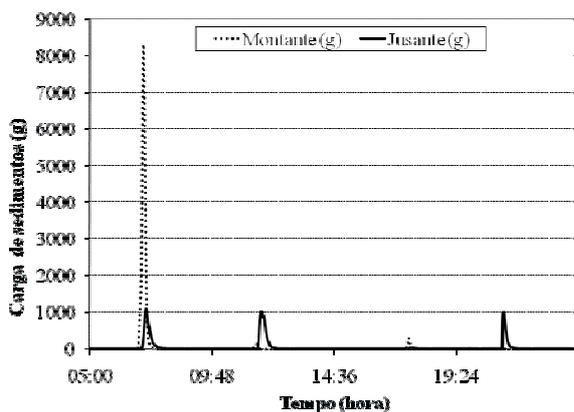


Figura 13 - Carga a montante e a jusante no conduto 10.

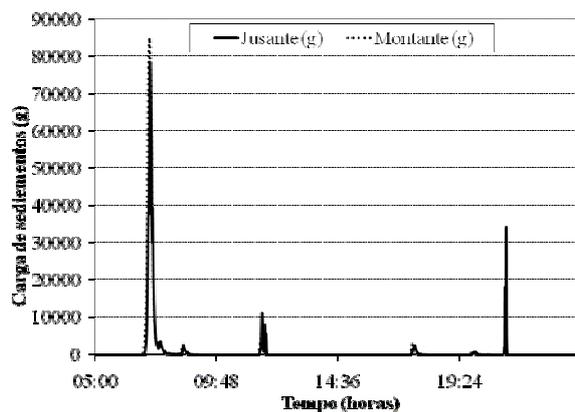


Figura 16 - Carga a montante e a jusante no conduto 40.

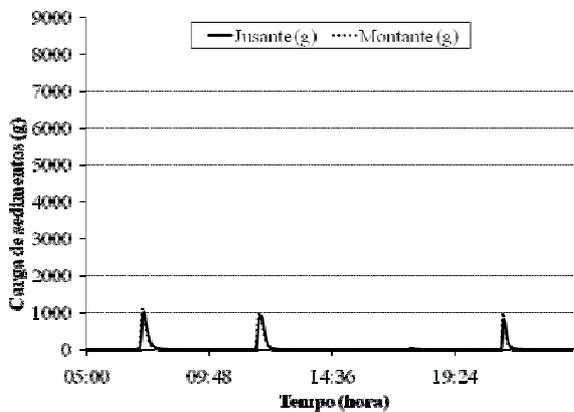


Figura 14 - Carga a montante e a jusante no conduto 20.

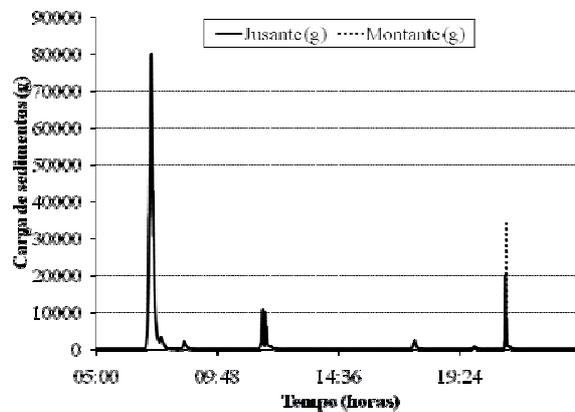


Figura 17 - Carga a montante e a jusante no conduto 50.

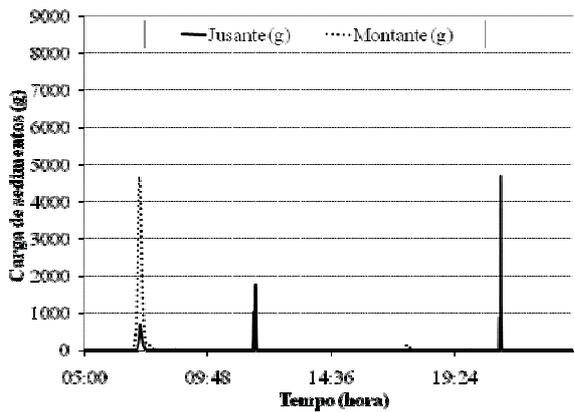


Figura 15 - Carga a montante e a jusante no conduto 30.

