

Resíduos Sólidos na Drenagem Urbana: Estudo de Caso

Marllus G. F. P. das Neves

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
marllus2002@yahoo.com.br

Carlos E. M. Tucci

Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS
tucci@iph.ufrgs.br

Recebido: 30/07/07 – revisado: 09/12/07 – aceito: 17/10/08

RESUMO

A quantificação dos resíduos sólidos na drenagem é fundamental para uma gestão apropriada das águas urbanas e a sustentabilidade ambiental. No primeiro artigo desta seqüência de dois, foram apresentados os conceitos sobre a quantificação e gestão dos resíduos sólidos na drenagem urbana. Neste artigo são apresentadas as informações utilizadas e metodologias aplicadas para estimar esses resíduos numa bacia hidrográfica urbana de Porto Alegre. As informações e metodologias são: (a) a quantidade de resíduos que atinge a drenagem urbana, obtida por meio de um método indireto com base nos dados de limpeza urbana e de precipitação; (b) medida do total de resíduos sólidos que atingiu a saída da bacia hidrográfica, obtida por meio da medição de volumes que atingiram a seção de saída, correspondente ao poço da casa de bombas de número 12, a jusante da bacia de retenção do parque Marinha do Brasil em Porto Alegre. A bacia utilizada na pesquisa possui 1,92km², dos quais 63% estão urbanizados com áreas comerciais e residenciais. Os resultados da observação indicam que uma massa de 288kg de lixo atingiu a saída da bacia na detenção num período de 8 meses, enquanto foi estimado, pelo método indireto, que no mesmo período 940kg entraram na drenagem. A diferença entre as duas estimativas é atribuída ao material retido, diluído nos condutos da bacia ou que ainda não foi transportado até a sua saída. Portanto, somente 30,6% ou 33,2 g · hab⁻¹ · ano⁻¹ dos resíduos sólidos atingiu a saída da bacia.

Palavras-chave: Resíduos sólidos; drenagem urbana.

INTRODUÇÃO

A quantificação dos resíduos sólidos é essencial para uma adequada gestão das fontes e redução dos resíduos sobre os sistemas hídricos. Os principais efeitos destes resíduos sobre o sistema de drenagem são: (a) obstrução do sistema de drenagem e aumento da frequência de inundações; (b) degradação ambiental dos sistemas hídricos por resíduos que apresentam alto tempo de vida no ambiente. Os sólidos totais são compostos por sedimentos, matéria vegetal, entre outros e resíduos gerados pela população, denominados aqui de resíduos sólidos.

A quantidade que atinge a drenagem urbana depende eficiência dos sistemas de coleta e limpeza. No Brasil existem poucos dados sobre a quantidade de resíduos na drenagem, sendo os mesmos recentes. Este artigo procura então contribuir com a busca de parâmetros para a estimativa das cargas, aplicando dois métodos de estimativa e um balanço de massa, descritos a seguir.

METODOLOGIA DE ESTIMATIVA

Foram utilizadas dois métodos de quantificação (figura 1), denominados aqui de quantificação direta e indireta. Na quantificação direta foram medidos os resíduos *na saída da bacia* com base na pesagem e caracterização do material vindo pela rede de drenagem. Para a quantificação indireta foi medida a quantidade de resíduos *na entrada da drenagem* a partir de dados de chuva e varrição diários.

Esses valores, para um período definido podem ser expressos por

$$R_{sb} = R_{ed} + \Delta S \quad (1)$$

onde R_{sb} = resíduo na saída da bacia obtida por medidas; R_{ed} = resíduo que entra na drenagem, obtido pelo método indireto; Δs = variação de resíduo retido no sistema de drenagem.

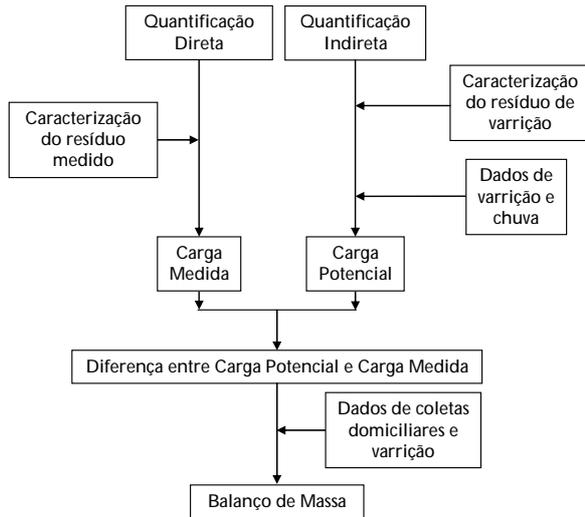


Figura 1 - Processo de estimativa da quantidade de resíduos sólidos no sistema de drenagem.

A diferença entre os dois procedimentos existe devido ao seguinte: (a) não medem a mesma variável e (b) o método indireto é um indicativo do valor efetivo.

ÁREA DE ESTUDO

O sistema de drenagem urbana de Porto Alegre, cidade onde se situa a área de estudo, foi implantado a partir de diversos estudos de planejamento, realizados desde a década de 1960, surgindo a concepção atual do sistema, composto por diques de proteção contra inundações, estações de bombeamento, condutos forçados e demais redes. Em função dos diques e casas de bombas, o sistema pode ser dividido em duas regiões: área abaixo da cota 9 metros sobre o nível médio do mar (m.s.n.m.), drenada através das 18 casas de bombas existentes ao longo das margens, e área acima da cota 9 m.s.n.m.m., drenada por condutos forçados para os rios ou arroios principais (PORTO ALEGRE, 2002).

