

Avaliação da Carga Poluente no Sistema de Drenagem de Duas Bacias Hidrográficas Urbanas

Ana Paula Zubiaurre Brites, Maria do Carmo Cauduro Gastaldini

Departamento de Hidráulica e Saneamento - Universidade Federal de Santa Maria

abrites@mail.ufsm.br, mcarmo@ct.ufsm.br

Recebido: 26/07/05 – revisado: 25/08/06 – aceito: 07/08/07

RESUMO

O desenvolvimento deste trabalho teve como objetivo avaliar as cargas de resíduos sólidos e de poluentes da água, veiculados pela rede de drenagem urbana de duas bacias hidrográficas localizadas no município de Santa Maria – RS. A bacia hidrográfica Cancela possui área de 4,95km², com 56% da área urbana e a bacia Alto da Colina possui área de 1,90 km², com 22,3% da área urbana. As características de qualidade da água foram avaliadas através dos parâmetros DBO₅, coliformes totais, coliformes termotolerantes e sólidos suspensos. Os resíduos sólidos foram avaliados através da quantificação em peso e volume. Os resultados indicam que a bacia hidrográfica Cancela apresentou carga difusa e de resíduos maior que a bacia hidrográfica Alto da Colina. O processo de degradação está associado às características de cada área estudada, como tamanho e, principalmente, uso e ocupação do solo. As duas áreas apresentam processo de degradação elevado devido às atividades antrópicas, como: o crescimento da urbanização, os despejos de esgotos e o lançamento de resíduos sólidos nos corpos receptores.

Palavras-chave: Drenagem urbana, carga difusa, carga de lavagem, resíduos sólidos.

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização vem alterando as condições do meio ambiente, produzindo uma queda na qualidade de vida da população e dos recursos hídricos.

Em virtude disto, a preocupação do homem com a conservação dos recursos naturais tem aumentado consideravelmente, surgindo a necessidade de identificação dos fatores que influenciam na qualidade do meio ambiente. Entre estes fatores estão a qualidade da água e os resíduos sólidos veiculados pelas redes de drenagem urbana.

As redes de drenagem urbana são as principais responsáveis pelo transporte de cargas poluidoras. Esta poluição apresenta-se de forma diversificada e depende de fatores como uso e ocupação do solo, densidade populacional, estações do ano, topografia, geologia e da intensidade e frequência das precipitações.

Uma característica marcante da poluição difusa é a variabilidade na concentração de poluentes lançados nos corpos d'água, pois estas variam em magnitude entre bacias hidrográficas, com diferentes eventos de precipitação, ao longo de um mesmo

evento e ainda quanto ao tipo de uso e ocupação do solo.

A quantificação da carga poluidora transportada pelo escoamento superficial é importante para a identificação dos impactos gerados pela urbanização, uma vez que a carga poluente e o volume escoado aumentam, consideravelmente, quando uma bacia hidrográfica é urbanizada.

O objetivo deste trabalho é avaliar as cargas de resíduos sólidos e de poluentes da água veiculados pela rede de drenagem urbana. Foram estudadas duas bacias hidrográficas localizadas no município de Santa Maria-RS. Os resultados encontrados foram comparados, analisando-se os principais fatores intervenientes no processo: precipitação, uso e ocupação do solo, características físicas da área e período de tempo seco antecedente ao evento.

REVISÃO DA LITERATURA

Vários trabalhos foram desenvolvidos buscando identificar a influência da urbanização nos recursos hídricos.

Choe et al. (2002) analisaram a taxa de carga poluente de sólidos suspensos e DBO₅ no escoamento

mento superficial de áreas residenciais e industriais, localizadas em Chongju, na Coreia. Obtiveram para áreas residenciais, 2.130 kg/ha/ano e 943 kg/ha/ano, respectivamente para sólidos suspensos e DBO₅. Estes valores foram superiores aos encontrados para áreas industriais.

De Luca et al. (1991) analisaram a qualidade do escoamento pluvial urbano na cidade de Porto Alegre-RS, encontrando para a carga anual média de poluentes valores de 254 kg/ha/ano e 11.120 kg/ha/ano para DBO₅ e sólidos suspensos, respectivamente.

A distribuição temporal da carga poluente durante o evento de precipitação mostra que a primeira parte do escoamento superficial é a mais poluída, este fenômeno é conhecido como “carga de lavagem do escoamento superficial”.

Trabalhos sobre a natureza e existência da carga de lavagem foram realizados buscando identificar a variabilidade dos fatores que influenciam a ocorrência do fenômeno (Gupta & Saul (1996), Deletic (1998), Lee et al., (2002), Paz (2004)).

Lee et al. (2002) monitoraram 38 eventos de precipitação, em Chongju, Coreia, através da diferença entre as curvas de massa poluente e de volume escoado. Todos os constituintes analisados exibiram efeito de carga de lavagem.

No Brasil alguns estudos foram desenvolvidos buscando caracterizar a carga poluente na drenagem pluvial urbana. Gomes & Chaudhry (1981) em São Carlos-SP, De Luca et al. (1991) em Porto Alegre-RS e Porto & Masini (2001) em São Paulo-SP. Estes autores encontraram os maiores valores de carga poluente no início do escoamento superficial.

O aumento na produção de resíduos sólidos está aliado ao processo de urbanização, originando danos ao meio ambiente urbano quando não gerenciados adequadamente.

O lixo tem se tornado um dos maiores problemas enfrentados pela sociedade. Segundo Armitage & Rooseboom (2000) os resíduos sólidos produzem as seguintes consequências ambientais: aspectos desagradáveis, altos riscos a saúde humana e a fauna aquática, presença de organismos patogênicos ou tóxicos como metais pesados, e altos custos para as autoridades locais nas operações de autolimpeza.