As tabelas 5 e 6 apresentam as cargas de sedimentos calculadas a montante, a jusante e retido na rede de drenagem, para o evento do dia 02/08/07, com simulação contínua e individual, respectivamente.

Tabela 5 – Simulação contínua - cargas de sedimentos em suspensão a montante, jusante e depositada.

Conduto	Montante (kg)	Jusante (kg)	Depositado (kg)
10	80,29	48,05	32,24
20	48,05	48,04	0,01
30	58,72	19,96	38,76
40	1201,22	944,23	256,99
50	992,27	989,52	2,75

Tabela 6 – Simulação individual - cargas de sedimentos em suspensão a montante, jusante e depositada.

Conduto	Montante (kg)	Jusante (kg)	Depositado (kg)
10	79,61	41,56	38,05
20	41,56	41,54	0,02
30	58,19	18,86	39,33
40	1188,45	962,68	225,77
50	1004,22	989,27	14,94

Através das tabelas, é possível concluir que a quantidade de sedimentos retida dentro da rede de microdrenagem foi de 330,75 kg e de 318,12 kg para a simulação contínua e individual, respectivamente. Logo, a quantidade de sedimentos remanescente contribuiu em 12,63 kg de sedimentos nas canalizações. Em relação à descarga sólida total, a simulação contínua apresentou 250 g a mais do que a simulação individual. É possível observar também que o conduto 40 apresentou uma deposição de aproximadamente 71% da carga total depositada, isto porque esse conduto drena 94% da área total. Os condutos 10 e 30 apresentaram uma deposição de aproximadamente 2% da carga total depositada em ambos os condutos.

A análise de sensibilidade realizada para os parâmetros, em relação à concentração de sedimentos em suspensão, dos módulos *Runoff* e *Transport*, apresentada a seguir, buscou avaliar a influência dos parâmetros no erro médio entre os valores simulados e observados para o aplicativo SWMM. O objetivo principal desta análise foi de observar a influência dos parâmetros para a área em estudo.

Sensibilidade dos parâmetros do módulo *Runoff

Para o módulo *Runoff*, os parâmetros que apresentaram maior sensibilidade, em relação ao erro médio entre os valores simulados e calculados e a variável estudada foram a máxima quantidade de poluentes disponível (QFACT(1)), o coeficiente de acumulação (QFACT(2)) e o expoente da equação de transporte de sedimentos (WASHPO). O parâmetro do coeficiente de carregamento (RCOEF) não apresentou grande influência sobre o erro médio entre os valores simulados e observados. A figura 18 mostra a influência dos parâmetros analisados do módulo *Runoff*.

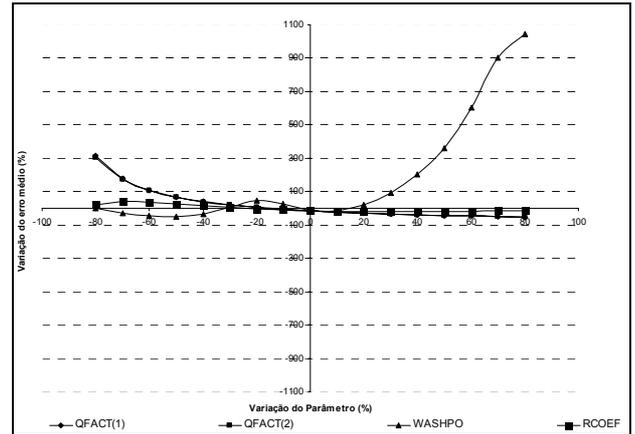


Figura 18 – Influência dos parâmetros de qualidade do módulo *Runoff* no erro médio.

Os parâmetros relacionados com a acumulação dos sedimentos sobre a superfície apresentaram maior sensibilidade para os valores menores da máxima quantidade de poluentes disponível (QFACT(1)) e do coeficiente de acumulação (QFACT(2)). O expoente da equação de transporte de sedimentos (WASHPO) causa aumento do erro médio, quando seu valor é aumentado.

Sensibilidade do parâmetro do módulo *Transport

Para o módulo *Transport* o parâmetro relacionado à densidade específica do sedimento (SPG), apresentou maior sensibilidade, em relação ao erro médio entre os valores simulados e observados, quando seu valor era aumentado. A figura 19 mostra a influência dos parâmetros analisados no módulo *Transport* tendo o erro médio como variável dependente.