A bacia hidrográfica estudada drena a água para a casa de bombas de número 12 (CB12), possuindo área de drenagem de 1,92 km², com 21% de ocupação comercial (principalmente em duas das principais avenidas da cidade), 42% de área residencial e o restante da bacia com áreas verdes com grande declividade (figura 2). A bacia é íngreme nas cabeceiras e plana perto do parque Marinha do Brasil. Das 6 sub-bacias (figura 3), a situada mais ao sul é a única que drena diretamente para a CB12. As

demais contribuem primeiramente para a bacia de retenção do parque. A figura 4 mostra a localização do reservatório, com a rede de macrodrenagem.



Figura 2 - Bacia hidrográfica em Porto Alegre (Neves, 2006).

Coleta de resíduos e limpeza urbana

Na bacia hidrográfica há coleta domiciliar, coleta seletiva e varrição que abrangem praticamente toda a sua área. Na maior parte da bacia (71%), o serviço de varrição fica a cargo das equipes da seção Sudeste do Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU). Uma parcela pequena da bacia fica sob responsabilidade das equipes da seção Cruzeiro do DMLU.

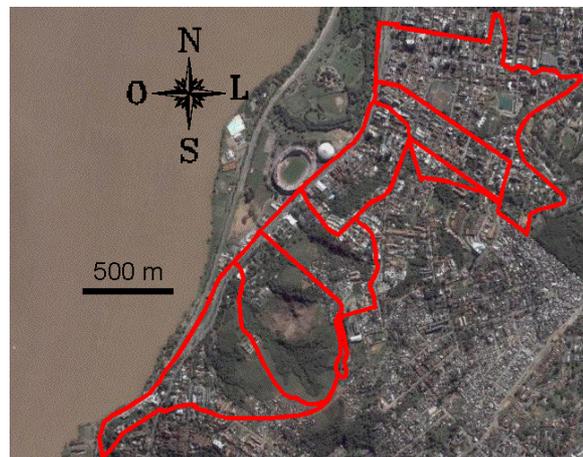


Figura 3 - Imagem de satélite sobre a área da bacia (Neves, 2006)

Não se percebe pontos com despejos clandestinos de resíduos sólidos domiciliares. Contudo, por haver avenidas importantes, com vários pontos de parada de ônibus, comércio, carros transitando

da zona sul para o centro da cidade, há uma maior possibilidade de serem vistos resíduos nas sarjetas como: papéis de jornal, informes e panfletos, latas de refrigerante e garrafas PET, copos de plástico, sacos plásticos, entre outros. Isto fica sob responsabilidade das equipes de varrição.

Quanto à limpeza e desobstrução de redes, é função da seção Leste do Departamento de Esgotos Pluviais (DEP). Na época da execução desta pesquisa, entre novembro de 2003 e junho de 2004, este serviço era acionado somente após solicitação de moradores incomodados com o acúmulo de água nas ruas.

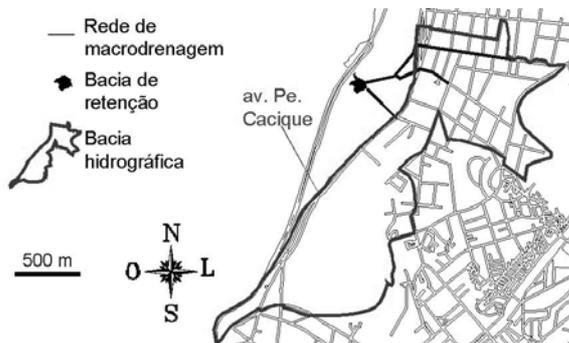


Figura 4 - Macrodrenagem, arruamento e localização da bacia de retenção (Neves, 2006)



Figura 5 - Ruas e avenidas principais varridas na seção Sudeste do DMLU-PortoAlegre (Neves, 2006).

A cobertura da seção Sudeste de varrição abrange uma área de 24,2km² (figuras 5 e 6). A área efetivamente varrida (hachurada em cinza na figura 5) soma 14,7km². Nessa seção, há três subseções, sendo uma delas responsável pela região da bacia hidrográfica. Os logradouros são divididos naqueles que são varridos diariamente, e naqueles chamados bairros, que são varridos 1, 2 ou 3 vezes por semana, quinzenalmente, mensalmente ou eventualmente.

A inserção regional da bacia hidrográfica na seção sudeste está apresentada na figura 6 e as frequências programadas de varrição na figura 7: a var-

rição diária corresponde às avenidas principais; algumas ruas interiores importantes são programadas para serem varridas segundas, quartas e sextas-feiras; as avenidas em vermelho são pertencentes à seção de limpeza urbana Cruzeiro do DMLU.

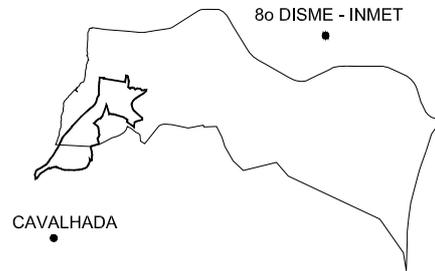


Figura 6 - Inserção regional da bacia na seção Sudeste e postos de chuva (Neves, 2006).

As áreas das parcelas dos bairros varridas na bacia somam 0,956km², o que corresponde a 49,8% da área total. As demais praticamente não possuem ruas e boa parte é composta de vegetação. A parte da bacia que está na seção de varrição Cruzeiro contribui com cerca de 3,6% do total da bacia, no que tange à coleta mensal de varrição em peso. Trata-se basicamente da sub-bacia que drena diretamente para a CB 12, citada anteriormente.