Os fatores que influenciam na quantidade de resíduos são: tipo de ocupação do solo, características dos eventos de precipitação, população, programas de conscientização e educação, período de tempo sem chuvas, tamanho e geometria das entradas e condutos da rede de drenagem, características físicas da bacia hidrográfica, variações sazonais, e

intensidade e direção do vento (Allison et al., 1998). Segundo Armitage & Rooseboom (2000) o nível econômico da comunidade também afeta a produção de resíduos.

A importância de quantificar e reter parte do material transportado nos sistemas de drenagem está nos prejuízos que este vem a causar, tanto no que se refere à obstrução de redes, quanto às elevadas cargas de poluentes que se encontram agregadas junto aos mesmos, além de permitir a análise de adequadas soluções de controle.

Gamtron, 1992 (apud Allison et al., 1998) coletou amostras de 4 regiões de Sidney, encontrando, em escala volumétrica, os seguintes resultados: 71% matéria orgânica (vegetação), 13% plástico, 7% papéis, 2% vidros e 1% metais.

Allison et al. (1998) monitoraram uma área, em Coburg, subúrbio de Melbourne, identificando e quantificando o material lançado e o uso do solo. Os autores encontraram carga anual de, aproximadamente, 30kg/ha/ano ou 0,4 m³/ha/ano.

Kim et al. (2004) monitoraram durante dois anos, seis rodovias na Califórnia do Sul. No estudo foram obtidas as seguintes conclusões: (1) a matéria orgânica (vegetação) compõe 90% do material retido, com dimensões maiores que 5 mm; (2) as cargas apresentaram variações, entre eventos, de 2,69 a 17,35 kg/ha para resíduo inorgânico seco, sendo 0,40 a 8,99 kg/ha para matéria biodegradável seca e 0,85 a 6,61 kg/ha para matéria não-biodegradável seca; (3) existiram poucas correlações entre a quantidade de resíduos sólidos e as características dos eventos (precipitação total, período de tempo seco antecedente ao evento, etc.).

CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS ESTUDADAS

Para a realização deste trabalho foram estudadas duas bacias hidrográficas urbanas localizadas no município de Santa Maria-RS. Na bacia hidrográfica Cancela os estudos de qualidade da água e de resíduos sólidos foram desenvolvidos no período de janeiro a dezembro de 2004. Entretanto, na bacia hidrográfica Alto da Colina os dados de qualidade da água foram obtidos por Paz (2004) no período de abril a dezembro de 2003 e os dados de resíduos sólidos foram obtidos no mesmo período da bacia Cancela.



Figura 1 - Localização geográfica das bacias hidrográficas analisadas, no município de Santa Maria – RS.

A bacia hidrográfica Cancela apresenta área de 4,95 km² sendo 56% urbanizada e desta 35% impermeabilizada com predomínio de áreas residenciais e comerciais. As margens do corpo d'água apresentam-se com alta cobertura vegetal (árvores de grande porte). A área possui, aproximadamente 18.000 habitantes.

A bacia hidrográfica Alto da Colina apresenta área total de 1,90 km² sendo 22% urbanizada e desta 12% impermeabilizada. Na área rural (78%) predomina campo nativo e cultura de soja alternando com períodos de pastagem. Apesar desta bacia apresentar características rurais, as margens do corpo d'água não possuem árvores de grande porte. A bacia possui população equivalente a 2.000 habitantes.

A figura 1 indica a localização das áreas estudadas onde se observa as principais diferenças entre as mesmas, como tamanho, urbanização e a distância de uma bacia a outra.

Em cada bacia foram instaladas estações fluviográficas e pluviográficas monitoradas pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (GHIDROS). Na bacia Cancela foi instalada uma estação pluviográfica na região central da bacia e uma fluviográfica no exutório da bacia. O monitoramento da bacia Alto da Colina foi realizado através de uma estação pluviográfica e duas estações fluviográficas para possibilitar o monitoramento da área rural e urbana separadamente. A estação AC-I localizada no exutório da bacia monitora a bacia inteira, e a estação AC-II monitora a área rural.

ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA

As amostras de água foram obtidas em períodos de tempo seco e tempo úmido, ausência e presença de precipitação, respectivamente. Na seção de amostragem da bacia hidrográfica Cancela este procedimento foi realizado no período de janeiro a dezembro de 2004. Os dados de qualidade da água da bacia Alto da Colina foram determinados por Paz (2004), no período de janeiro a dezembro de 2003.

As coletas de tempo seco foram obtidas manualmente no centro da seção de amostragem. As coletas de tempo úmido foram realizadas de duas formas, manualmente e através de amostradores de nível ascendente (ANA) e descendente (AND), construídos conforme Umezawa (1979). Estes equipamentos possibilitaram o monitoramento da variação da qualidade d'água na passagem da onda de cheia durante os eventos noturnos, ou nos que não foram possíveis de serem monitorados manualmente.

Foram analisados os seguintes parâmetros de qualidade da água: sólidos suspensos totais (SSt), oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), coliformes totais e termotolerantes. Os procedimentos de análise dos parâmetros de qualidade da água seguiram a metodologia descrita no APHA Standard Methods, 20th ed. (1998).

Para uma avaliação completa das características de qualidade da água, durante a passagem da onda de cheia, adotaram-se pontos inici-

ais/finais para todos os eventos analisados, assumindo para os mesmos as características de qualidade da água, de tempo seco, dos dias mais próximos ao evento, anterior/posterior.

As cargas poluentes foram obtidas através da multiplicação da característica de qualidade da água em questão, pela vazão de escoamento superficial no instante considerado. Os valores das cargas foram acumulados durante todo o evento de precipitação. Como o corpo d'água apresenta carga poluente de base, devido ao lançamento de esgoto e sua vazão de base, este valor (vazão*concentração) foi calculado e descontado do montante, pois deseja-se avaliar apenas o impacto devido ao escoamento superficial no recurso hídrico.