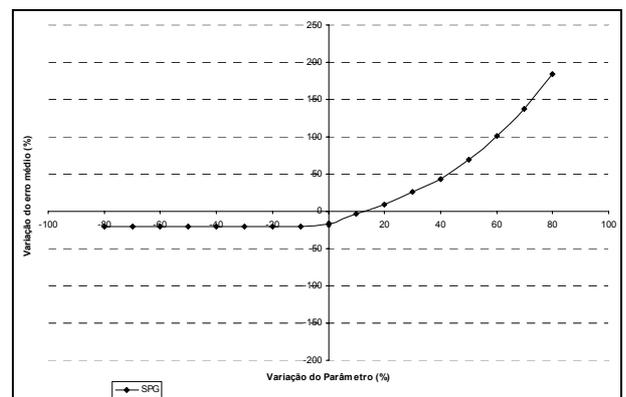


Figura 19 - Influência dos parâmetros de qualidade do módulo *Transport* no erro médio.

CONCLUSÕES

A presente pesquisa teve por objetivo contribuir para um melhor entendimento do processo de acumulação e propagação de sedimentos em uma rede de microdrenagem. As análises foram feitas através de monitoramento hidrológico, sedimentológico e modelagem com o modelo SWMM.

As coletas de amostras líquidas foram realizadas durante alguns eventos de precipitações, que tiveram o objetivo de determinar a concentração de sedimentos em suspensão, provenientes do escoamento pluvial. A concentração de sedimentos em suspensão apresentou uma variação entre 3,5 e 6205 mg/L durante os eventos monitorados, demonstrando uma grande variabilidade dos valores obtidos.

O modelo SWMM foi utilizado para avaliar os parâmetros envolvidos na qualidade das águas do escoamento pluvial. O nível de discretização em três subáreas foi adotado para a área em estudo, com base no sistema de drenagem, que se mostrou representativo em relação às condições existentes.

Para a simulação, foram selecionados seis eventos. Os resultados obtidos na calibração dos parâmetros, em relação à concentração de sedimentos em suspensão, apresentaram um coeficiente de correlação médio de 0,87 e um erro médio absoluto, entre os valores calculados e observados, de 36%.

Foi verificada a influência da carga residual dentro da rede de microdrenagem do evento antecedente ao evento do dia 02/08/07, o qual contribuiu para um acréscimo de 250 g na carga final de sedimentos em suspensão. Este valor pode sofrer variações dependendo do evento, podendo ser também significativo para uma área maior de contribuição.

Através deste estudo, foi possível perceber que a carga poluidora lançada no corpo receptor varia muito e depende de fatores como: intensidade da chuva, duração do evento, tamanho da área de contribuição e outros fatores que tornam a relação vazão carga poluidora difícil de ser estabelecida.

Na análise da sensibilidade do módulo *Runoff*, para a qualidade do escoamento superficial em relação à concentração de sedimentos em suspensão, os parâmetros que apresentaram maior sensibilidade foram a máxima quantidade de poluentes disponível (QFACT(1)), o coeficiente de acumulação (QFACT(2)) e o expoente da equação de transporte de sedimentos (WASHPO). O coeficiente de carreamento (RCOEF) não apresentou grande in-

fluência sobre o erro médio entre os valores simulados e observados.

No módulo *Transport*, o parâmetro que apresentou maior sensibilidade à qualidade do escoamento superficial em relação à concentração de sedimentos em suspensão foi a densidade específica do sedimento (SPG), tendo maior sensibilidade para valores altos de SPG.

O modelo SWMM, utilizado para a avaliação da qualidade da água relacionada ao sedimento, apresentou boa representação para a simulação na rede de microdrenagem. Assim, a simulação numérica pode ser usada como uma ferramenta tanto para o planejamento de projetos de drenagem urbana como para a avaliação dos impactos decorrentes, a fim de obterem-se soluções mitigadoras para a minimização desses poluentes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e CAPES pelo apoio financeiro e bolsas concedidas, e ao funcionário Alcides Sartori pelo auxílio nos trabalhos de campo.