QUANTIFICAÇÃO DIRETA

O total de lixo carregado até a seção de saída da bacia hidrográfica foi obtido pela medição dos volumes de resíduos que chegam na detenção e ficam retidos nas grades do poço da Casa de Bombas de número 12 (CB12), que corresponde à saída da detenção. O local de coleta dos resíduos foi escolhido por existir um serviço de limpeza do poço.

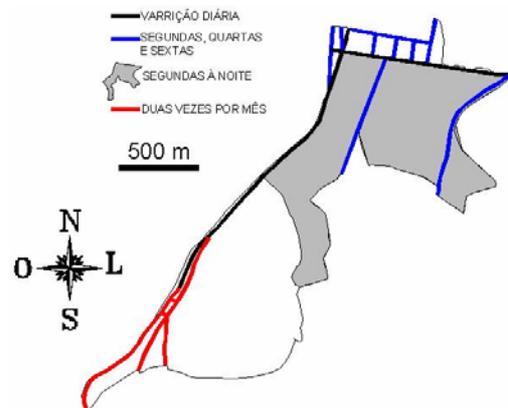


Figura 7 - Frequências de varrição na bacia hidrográfica (Neves, 2006)

Tabela 1 - Pesos, após secagem, dos resíduos que atingiram o poço da casa de bombas de número 12

Data	Pesado (kg)	Fator	Peso corrigido (kg)	Data	Pesado (kg)	Fator	Peso corrigido (kg)
14/11/2003	4,04	0,65	6,22	1/3/2004	0,00	1,00	0,00
17/11/2003	2,23	1,00	2,23	5/3/2004	1,26	1,00	1,26
28/11/2003	0,00	1,00	0,00	8/3/2004	0,00	1,00	0,00
1/12/2003	4,24	1,00	4,24	12/3/2004	1,43	1,00	1,43
5/12/2003	0,78	1,00	0,78	15/3/2004	0,00	1,00	0,00
8/12/2003	0	1,00	0,00	19/3/2004	0,00	1,00	0,00
12/12/2003	18,1	0,65	27,85	22/3/2004	0,00	1,00	0,00
15/12/2003	18,84	0,65	28,98	23/3/2004	0,00	1,00	0,00
19/12/2003	0,00	1,00	0,00	26/3/2004	1,45	1,00	1,45
22/12/2003	2,29	0,65	3,52	29/3/2004	0,31	1,00	0,31
26/12/2003	2,50	1,00	2,50	2/4/2004	0,23	1,00	0,23
29/12/2003	1,43	1,00	1,43	5/4/2004	1,35	1,00	1,35
2/1/2004	1,47	1,00	1,47	9/4/2004	0,07	1,00	0,07
5/1/2004	0,97	1,00	0,97	12/4/2004	0,17	1,00	0,17
9/1/2003	0,00	1,00	0,00	16/4/2004	0,00	1,00	0,00
12/1/2003	0,00	1,00	0,00	19/4/2004	26,55	0,65	40,85
16/1/2003	0,00	1,00	0,00	30/4/2004	1,09	1,00	1,09
19/1/2003	0,00	1,00	0,00	3/5/2004	1,61	1,00	1,61
23/1/2003	0,00	1,00	0,00	4/5/2004	15,68	0,65	24,12
26/1/2004	8,81	0,65	13,56	7/5/2004	13,62	0,65	20,95
30/1/2004	6,89	0,65	10,60	20/5/2004	1,80	0,65	2,76
2/2/2004	0,00	1,00	0,00	22/5/2004	15,00	0,65	23,08
4/2/2004	4,18	0,65	6,43	26/5/2004	3,36	0,65	5,17
5/2/2004	9,55	0,65	14,69	28/5/2004	0,68	0,65	1,05
6/2/2004	4,61	0,65	7,09	3/6/2004	0,79	1,00	0,79
13/2/2004	1,35	1,00	1,35	10/6/2004	13,56	0,65	20,86
20/2/2004	0,00	1,00	0,00	19/6/2004	3,45	0,65	5,31
27/2/2004	0,00	1,00	0,00	total	195,74		287,81

As grades têm abertura de 5 cm e impedem a chegada do material às bombas, depois de terem passado por uma bacia de retenção. Assim, considerou-se a eficiência de retenção semelhante ao caso das GPTs (*Gross Pollutants Traps*), mostradas em Allison et al. (1998). As GPTs reduzem a velocidade média do escoamento através de uma Bacia de retenção. Parte do material sedimenta e o restante flutua, sendo este retido em uma grade colocada a jusante, geralmente sobre um vertedor. A eficiência

(relação material retido/material total) máxima de retenção é de 65% (Allison et al., 1998).

Há três observações em relação às considerações acima: a primeira é que há um zelador na casa de bombas que trabalha na limpeza, recolhendo o material que atinge a grade, inclusive sob chuva; a segunda observação é a própria bomba, que imprime uma velocidade maior ao material que chega, causando maior dificuldade para o zelador; a terceira observação é que, como não há limpeza

constante na bacia de retenção, o aporte de águas residuárias de forma clandestina nos condutos pluviais, e que também atinge a bacia de retenção, ocasiona a proliferação de aguapés que “diminuem a malha” da grade. Dessa forma, o zelador retira material de tamanho inferior a 5 cm, junto com a vegetação. Então, se por um lado o zelador com o seu trabalho e o aguapé na grade aumentam a eficiência de remoção, as bombas forçam parte do material para ultrapassar a barreira da grade, diminuindo a eficiência.