Características de Tempo Seco

A tabela 1 mostra as médias aritméticas das características de qualidade da água de tempo seco para as duas bacias hidrográficas.

Tabela 1 - Características médias de qualidade da água em tempo seco

Parâmetro	Cancela	AC-I	AC-II
OD (mg/L)	2,8	4,5	6,7
DBO (mg/L)	33	14	2
C.Totais (NMP/100mL)	8,3x10 ⁶	1,9x10 ⁶	9,9x10 ⁵
C.Termot. (NMP/100mL)	1,2x10 ⁶	8,8x10 ⁵	4,3x10 ⁴
SSt (mg/L)	60	25	26

A bacia hidrográfica Cancela apresentou variações nas concentrações de OD entre 0,4 a 7,5 mg/L. As maiores concentrações foram observadas logo após a ocorrência de precipitação, e as menores concentrações observadas nas coletas realizadas a tarde. Isto se explica pela maior contribuição de esgoto a partir deste turno no corpo d'água, considerando o fato de que neste período toda a bacia já está contribuindo com carga orgânica, e ainda que, durante a noite esta contribuição é bastante reduzida. A variação diária da qualidade da água na bacia foi possível de ser observada em dois dias completos de coletas realizadas em intervalos de uma hora, com diferentes características sazonais.

Os valores de OD encontrados por Paz (2004) na bacia Alto da Colina são superiores aos

da bacia Cancela, indicando a pior qualidade da água observada nesta bacia. Isto foi atribuído ao lançamento de esgoto no corpo receptor e ao alto índice de urbanização quando comparado à bacia Alto da Colina.

Quanto à DBO₅ a bacia Cancela apresentou concentração média mais elevada que as encontradas na bacia Alto da Colina. Estas diferenças obtidas nas três áreas demonstram as interferências do uso e ocupação do solo na qualidade da água.

A análise bacteriológica indicou alta contaminação da água por coliformes totais e termotolerantes. Comparando os resultados entre as duas bacias, nota-se que ambas apresentam valores bacteriológicos elevados, principalmente nas áreas urbanas.

Características do Escoamento Superficial

Na bacia hidrográfica Cancela foram analisados dezoito eventos. Neste período foram desprezados apenas os eventos que produziram pequeno escoamento superficial, pois estes não atingiam o bico de admissão de água dos amostradores, e os eventos que apresentaram vários picos sucessivos, com intervalos de tempo menores que um dia. Para eventos noturnos foram utilizados os dados obtidos através dos amostradores de nível ascendente e descendente.

Na bacia hidrográfica Alto da Colina, as concentrações utilizadas, para o cálculo da carga difusa, foram encontradas por Paz (2004), onde foram monitorados oito eventos de precipitação.

Para análise do escoamento superficial foi calculada a Concentração Média do Evento (CME) de cada evento, pois o uso desta é apropriado para avaliar os efeitos do escoamento superficial nos corpos d'água receptores (Lee et al., 2002). A equação 1 indica como esta concentração média do evento foi calculada.

$$CME = \frac{M}{V} = \frac{\int_0^{tr} C_t Q_t dt}{\int_0^{tr} Q_t dt} \cong \frac{\sum C_t Q_t \Delta t}{\sum Q_t \Delta t} \quad (1)$$

onde: CME é a concentração média do evento (mg/L); M a massa total de poluente durante o evento (g); V o volume total durante o evento (m³); t o tempo (s); C_t a concentração no tempo t (mg/L); Q_t a vazão no tempo t (m³/s) e Δt o intervalo de tempo (s).

A tabela 2 apresenta a média aritmética dos valores obtidos para as CME nas bacias estudadas.

Tabela 2 - Médias entre as CME observadas

Parâmetro	Cancela	AC-I	AC-II
DBO (mg/L)	111	13	6
C.Totais (NMP/100mL)	$1,2 \times 10^7$	$7,7 \times 10^6$	$1,8 \times 10^5$
C.Termot. (NMP/100mL)	$1,6 \times 10^6$	$1,1 \times 10^6$	$8,9 \times 10^3$
SSt (mg/L)	1320	528	380

A DBO, na bacia Cancela, apresentou valores superiores aos da bacia Alto da Colina. As CMEs dos coliformes totais e termotolerantes na bacia Cancela também superaram aos encontrados na bacia Alto da Colina, principalmente na AC-II, área rural.

O parâmetro SSt apresentou elevadas CMEs na bacia Cancela, devido a facilidade de ocorrência de desmoronamentos das margens, detectadas nos acompanhamentos de campo. Observou-se, também, uma dependência das CMEs com as características da precipitação.

Para estimativa da carga difusa somou-se a massa poluente dos eventos, ocorridos no período monitorado, e dividiu-se pelo intervalo de tempo total deste período. Este cálculo resultou na carga poluente transportada pela drenagem pluvial da bacia. Para o cálculo desta carga foi determinada a carga de base do corpo hídrico, em cada intervalo de tempo, e diminuída da carga total medida.

Tabela 3 - Carga difusa em função das áreas das bacias hidrográficas

Parâmetro	Cancela	AC-I	AC-II
DBO ₅ (kg/ha/ano)	75,1	30,4	24,6
C.Totais (NMP/ha/ano)	$8,9 \times 10^{12}$	$3,1 \times 10^{12}$	$4,8 \times 10^{11}$
C.Termot. (NMP/ha/ano)	$6,5 \times 10^{11}$	$5,4 \times 10^{11}$	$2,0 \times 10^{10}$
SSt (kg/ha/ano)	1685,8	1859,5	2252,9

Na bacia Cancela foi utilizada área de 4,95 km², período monitorado de 310 dias. Na bacia Alto da Colina a área foi 1,90 km² e o período en-

tre os eventos utilizados para análise foi de 242 dias.