REFERÊNCIAS

- BANNERMAN, R. T.; OWENS, D.W.; DODDS R.B.; HORNEWER, N.J. Sources of pollutants in Winconsin stormwater. *Water Science Technology*.v. 28, n. 3-5, p. 241-259, 1993.
- BUTLER, D. ; CLARK, P. Sediment management in urban drainage catchments. *Construction Industry Research and Information Association*. Report 134. 93p.
- CHEN, J. & ADAMS, B. J. A derived probability distribution approach to stormwater quality modeling. *Advances in Water Resources*. v. 30, p. 80-100, 2007.
- DELETIC, A.; MAKSIMOVIC, C.; IVETIC, M. Modelling of storm wash-off of suspended solids from impervious surfaces. *Journal of Hydraulic Research*. v. 35, n. 1, p. 99-118, 1997.
- DOTTO, C.B.S. Avaliação e Balanço de Sedimentos em Superfícies Asfálticas em Área Urbana de Santa Maria – RS. UFSM – Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil. 126p. Dissertação de Mestrado. Santa Maria, 2006.
- DOTTO, C.B.S.; PAIVA, E.M.C.D.; SILVA, L.F. Acumulação e balanço de sedimentos em superfícies asfálticas em

- área urbana de Santa Maria - RS.. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 12, p. 1-11, 2007
- EGODAWATTA, P. & GOONETILLEKE, A. (2007) Understanding road surface pollutant wash-off and underlying physical processes using simulated rainfall. 11th International Conference on Diffuse Pollution. (CD-ROM).
- GARCIA, J.I.B.; PAIVA, E.M.C.D. Monitoramento hidrológico e modelagem da drenagem urbana da bacia do Arroio Cancela - RS. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 11, p. 1-10, 2006.
- GOMES, A.P. Acumulação e transporte de sedimentos na microdrenagem: monitoramento e modelagem. 2008. 146f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.
- ICHIKI, A.; IDO, F.; MINAMI, T. Runoff Characteristics of Highway Pollutants Based on a Long-term Survey through a Year. 11th International Conference on Diffuse Pollution. (CD-ROM).
- JAMES, W.; HUBER, W. C.; DICKINSON, R. E.; PITT, R. E.; JAMES, W. R. C.; ROSENER, L. A.; ALDRICH, J. A., User's Guide to SWMM, publicado por CHI, Guelph, Ontario, Canada, 2003.
- MAKSIMOVIC, C. General Overview of Urban Drainage Principles and Practice. Urban Drainage in Specific Climates (IHP-V-Technical Documents in Hydrology). Paris: UNESCO, Vol.1, n.40, p.1-21, 2001.
- MARTINS, E.S.P.R.; PAIVA, J.B.D. Quantidade dos recursos hídricos. In: PAIVA, J.B.D.; PAIVA, E.M.C.D. (Org.). *Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas*. Editora ABRH, p.531-566. Porto Alegre, 2001.
- MUTHUKARUPPAN, M., CHIEW, F.H.S. AND WONG, T. (2002) Size distribution and partitioning of urban pollutants. *Global Solutions for Urban Drainage*, 2002. (CD-ROM).
- SANTOS, C.A.G.; SUZUKI, K.; WATANABE, M. Modificação no algoritmo genético SCE-UA e sua aplicação a um modelo hidrossedimentológico, *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.8,n.1, 137-146,2003.
- TEMPRANO, J.; ARANGO, O.; CAGIAO, J.; SUÁREZ, J.; TEJERO, I. Stormwater quality calibration by SWMM: A case study in Northern Spain. *Water SA* Vol. 32. n. 1. 2006.
- VAZE, J.; CHIEW, F.H.S. Experimental study of pollutant accumulation on an urban road surface. *Urban Water*. v. 4, n. 4, p 379-389, 2002.

Sediment Accumulation and Transport in Micro-drainage: Monitoring and Modeling

ABSTRACT

This work aims to contribute to the understanding of the process of sediment accumulation and transport in an urban microdrainage system. The SWMM model used data from rainfall, flow and sediment monitoring, and land use in a 0.012 km² urban area was monitored. Sediment concentrations in liquid samples of rainflow ranged from 3.48 to 6205 mg / L. The SWMM model was used for calibration and quali-quantitative simulation of runoff. The modules and calibrated model were assessed in the Runoff and Transport Modules. The simulation of the quality of runoff showed an average correlation coefficient of 0.87 and average error between observed and calculated values of 36%. The results of the calibration parameters were satisfactory, and a good representation of the processes involved in the microdrainage network was obtained.

Key-words: *Sediments, Urban Drainage, Modeling, SWMM.*