O que se observou nos 8 meses de visitas ao local foi: quando o material é retirado pelo zelador com a velocidade das águas baixas ou quando bombas são ligadas somente no intuito de esvaziar o poço ou aproximar os resíduos que ainda se encontram longe das grades, a eficiência torna-se praticamente 100%.

Quando há eventos que ocasionam uma elevação rápida do nível da bacia de retenção, obrigando o acionamento de bombas, a eficiência cai um pouco. Em ocasiões como essa, observaram-se algumas sacolas, umas poucas latas de refrigerante, pequenos pedaços de isopor e outros materiais pequenos passando pelas grades. Observou-se também que houve um período onde a presença dos aguapés diminuiu. Isso ocorreu entre abril e julho, pois houve uma limpeza da bacia de retenção em abril. Neste caso, a ação das bombas diminuiu a eficiência.

Sendo assim, neste artigo as eficiências adotadas assumiram dois valores, em função destas peculiaridades: 65 e 100 %. Os totais de resíduos flutuantes foram divididos pelo fator eficiência de 65% nos dias de forte precipitação, onde a ação da mesma e o estímulo das bombas forçavam os resíduos a passarem pela grade. Nos meses de abril, maio e junho, isso foi mais freqüente, conforme tabela 1, onde estão os pesos pós-secagem. Os valores totais para o período de 8 meses são: sem a correção pelos valores de eficiência, 195,74 kg e com a correção 287,81 kg. Logo, a eficiência global no período foi de $100 \cdot 195,74 / 287,81 = 68\%$.

Inicialmente, planejaram-se visitas com uma freqüência de 2 vezes por semana. Após as observações prévias a freqüência foi aumentada para 3 vezes ou mais por semana. O resíduo era retirado, deixava-se secando ao sol para posterior caracterização. Depois era pesado e associado ao dia que chegou. Constatou-se uma tendência crescente da relação entre a precipitação e o volume coletado de resíduos nos intervalos de tempo mensal, quinzenal e semanal, sendo o intervalo quinzenal com uma tendência mais próxima da linear (figura 8). Observou-se também que, sobretudo no caso mensal (figura 9), quanto maior a varrição, menor a coleta no po-

ço. Mais varrição significa um maior número de dias em que foi possível o trabalho das equipes de limpeza e/ou mais material no solo. Logo, podem ser obtidas relações entre o número médio de dias anteriores secos com os totais coletados.

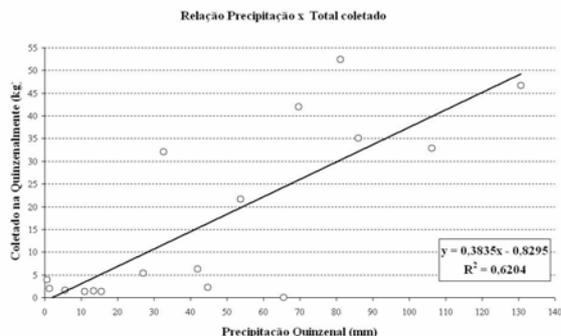


Figura 8 - Relação dos valores coletados com a precipitação para o intervalo quinzenal (Neves, 2006)

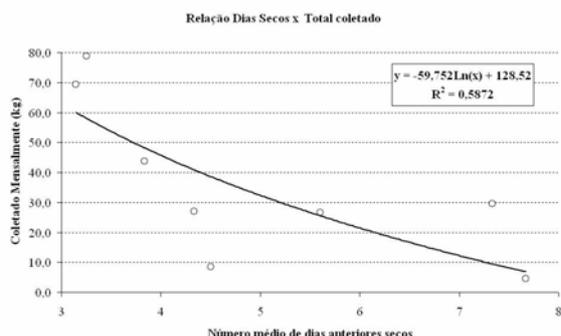


Figura 9 - Relação dos valores coletados com o número médio de dias anteriores secos para o intervalo mensal (Neves, 2006)

RETENÇÃO DO MATERIAL SÓLIDO NA DRENAGEM

No dia 05 de janeiro de 2004, foram lançadas quatro garrafas pequenas de água mineral em bocas-de-lobo espalhadas pela bacia (1,5 km de distância da detenção) para observar o tempo médio entre o lançamento e a chegada do material à CB12. As garrafas foram bem fechadas com fitas e dentro havia um papel protegido que indicava o local e a data de lançamento.

A primeira atingiu o poço da CB12 no dia 15 de abril (100 dias depois) e a segunda no dia 13 de maio (128 dias) do mesmo ano. Nos dias próxi-

mos a 15 de abril não houve precipitação, exceto no dia 09 de abril, atingindo um total de 4 mm.

No dia 07 de maio, houve forte precipitação, o que pode ter desprendido boa parte do lixo na rede.

As demais garrafas não foram encontradas na CB12, o que somente constata que é necessária uma série de experimentos sistemáticos para se obter o tempo em que o material é retido na rede. O período em questão foi de pequenas precipitações e, provavelmente, o tempo de deslocamento depende do período chuvoso, mas também existe uma forte tendência de retenção dos resíduos no sistema de drenagem.

QUANTIFICAÇÃO INDIRETA

Para essa quantificação, foram considerados dois grupos de dados: (a) valores coletados em dias chuvosos; (b) valores coletados em dias secos. O método parte do pressuposto de que o valor não coletado nos dias chuvosos atinge a rede de drenagem.