A tabela 3 apresenta a carga difusa, para os parâmetros DBO₅, Coliformes totais e termotolerantes e SSt, encontradas nas duas bacias em função de suas áreas.

Os valores encontrados apresentaram-se menores que os citados na bibliografia. De Luca et al. (1991) encontraram 254 kg/ha/ano para DBO₅ e 11.120 kg/ha/ano para sólidos suspensos. Estas diferenças justificam-se pelas diferenças entre as áreas analisadas, como uso e ocupação do solo, porcentagem de impermeabilização, intensidade da poluição atmosférica e de veículos automotores, uma vez que o estudo utilizado para comparação foi desenvolvido em Porto Alegre, região mais urbanizada que as áreas do atual estudo.

Comparando os valores de carga em função das áreas constatou-se que a bacia Cancela apresentou maior carga difusa que a bacia Alto da Colina, para os parâmetros DBO, coliformes totais e termotolerantes, característicos de áreas urbanas.

A contribuição de SSt por unidade de área foi maior na bacia Alto da Colina, principalmente na estação AC-II, sendo explicado pelo manejo ou preparo da terra para o cultivo de soja, observados nas visitas em campo.

Os principais fatores observados que diferenciaram a qualidade de seus escoamentos superficiais foram: tipo de uso e ocupação do solo; tamanho das áreas; e impermeabilização da superfície do solo.

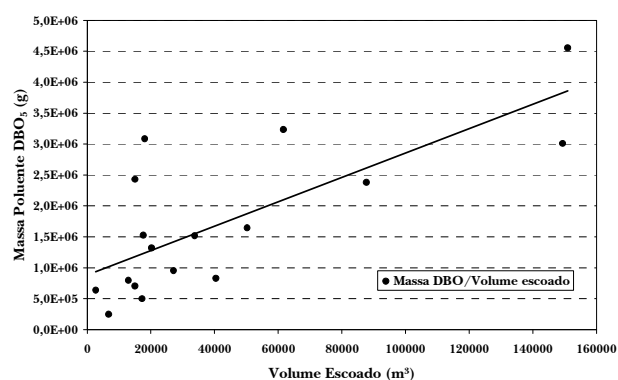


Figura 2 - Correlação entre massa poluente de DBO com volume escoado superficialmente

A massa poluente apresentou tendência a aumentar com a intensidade média de precipitação, precipitação total e volume do escoamento superficial. Não foram observadas correlações en-

tre a massa poluente transportada e o período de tempo seco antecedente ao evento (PTSA). (Brites, 2005)

As figuras 2, 3 e 4 apresentam as correlações encontradas entre a massa poluente de DBO₅ com o volume escoado, a contagem de coliformes termotolerantes com a intensidade de precipitação e a massa de sólidos suspensos totais e o total precipitado, respectivamente.

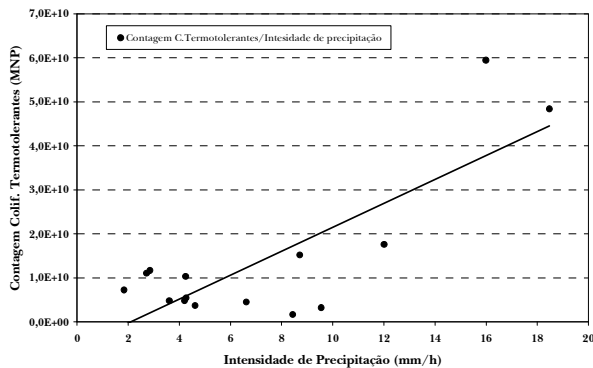


Figura 3 - Correlação entre contagem de C.Term. com intensidade de precipitação

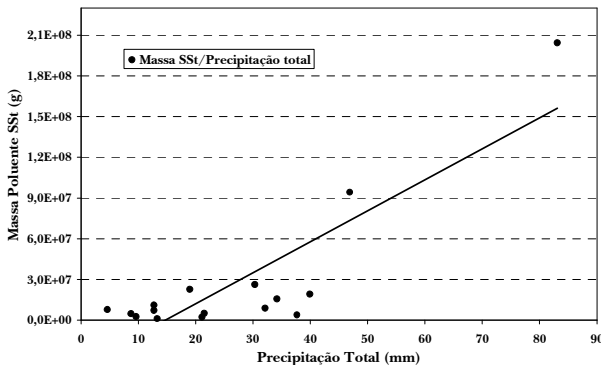


Figura 4 - Correlação entre massa poluente de SSSt com precipitação total

Estas correlações mostradas nas figuras 2, 3 e 4 foram as melhores encontradas entre os parâmetros com as características da precipitação, mostrando que as correlações variam entre diferentes parâmetros com diferentes fatores de precipitação.

A figura 5 mostra que não foi encontrada boa correlação entre massa poluente de DBO e o PTSA.

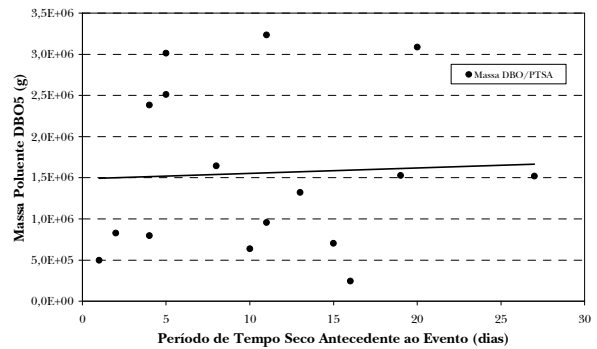


Figura 5 - Correlação entre massa poluente de DBO₅ com PTSA

Estimativa de Ocorrência da Carga de Lavagem

A carga de lavagem é atribuída ao fato de ocorrer um pico significativo na concentração no início de eventos de precipitação. Há diferentes formas de definir o efeito da carga de lavagem. Neste trabalho foi aplicada metodologia descrita por Gupta & Saul (1996). Segundo os autores a carga de lavagem pode ser definida como sendo a porção do evento até o local de máxima divergência entre as curvas adimensionais da percentagem de massa poluente cumulativa e a percentagem de volume escoado cumulativo, plotadas em relação à percentagem acumulada do tempo do evento. Esta metodologia foi utilizada por ser este método menos restritivo, não fixando a porcentagem de carga transportada no volume escoado, possibilitando uma melhor avaliação do fenômeno.

Para a análise do fenômeno, no escoamento superficial urbano, torna-se necessário normalizar adimensionalmente as massas poluentes transportadas e os volumes escoados, indicadas nas equações 2 e 3, respectivamente.

$$L = \frac{m(t)}{M} \quad (2)$$

$$F = \frac{v(t)}{V} \quad (3)$$

onde: L é o adimensional de massa poluente acumulada; F é o adimensional de volume escoado acumulado; M a massa poluente total durante o evento (g); V é o volume total durante o evento (m³); m(t) é a massa poluente transportada até o tempo t (g); e v(t) o volume escoado até o tempo t (m³);

A definição de máxima divergência, considera a ocorrência de carga de lavagem quando a diferença máxima entre a curva adimensional de massa poluente acumulada, L , e a curva adimensional de volume escoado acumulado, F , for maior que 0,2. A equação 4 indica esta diferença.

$$\Delta = L - F \quad (4)$$

onde: Δ é a diferença entre a curva adimensional de massa poluente acumulada, L , e a curva adimensional de volume escoado acumulado, F .

A tabela 4 apresenta os valores da carga de lavagem, segundo a definição de Gupta & Saul (1996), para os eventos analisados na bacia hidrográfica Cancela.

Tabela 4 - Ocorrência da carga de lavagem segundo Gupta e Saul (1996) na Bacia Hidrográfica Cancela

Data do evento	Δ DBO	Δ CTot	Δ CTerm	Δ SSt
01/02/04	0,05	0,36	0,28	0,24
02/03/04	0,02	0,54	0,53	0,08
13/03/04	0,12	0,28	-	0,30
22/04/04	0,16	0,16	0,04	0,19
23/06/04	0,23	0,31	0,23	0,15
13/07/04	0,12	0,12	0,13	0,30
28/07/04	0,38	0,31	0,27	0,38
06/08/04	0,24	0,34	0,38	0,26
17/08/04	0,14	0,09	0,03	0,25
10/09/04	0,03	0,01	-	0,01
12/10/04	0,21	0,09	0,02	0,16
16/10/04	0,22	0,69	0,65	0,25
03/11/04	0,11	0,21	0,21	0,13
09/11/04	0,26	0,41	0,39	0,32
06/12/04	0,26	-	-	0,17

Constata-se (tabela 4) que o efeito da carga de lavagem apresenta variações quanto a sua ocorrência entre os eventos e parâmetros, mostrando a variabilidade na ocorrência e intensidade do fenômeno.

A bacia hidrográfica Alto da Colina apresentou-se pouco suscetível a ocorrência da carga de lavagem, segundo a metodologia de Gupta & Saul (1996), conforme Paz (2004).

Na estação AC-I o fenômeno foi observado em apenas dois eventos, um para os parâmetros coliformes totais e termotolerantes, com valores de Δ iguais a 0,24 e 0,49, respectivamente, e outro evento apresentou valor de 0,46 para o parâmetro SSt. Na estação AC-II, com características rurais, não foram observados efeitos do fenômeno.

Na utilização desta mesma metodologia, Lee et al. (2002) encontraram valores de máxima divergência, Δ , para DQO e sólidos suspensos de 0,14 e 0,11 em uma área residencial A e 0,29 e 0,29 para uma área residencial B, nos respectivos parâmetros. A área B mostrou-se mais suscetível à carga de lavagem que a área A. A área residencial A possui 92,10 ha e está subdividida em área residencial simples, complexo de apartamentos e área comercial. A área B possui 4,81 ha e pertence a uma região de complexo de apartamentos.

Segundo os autores o grau de intensidade do fenômeno é maior em bacias menores. Entretanto, o mesmo não foi verificado no presente estudo, pois a bacia Cancela, com área de 495 ha, apresentou-se mais suscetível à ocorrência do fenômeno que a bacia Alto da Colina, com 190 ha. Por outro lado, a bacia Cancela é mais urbanizada do que a Alto da Colina. Isto mostra a variabilidade do fenômeno e a dificuldade de comparação do mesmo em bacias distintas.

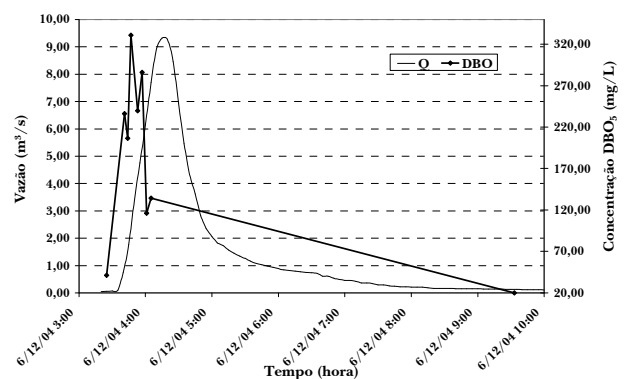


Figura 5 - Polutograma do parâmetro DBO e hidrograma característicos da bacia hidrográfica Cancela.