A metodologia possui duas etapas distintas: (a) estudo de um valor ou uma faixa que promova a separação entre os grupos (desprezando chuvas muito pequenas); (b) quantificação a partir de parâmetros destes grupos.

Precipitação de corte

Considerando uma série de n valores de precipitação P e outra série de n valores de varrição V_r (em massa, distância varrida ou volume) com o mesmo intervalo de tempo e no mesmo período, denomina-se de P_i a precipitação e de V_{r_i} a varrição, ambos no dia i .

A precipitação de corte P_c divide os dados de varrição de tal forma que, se $P_i \leq P_c$, o valor de V_i correspondente será do grupo 1, senão será do grupo 2. O grupo 1 possuirá k valores e o grupo 2 j valores ($j=n-k$).

A varrição do dia i que está no grupo 1 agora será denominada de L_{r_i} , enquanto que aquela que está no grupo 2 será denominada de L_{c_i} .

Segundo Neves (2006), testes com os dados não permitiram afirmar a existência de uma precipitação de corte que possibilitasse a formação dos grupos, como foi suposto anteriormente. Dessa forma, adotou-se o valor de 0,5 mm. Esse valor possui um grau de subjetividade, mas pode ser considerado um valor não nulo característico de dias secos. Não se deixa de varrer por causa de precipitações tão pe-

quenas. Em outras palavras, não se varre somente se a precipitação diária for nula.

Métodos:

Considerando que os k valores de L_r possuem uma média L_{mr} e os j valores de L_c uma média L_{mc} , foram definidos dois métodos:

Método 1: Tomando as médias L_{mr} e L_{mc} , pode-se estimar um valor indicativo da carga na drenagem DF (carga potencial da figura 1) por

$$DF = nd(L_{mc} - L_{mr}) \quad (2)$$

onde nd é o número de dias chuvosos ($P > P_c$).

Método 2: Neste procedimento, utiliza-se o ajuste de uma distribuição estatística aos dois grupos de dados e o método de Monte Carlo para obter a distribuição estatística da diferença dos valores. A metodologia é a seguinte:

- Considere F_1 a distribuição estatística de valores do grupo de dias secos (valores L_r) e F_2 a distribuição estatística dos valores de dias com chuvas (valores L_c).
- Para um período definido de tempo (alguns meses ou anos, no estudo foram oito meses), em cada intervalo de tempo i , se $P_i < P_c$, $DF=0$, se $P_i > P_c$ são gerados dois números aleatórios com as distribuições F_1 e F_2 . A diferença DF é calculada pela equação 2.
- calcula-se $DF(r)$ como a soma dos valores de DF_i no período;
- repetem-se os passos b e c para um número muito grande ns ($r=1,2,..,ns$);
- ajusta-se uma distribuição estatística aos valores de $DF(r)$.

O ajuste dos grupos provoca grande possibilidade de haver geração aleatória de valores do grupo 1 menores que os valores do grupo 2 (DF s diários aleatórios negativos), pois as duas distribuições resultantes são muito parecidas. Segundo Neves (2006), a geração de valores negativos após o ajuste dos grupos, apesar de sem significado físico para DF , serviu de compensação aos valores positivos para que o resultado preservasse o valor da média semelhante ao resultado do método 1.

Dados Utilizados

Os dados obtidos nesta pesquisa são: precipitação total diária e varrição diária, caracterização

do sistema de drenagem e da bacia no DEP e dados para caracterização da limpeza urbana no DMLU.

Os dados de varrição são os seguintes:

- totais coletados diários nas ruas da seção sudeste de varrição no período de estudo;
- relatórios mensais de fiscalização das ruas varridas na seção sudeste do DMLU no período de estudo;
- mapas em meio digital das seções de limpeza, setores de coleta domiciliar e cadastros de redes de drenagem pluvial em papel.

Os dados de precipitação foram: pluviômetro do 8º Distrito de meteorologia do INMET e pluviógrafo do arroio Cavalhada, próximo ao local (Figura 6).

Os dados diários de varrição dizem respeito à seção Sudeste. Para transferir para bacia em estudo, testaram-se dois critérios: (a) massa específica (massa/área); (b) comprimento específico (massa/comprimento). Para o primeiro caso, dispõe-se do valor de área efetivamente varrida da seção Sudeste. Como a bacia hidrográfica em estudo não possui dentro da sua área despejo clandestino e as equipes de varrição praticamente coletam material de todas as ruas, verificou-se que a transferência adotada não é fonte de erro significativo, ou seja, são utilizadas as áreas: 14,65 km² para a seção Sudeste e 0,956 km² para a bacia (área efetivamente urbanizada).

A aplicação da separação dos grupos permite verificar se há inconsistência nos dados, consolidando a amostra obtida a partir da análise realizada anteriormente. A extrapolação pelo comprimento de varrição mostrou incertezas que levam a valores incoerentes, enquanto que pela área da bacia a extrapolação mostrou resultados adequados.

Amostras de segunda a sexta (sem feriados)

A amostra resultante para aplicação é aquela com 171 valores diários de varrição em quilogramas, após a retirada dos valores que ocorrem nos finais de semana, do dia 1º de janeiro e da terça-feira de carnaval. Desta forma, os métodos indiretos obtêm um valor de DF na seção sudeste, DF_{SE} em kg. Este valor é dividido pela área efetiva de 14,65 km², surgindo assim o DF específico, DF_{esp.SE} em kg/km². O resultado desta operação é utilizado na transferência para a bacia hidrográfica.