Nos polutogramas da bacia Cancela observou-se que o pico das concentrações dos poluentes ocorre antes do pico de vazão, característica de carga de lavagem. A figura 5 mostra o comportamento do parâmetro DBO₅ no evento do dia

06/12/04 e a figura 6 o comportamento do parâmetro coliforme termotolerante para o evento do dia 16/10/04.

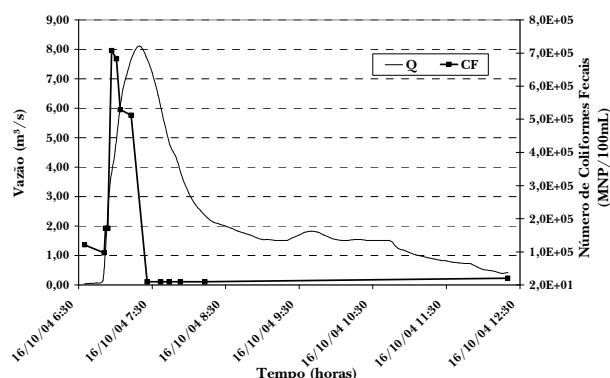


Figura 6 - Polutograma do parâmetro CF e hidrograma característicos da bacia hidrográfica Cancela.

Os eventos que apresentaram carga de lavagem foram analisados separadamente, buscando identificar o que gerou maior carga poluente e o volume transportado até o instante em que esta atingiu seu valor máximo. Esta verificação torna-se importante quando se deseja reter o escoamento para controle da carga poluidora lançada no corpo hídrico.

O evento que apresentou maior transporte de carga poluente de DBO_5 foi dia 12/10/04. A massa máxima registrada foi 2269 kg de DBO_5 e o volume transportado até este momento foi, aproximadamente, 6.000 m^3 . Estes valores correspondem a 73,5% da carga total do evento e 32% do volume total escoado.

O evento que apresentou maior transporte de massa poluente para o parâmetro coliformes termotolerantes ocorreu dia 02/03/04, onde a massa transportada atingiu $4,9 \times 10^{10}$ NMP, num volume escoado aproximadamente, de, 700 m^3 , correspondendo 10,3% do volume total e 94,3% da massa poluente total do evento.

Portanto, se os primeiros 6.000 m^3 do volume escoado fossem retidos aproximadamente 75% da carga de DBO_5 seria tratada, evitando maior degradação do corpo receptor. Entre os eventos analisados 70% dos mesmos apresentaram maior percentagem de carga poluente transportada em volume inferior a este.

Esta análise foi realizada apenas na bacia hidrográfica Cancela, pois nesta foi observado

maior efeito da urbanização na qualidade da água e do fenômeno da carga de lavagem.

ANÁLISE DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

As coletas de resíduos sólidos foram realizadas nas bacias hidrográficas Cancela e Alto da Colina, no período de abril a dezembro de 2004, após cada evento de precipitação.

A retenção do material foi feita através de redes de telas de aço com malha de 70 mm, instaladas transversalmente ao eixo dos rios, possibilitando a retenção e análise da maioria dos resíduos sólidos transportados.

O resíduo acumulado ficava depositado por algum tempo nas margens do corpo d'água, para possibilitar o escoamento do excesso de água, evitando que houvesse aumento no peso das amostras, devido à umidade do material.

O material após a classificação em função de sua composição foi quantificado em peso e volume. Para a obtenção do peso do material retido foi utilizada uma balança com capacidade de 31 kg e para o volume uma caixa com capacidade de 100 L.

A matéria orgânica era composta de restos de alimentos, vegetação (folhas, galhos, cascas, raízes, etc), madeira processada e animais mortos. A matéria inorgânica era composta de plástico (sacolas, garrafas, recipientes, sacos de leite), metais (chapas, latas, placas de veículos), vidro (garrafas, copos, lâmpadas), isopor e outros (panos, papéis, papelões, brinquedos, pneus).

Na bacia hidrográfica Cancela foram monitorados treze eventos, entre 08/04/04 e 06/12/04, resultando em 2.774 kg ou 13.151 L de material quantificado em todo o período.

Na bacia hidrográfica Alto da Colina foram analisados nove eventos, entre 18/06/04 e 06/12/04, o peso ou volume do material quantificado neste período foi 302 kg ou 2.768 L.

A tabela 5 indica a carga de resíduos sólidos transportada em cada bacia, em função de suas área. A tabela indica a carga de matéria orgânica (MO), matéria inorgânica (MI) e a carga total do material quantificado.

Observa-se que a bacia Cancela apresentou maior carga poluente de resíduos que a bacia Alto da Colina, principalmente, em relação à MO, com predominância de galhos e folhas. Isto pode ser explicado pela presença de elevada vegetação arbórea nas margens do corpo d'água na bacia Can-

cela. Na bacia Alto da Colina esta característica não foi observada.

Tabela 5 - Contribuição de resíduos sólidos em função da área das bacias em estudo

Local	MO kg/ha/ano	MI kg/ha/ano	Total kg/ha/ano
Cancela	6,94	1,47	8,41
AC	2,31	0,91	3,22

Kim et al. (2004) encontraram carga de resíduo sólido inorgânico, por evento, entre 1,25 a 15,60 kg/ha. O material era coletado em bolsas conectadas diretamente aos condutos de drenagem, em uma área com alta impermeabilidade. Esta característica facilita o transporte de materiais pela chuva, pois impede a retenção destes na vegetação local, uma vez que estas são reduzidas. Os valores para as bacias Alto da Colina e Cancela foram 0,45 e 0,98 kg/ha, respectivamente. Estes valores foram uniformizados para as unidades apresentadas no trabalho de Kim et al. (2004) o que possibilitou a comparação. As diferenças encontradas são explicadas pelas características de cada área.