Resultados do Método 1

Para o período em estudo e os dados em kg, Lmc=6.073,9 kg/dia (média dos dias secos da região Sudeste) e Lmr=5.377,9kg/dia (média dos dias com chuva da região Sudeste). O valor de nd foi de 47 dias, ou seja, cerca de um dia chuvoso a cada 4 dias. Assim, aplicando a equação 2: DF_{SE} = 47·(6.073,9 - 5.377,9)=32.712 kg.

O valor por unidade de bacia pode ser obtido da seguinte forma:

$$DF_{esp.SE} = 32.712 / 14,65 = 2.232,9 \text{ kg/km}^2$$

Para transferir para a bacia hidrográfica em estudo é necessário multiplicar pela sua área e pela proporção de resíduos sólidos produzidos pela população se comparado ao total da varrição urbana (engloba também sedimentos, galhos, folhas, pedras, etc). O valor médio obtido de várias amostras é de 23%.

$$DF_{bacia} = 0,23 DF_{esp.SE} \cdot A_{bacia} = 491 \text{ kg}$$

onde A_{bacia} é a área efetiva de varrição da bacia hidrográfica (neste caso, 0,952 km²).

Resultados do Método 2

Os grupos separados também são os mesmos e as amostras se ajustaram bem a uma distribuição normal (figuras 10 e 11).

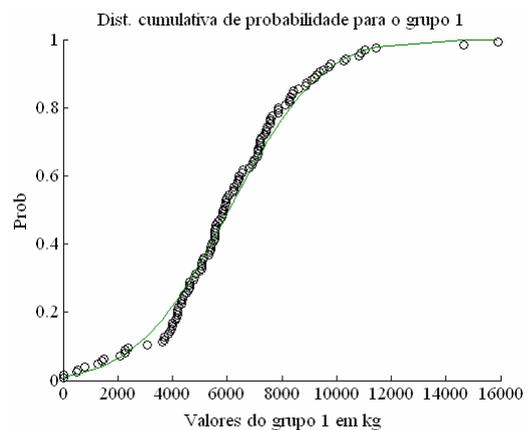


Figura 10 - Ajuste dos valores de amostra de dias secos a distribuição de probabilidade normal

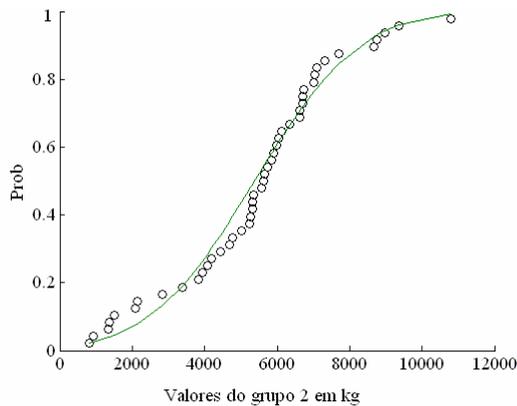


Figura 11 - Ajuste dos valores de amostra de dias chuvosos a distribuição de probabilidade normal

Para cada dia foi gerado um número aleatório para F1 e F2 e obtidos os valores de acordo com a sua distribuição e, logo após, os valores da diferença entre eles, considerando a condição estabelecida de precipitação. A soma desses valores representa um ponto amostral. Esse processo é repetido 1.000 vezes, obtendo-se um valor médio.

Tomando-se agora 100 conjuntos ou amostras de 1.000 valores, foi construída uma distribuição amostral dos valores esperados, ajustando-se bem a uma distribuição normal, configurando assim a distribuição amostral. A média da distribuição amostral de DF foi de 32.684,6 kg e desvio padrão de 759,5 kg na seção Sudeste. Para 95% de nível de confiança o intervalo é o seguinte:

$$DF_{SE} = 32.684,6 \pm 1.488,6 \text{ kg}$$

Da mesma forma que no método 1, obtém-se para a bacia:

$$DF_{bacia} = 490,5 \pm 22,3 \text{ kg}$$

Esse valor corresponde à amostra de 171 valores diários, sem os finais de semana, incluídos na análise seguinte, aumentando o valor de DF.

Análise de tendenciosidade dos períodos de coleta

A parcela de DF para o caso dos sábados e domingos e feriados é chamada de DFDS. Os fins de semana não possuem coleta obrigatória e a coleta é bem menor que nos demais dias. No período de estudo, a participação no total coletado foi de 10,6%, ou seja, 89,4% corresponderam aos demais dias da semana.

A média coletada pela varrição na seção sudeste do DMLU, no período de estudo foi de 4.632,88kg/dia. A média coletada nos fins de semana foi cerca de 26,5% inferior. Nas segundas-feiras, coletaram-se 37,7% a mais que a média. O valor de segunda-feira é 87,3% superior à média dos finais de semana.

Entretanto, ocorreram situações diferentes:

- Final de semana com maior coleta que o normal, seguido de segundas-feiras com menor coleta que o normal, caracterizando uma compensação;
- Final de semana em que a coleta não foi realizada ou foi realizada com deficiência, seguido de segundas-feiras com menor coleta que o normal. Espera-se neste caso o contrário para segunda-feira, ou seja, que a segunda-feira apresente valores maiores que o normal por causa do acúmulo de sólidos nas sarjetas.

Considerando as ocorrências não esperadas, ou seja, quando o início de semana não compensa o reduzido valor coletado no fim de semana, admite-se que o montante participa da composição de DFDS. O primeiro passo é identificar quando ocorreram dois fatos ao mesmo tempo: fim de semana com coleta inferior a 0,735 da média do período de estudo e segunda-feira com coleta inferior à média multiplicada por 1,377.

Assim, como no método 1 já apresentado, são criados dois grupos: um representa os dias em que houve a tal coincidência e outro representa os dias em que não houve. Denominando de LFDS a média do primeiro grupo, de LS a média do segundo e nds o número de dias em que ocorreram os valores do primeiro grupo, aparece uma equação semelhante à equação 2:

$$DFDS = nds(LFDS - LS) \quad (3)$$

A transferência para a bacia hidrográfica é feita da mesma maneira que foi para DF e os resultados foram: $DFDS_{SE} = 30.031,6 \text{ kg}$, $DFDS_{esp,SE} = 2.049,9 \text{ kg/km}^2$ e $DFDS_{bacia} = 450,7 \text{ kg}$. A incerteza pode ser inserida da mesma maneira que no método 2. A média da distribuição amostral de DFDS esperado foi de 29.960,5kg e desvio padrão de 386,3 kg na seção sudeste. Para 95% de nível de confiança, vale o intervalo $DFDS_{SE} = 29.960,5 \pm 757,13 \text{ kg}$, que transferindo para a bacia fica: $DFDS_{bacia} = 449,7 \pm 11,7 \text{ kg}$.

Total estimado pelo método indireto

Considerando então o valor de DF obtido com a amostra de 171 valores e o valor obtido com os finais de semana, denominado DFDS, o valor potencial total é de 940 ± 34 kg. O balanço de massa a seguir utiliza este valor, juntamente com o valor obtido na medição direta.

Caracterização dos resíduos

Na tabela 2 é apresentada a caracterização dos resíduos obtidos da varrição e dos resíduos obtidos na saída da rede de drenagem. Pode-se observar que alguns resíduos praticamente desaparecem na drenagem como o papel. Garrafas e demais embalagens tipo PET apareceram muito pouco nos sacos de varrição, bem como latas de refrigerante. Somente após precipitações fortes e/ou ativação mais acentuada das bombas, é que se viam garrafas PET em demasia. Provavelmente, estes tipos tendem a se acumular na rede de drenagem até que venha uma onda de cheia e “limpe os condutos e canais”. Os papéis tendem a se despedaçarem nos condutos.

Tabela 2 - Características do resíduo sólido

Tipo	Entrada na drenagem (%total ¹)	Saída da detenção (%total)
Plásticos, PET e Polipropeleno	42,1	81,77
Papel	39,1	0,76
Tecidos, sapatos, etc	2,6	9,97
Vidros	5,4	2,00
Latas	6,5	2,25
Outros	4,3	3,25

1 – estimado de amostras de varrição.

Síntese e Balanço de Massa

A tabela 3 mostra os indicadores gerais da bacia hidrográfica considerando os dados obtidos de varrição e de coleta domiciliar do DMLU e também os resultados resumidos.

A coleta de resíduo domiciliar é de $0,53\text{kg}\cdot\text{hab}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$ ou $203,7\text{kg}\cdot\text{hab}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ e a quantidade de resíduos coletada no sistema de varrição é de $4,97\text{kg}\cdot\text{hab}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$. Deixa-se de coletar o valor da carga potencial (DF+DFDS), ou seja, $940\text{kg}/8$ meses ou $1.410\text{kg}\cdot\text{ano}^{-1}$ ou ainda $0,108\text{kg}\cdot\text{hab}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$. Esta quantidade pode entrar no sistema de drenagem.

Os resíduos na saída da rede de drenagem corresponderam a $288\text{kg}/8$ meses ou $432\text{kg}\cdot\text{ano}^{-1}$. Esse valor pode ser apresentado ainda como $33,2\text{g}\cdot\text{hab}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, do total de $0,108\text{kg}\cdot\text{hab}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ que aportam à rede de drenagem. Portanto, essa massa contribuirá para o entupimento e redução da capacidade de escoamento da rede ao longo do tempo. Uma parcela desses resíduos é de papel, que não atinge a saída, sendo diluído de dentro da própria rede de drenagem.

A partir dos resultados é possível concluir que a parcela retida e/ou diluída representa 38,9% do total, a parcela que chega a jusante 30,6% e o volume que efetivamente bloqueia a rede de drenagem é de 30,4%.

O total de lixo produzido é a soma do que é coletado nos domicílios, acrescido ao que é coletado na varrição a ao que se deixa de coletar. O serviço de limpeza urbana deixou de coletar 0,05% do total de lixo produzido ou 2,1% do total de lixo coletado pela varrição.

Os valores encontrados aqui são semelhantes aqueles de países como Nova Zelândia e Austrália. Em Auckland (Cornelius et al, 1994), no primeiro país citado, as cargas anuais que atingem a rede de drenagem variaram entre 1,03 e $5,22\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$. Em Melbourne, na Austrália, a carga atinge até $6\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$. Já em Joanesburgo e Springs, na África do Sul, as cargas foram de 48 e $82\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, respectivamente. No trabalho de Marais et al. (2004), as cargas se situaram no intervalo de 19 a $72\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ em bacias situadas em locais com população de renda baixa e $6\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ em locais onde a população tem renda maior.

Na bacia de Porto Alegre, a carga residual a jusante da rede de drenagem, de $33,2\text{g}\cdot\text{hab}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, que corresponde a $3,58\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$.