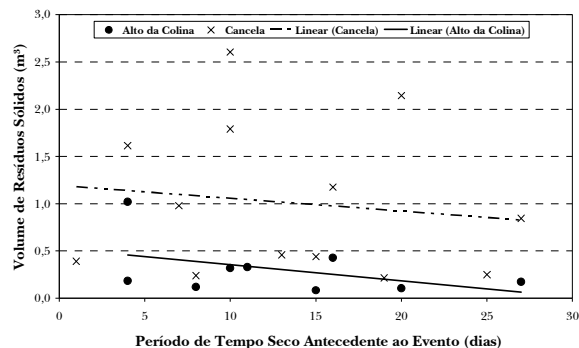


Figura 7 - Correlação entre volume de resíduos transportados e o PTSA para as duas bacias estudadas

O transporte de resíduos sólidos apresentou tendência crescente com o volume do escoamento superficial e com o total precipitado, em ambas as bacias analisadas. O volume de resíduo transportado durante os eventos não apresentou correlação com o período de tempo seco antecedente ao evento, conforme figura 7. (Brites, 2005). Este fato foi constatado por outros pesquisadores como Deletic & Orr, 2005.

As bacias hidrográficas mostraram semelhanças quanto à composição geral do material analisado, porém, algumas diferenças foram observadas e relacionadas ao tipo de uso e ocupação do solo.

A figura 8 ilustra a composição, em volume, dos resíduos sólidos coletados nas bacias Cancela e Alto da Colina. Para uma melhor visualização dos valores, a matéria orgânica foi desconsiderada do montante, possibilitando a análise apenas do resíduo inorgânico. A matéria orgânica compôs 72 e 63% do material retido nas bacias Cancela e Alto da Colina, respectivamente.

O material mais abundante foi o plástico, composto, principalmente, de garrafas PET e sacolas. A bacia Alto da Colina apresentou 78% de plástico em sua composição contra os 51% da bacia Cancela, justificado pela quantidade de sacolas plásticas que permanecem retidas na vegetação das margens do corpo d'água desta.

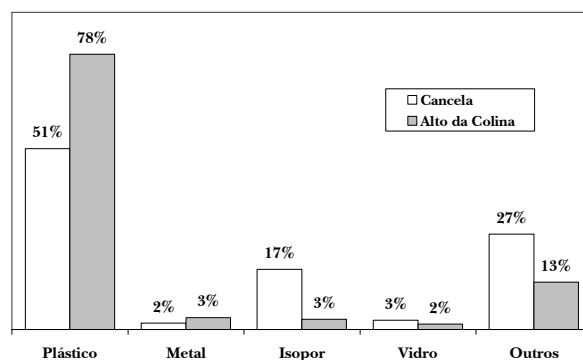


Figura 8 - Composição dos resíduos sólidos inorgânicos para as bacias hidrográficas Cancela e Alto da Colina

A quantidade de isopor encontrada na bacia Cancela, 17%, foi mais significativa que no Alto da Colina, 3%, devido a maior contribuição de áreas comerciais, onde o material é muito utilizado para proteção de eletrodomésticos.

A classe outros foi mais representativa na bacia Cancela, 27%, que na bacia Alto da Colina, 13%. Estes valores estão associados com o tipo de uso e ocupação do solo de cada área. A bacia Cancela apresenta maior área, densidade populacional e, consequentemente, maior diversidade de materiais utilizados quando comparado a bacia Alto da Colina. As percentagens de vidros e metais foram semelhantes para as duas áreas.

Observa-se que a composição de resíduos sólidos nas duas bacias foi semelhante à encontra-

da por Gamtron (1992), apud Allison et al. (1998), onde a matéria orgânica foi o material mais abundante, constituindo 71% do total, seguido por plástico, vidro, metais e papéis.

A relação entre a qualidade da água com os resíduos sólidos foi realizada através da correlação entre carga poluente de DBO_5 e volume de resíduos sólidos transportados, porém, não foi analisado qual o material causaria maior carga de DBO_5 . Esta correlação foi aplicada na bacia Cancela, pois foram analisados os eventos onde o monitoramento foi simultâneo. A figura 9 mostra o resultado desta correlação.

Observa-se na figura 9 uma tendência crescente entre carga de DBO_5 e volume de resíduos transportados no mesmo evento. Esta correlação não se mostrou maior devido à qualidade da água na bacia Cancela sofrer influência do lançamento de esgoto doméstico, tornando difícil separar as cargas dos dois tipos de lançamento, ou seja, drenagem urbana e esgoto doméstico.

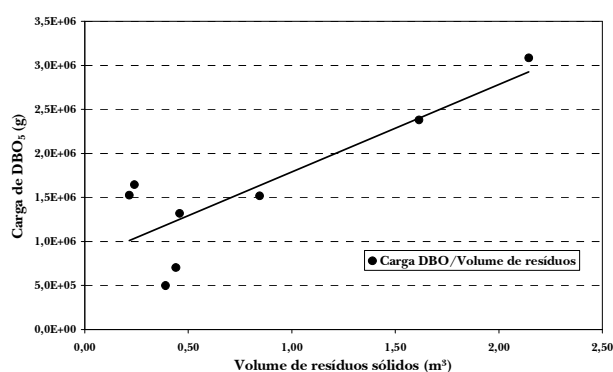


Figura 9 - Correlação entre carga de DBO_5 e volume de resíduos transportados durante um mesmo evento

CONCLUSÕES

O presente estudo avaliou as cargas de resíduos sólidos e de poluentes da água transportada pelo escoamento superficial urbano em duas bacias hidrográficas, do município de Santa Maria – RS. Os resultados encontrados foram comparados entre si, analisando os possíveis fatores intervenientes: precipitação, uso e ocupação do solo, características físicas da área e período de tempo seco antecedente ao evento.

As concentrações dos eventos foram superiores às de tempo seco, indicando que o escoamento

superficial afeta a qualidade da água do corpo receptor.

A carga difusa e de resíduos obtidas mostraram-se relacionadas com as características próprias de cada bacia, principalmente com o uso e ocupação do solo.

A massa poluente transportada nos eventos mostrou tendência a aumentar com as características de precipitação.

As duas bacias apresentaram tendência crescente entre a quantidade de resíduos transportados e as características de precipitação.

Não foram observadas correlações entre a massa poluente e de resíduos sólidos transportados com o PTSA.

No estudo foi possível observar a variabilidade na ocorrência e na intensidade do fenômeno de carga de lavagem.

As bacias estudadas apresentam processo de degradação da qualidade de suas águas devido às atividades antrópicas, como o crescimento urbano, despejo clandestino de esgoto doméstico e lançamento de resíduos sólidos nos corpos receptores.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CT-HIDRO pelo financiamento à pesquisa; a CAPES e ao CNPq pelas bolsas de mestrado e de pesquisa concedidas aos autores do trabalho; ao Grupo GHIDROS pelo fornecimento dos dados hidrológicos; ao Técnico Alcides Sartori e aos bolsistas de iniciação científica, Júlio César Cerezer, Marcelo Pereira Jorge, Sabrina Hagemann, Thiago Zanini, pelo auxílio nos trabalhos de campo e laboratoriais.

REFERÊNCIAS

- ALLISON, R. A., WALKER, T. A., CHIEW, F. H. S., O'NEILL, I. C.; MCMAHON, T. A. *From Roads to Rivers – Gross Pollutant Removal from Urban Waterways*. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Report 98/3, 102 p., 1998.
- APHA, AWWA, WEF. *Standard methods for the Examination of water and Wastewater*. 20a ed., Public Health Association Inc., New York, 1998.
- ARMITAGE, N.; ROOSEBOOM, S. *The Removal of Litter from Stormwater Conduits and Streams: Paper 1 –*

- The Quantities Involved and Catchment Litter Management Options.* Water S.A., v. 26, n. 2, p. 181-187, 2000.
- BRITES, A.P.Z. *Avaliação da Qualidade da Água e dos Resíduos Sólidos no Sistema de Drenagem Urbana.* 177f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Hidráulica e Saneamento – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.
- CHOE, J.S.; BANG, K.W.; LEE, J.H. *Characterization of Surface Runoff in Urban Areas.* Water Science and Technology, v.45, n. 9, p. 249-254, 2002.
- DELETIC, A. *The First Flush Load of Urban Surface Runoff.* Water Research. v. 32, n. 8, p. 2462-2470, 1998.
- DELETIC, A. & ORR, D.W. *Pollution buildup on road surfaces.* Journal of Environmental Engineering-ASCE. v.131, n.1, pp.391-396, 2005.
- DE LUCA, S.J.; MILANO, L.B.; IDE, C.N. *Rain and Urban Stormwater Quality.* Water Science and Technology. Kyoto, v.23, pp.133-140, 1991.
- GOMES, L.A. & CHAUDHRY, F.H. *Aspectos Qualitativos das Águas Pluviais Urbanas.* In: 11º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Fortaleza, 1981.
- GUPTA, K. & SAUL, A.J. *Specific Relationships for the First Flush Load in Combined Sewer Flows.* Water Research. v. 30, n.5, p. 1244-1252, 1996a.
- KIM, L., KAYHANIAN, M.; STENSTROM, M. *Event Mean Concentration and Loading of Litter from Highways During Storms.* Science of the Total Environment 330, p. 101-113, 2004.
- LEE, J. H.; BANG, K. W.; KETCHUM, L.H.; CHOE, J.S.; YU, M.J. *First Flush Analysis of Urban Storm Runoff.* Science of the Total Environment 293, p. 163-175, 2002.
- LINE, D.E.; WHITE, N.M.; OSMOND, D.L.; JENNINGS, G.D.; MOJONNIER, C.B. *Pollutant Export from Various Land Uses in the Upper Neuse River Basin.* Water Environment Research, v. 74, n. 1, p. 100-108, 2002
- PAZ, M. *Estudo Comparativo da Carga de Lavagem em Bacias Urbana e Rural.* 161f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Hidráulica e Saneamento – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.
- PORTO, M. & MASINI, L.S. *Avaliação Preliminar na Carga Difusa na Bacia do Rio Cabuçu de Baixo.* In: I Seminário de Drenagem Urbana do Mercosul, Porto Alegre, 2001.
- UMEZAWA, P.K. *Previsão de Deplúvio (washload) em Rios de Áreas Elevadas.* 217 p. Dissertação (Mestrado em Hidrologia Aplicada). Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1979.

Evaluation of Pollution Load in the Drainage System of Two Urban Catchments

ABSTRACT

This work was developed to evaluate the pollutant load of water and litter carried by the urban drainage network, in two catchments in Santa Maria – RS. The Cancela catchment area is 4.95km², 56% urban; the Alto da Colina catchment is 1.90 km², 22.3% urban. Water quality characteristics were evaluated using the following parameters: BOD, total and faecal coliforms and suspended solids. The solid wastes were evaluated by quantification in weight and volume. The results indicate that Cancela catchment had a diffuse and litter load than the Alto da Colina catchment, showing the degradation process associated with the characteristics of each area studied, such as size and, mainly, land use and occupation. The catchments presented a strong degradation process due to human activities such as growth of urbanization, sewage discharges and litter released into the receiving bodies.

Key-words: Urban drainage, diffuse load, first flush, litter