CONCLUSÕES

A quantificação dos resíduos produzidos pela população que atinge a rede de drenagem é necessária para orientar a gestão do sistema dentro da cidade. Devido às dificuldades em mensurar esses resíduos no conjunto da bacia hidrográfica foram utilizados dois métodos. Um baseado na medida da quantidade que chega na saída da drenagem para os sistemas fluviais e outro método indireto com base em relações entre a precipitação e a coleta.

Observou-se que a quantidade de resíduos que aportam à rede de drenagem é cerca de três vezes superior a quantidade de resíduos que sai a

jusante da bacia hidrográfica. A parcela retida e diluída, como o papel, representa 38,9% do total, a parcela que chega a jusante 30,6% e o volume que efetivamente é retido na rede de drenagem é de 30,4%.

O sistema de limpeza na região pode ser considerado eficiente, uma vez que apenas 2,4% dos resíduos das ruas atinge a rede de drenagem. De toda forma, medidas de gestão podem ainda mais aprimorar e reduzir os resíduos na drenagem.

Tabela 3 - Características da bacia hidrográfica

Item	Característica
Área	192ha
População (2000)	13.019hab
Densidade populacional	67,8hab/ha
Uso e ocupação do solo	42% residencial, 21% comercial e o restante praticamente sem habitação
Parcela da bacia na programação de varrição	0,956km ² ou 49,8% da área
Densidade de ruas programadas para varrição	0,16km/ha
Freqüências de varrição	Uma vez por semana na maior parte da área residencial, dias alternados na menor parte da área residencial, diariamente na área comercial, quinzenalmente em dois trechos de duas avenidas.
Coleta Domiciliar	1.652 toneladas em 8 meses ou 0,53 kg·hab ⁻¹ ·dia ⁻¹
Coleta da varrição	4,97 kg·hab ⁻¹ ·ano ⁻¹
Lixo na entrada da drenagem	108,3g·hab ⁻¹ ·ano ⁻¹
Lixo na saída da drenagem ¹	11,7kg·ha ⁻¹ ·ano ⁻¹ 33,2g·hab ⁻¹ ·ano ⁻¹ ou 3,58kg·ha ⁻¹ ·ano ⁻¹
Retido na drenagem	75,1g·hab ⁻¹ ·ano ⁻¹
Papel na entrada	42,3g·hab ⁻¹ ·ano ⁻¹
Papel na saída	2,5g·hab ⁻¹ ·ano ⁻¹

¹ - valor calculado em função da área ocupada da bacia.

Dentre os resultados obtidos neste estudo, podem ser ressaltados dois, a saber: (a) a maioria dos resíduos que atinge a saída da rede de drenagem são plásticos, geralmente sem valor de recicla-

gem; (b) a quantidade de resíduos varia com os dias chuvosos. Com base nessas duas constatações é possível desenvolver medidas de controle do uso de plásticos, principalmente embalagens de supermercados e, de outro lado, planejar o sistema de varrição de acordo com a previsão de chuva, se antecipando aos eventos, o que seguramente diminuirá ainda mais a quantidade de resíduos que reduzem a capacidade de escoamento da rede de drenagem.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi desenvolvida dentro do programa de doutorado do IPH-UFRGS com bolsa CNPq. Agradecimentos à Prefeitura Municipal de Porto Alegre, através do Departamento Municipal de Limpeza Urbana e do Departamento de Esgotos Pluviais.

REFERÊNCIAS

- ALLISON, R.A., CHIEW F.H.S. & MCMAHON, T.A. 1998. *A decision-support-system for determining effective trapping strategies for gross pollutants*. Report 98/3 Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology.
- CORNELIUS, M.; CLAYTON, T.; LEWIS, G. ARNOLD, G. e CRAIG, J. 1994. *Litter associated with stormwater discharge in Auckland city New Zealand*. Auckland: Island Care New Zealand Trust.
- MARAI, M., ARMITAGE, N. e WISE, C. 2004. *The measurement and reduction of urban litter entering stormwater drainage systems: paper 1 – Quantifying the problem using the city of Cape Town as case study*. Water SA. No. 4. Vol. 30. Disponível em: www.wrc.org.za. Acesso em 05 de setembro de 2006.
- NEVES, M. G. F. P. 2006. *Quantificação de Resíduos Sólidos na Drenagem Urbana*. 2006. 249 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- PORTO ALEGRE. Departamento de esgotos Pluviais da Prefeitura Municipal de Porto Alegre (DEP-PMPA); Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH-UFRGS). *Plano Diretor de Drenagem Urbana: fundamentos*. Porto Alegre, v. 1. DEP-IPH. 2002.

Solid Wastes in Urban Drainage – Case Study

ABSTRACT

Assessment of the amount of solids in stormwater is required for the sustainable management of urban waters. In a first paper of two the concepts of quantification of solid wastes in stormwater were presented. In this paper two procedures were used in order to estimate them in an urban catchment of Porto Alegre: (a) the amount of wastes that enter urban drainage was based on an indirect method which related the wastes to the rainfall; (b) quantification of the amount of wastes that enter a detention pond in Marinha Park in Porto Alegre. The basin covers 1.92 km² 63% of which residential and commercial areas. The amount of wastes measured at the detention ponds during 8 months was 288kg and the amount which arrived in the drainage estimated by the indirect method was 940 kg. The difference between the estimates could be due to the retention in the drainage system of diluted materials such as, such as paper, and amount still in transit. Based on that, 30.6% or 33.2 g · inhab⁻¹ · year⁻¹ of the solid wastes arrived at the outlet of the basin.

Key-words: Solid waste, Urban drainage