

# ANÁLISE DO PROCESSO DE ASSOREAMENTO POR LIXO DE RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO URBANOS

*Liliane Frosini Armelin<sup>1</sup>; Luís César de Souza Pinto<sup>2</sup>; José Rodolfo Scarati Martins<sup>3</sup>.*

**RESUMO** – O crescimento populacional e o alto índice de urbanização trouxeram o problema das inundações e dos resíduos veiculados por estas. Lixo de toda a espécie é retirado do interior dos córregos e os desassoreamentos são freqüentes. A adoção de obras de reservação e retardamento dos escoamentos adquiriu grande importância em regiões fortemente urbanizadas que tiveram a maior parte de sua área impermeabilizada, porém, estes reservatórios foram obras inspiradas numa abordagem puramente hidráulica onde não foi considerado o material de assoreamento transportado pelos rios. Grande parte desse material transportado se deposita nos reservatórios de detenção, obstrui grades e bombas hidráulicas. Na tentativa de entendimento deste processo de transporte de resíduos sólidos ao longo dos rios e como estes acabam retidos nos reservatórios de detenção, foi construído um modelo reduzido onde reproduziu-se um sistema específico constituído de um canal onde foram lançados resíduos sólidos e um vertedor lateral de entrada para um reservatório de detenção. Neste sistema, observou-se o comportamento dos resíduos sólidos ao longo do vertedor lateral, alterando-se a vazão. Assim, foi possível a elaboração de uma análise qualitativa sobre as principais variáveis hidráulicas envolvidas no processo.

**ABSTRACT** – The city population growth and the high urbanization rate have brought several questions of the flood and with this, the flood load garbage. Frequently, from rivers, all the type of garbage is removed. In urban regions, detention ponds become very important construction works to mitigate the storm runoff increase effects, but these ponds only were approach by hydraulic way and the sediments and floatables carried to the pond by stormwater were not considered. These materials have been a problem for ponds because they settle within them, blocking racks and pipes. To understand the pond material detention transport process, a pond model and a river model were constructed where floatables were dropped. In this system was observed the floatables behavior with the load increases.

Palavras-chave: reservatório de detenção, lixo, vertedor lateral

1) Eng. Sanitarista, pesquisadora do Programa de Pós Graduação em Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Av. Prof. Almeida Prado, Travessa 2, Depto. de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo, SP, 05508-900. e-mail: frosini@terra.com.br.

2) Professor Doutor pelo Departamento de Engenharia Hidráulica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Coordenador de projetos na área de obras fluviais do Centro Tecnológico de Hidráulica – CTH - DAEE- São Paulo-SP. E-mail: lcesar@usp.br.

3) Professor Doutor pelo do Departamento de Engenharia Hidráulica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Diretor Presidente da Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica – FCTH - São Paulo-SP. E-mail: Scarati@usp.br.

## 1 – INTRODUÇÃO

Este estudo teve por finalidade avaliar os mecanismos de assoreamento dos reservatórios de retenção utilizados no controle de atenuação de cheias urbanas, causado pelo lixo transportado no escoamento. Este assoreamento causa grandes incômodos às populações vizinhas destas estruturas, dificuldades de operação das obras e até mesmo a perda da eficiência hidrológica do dispositivo.

O estudo fundamenta-se em ensaios em modelo hidráulico reduzido, composto de um canal e um vertedouro tipo soleira lateral, comumente utilizados nestas estruturas de retenção. No canal, foram simulados lançamentos sistemáticos de resíduos sólidos típicos e observado o comportamento da retenção destes pelo reservatório, em função das diferentes condições de funcionamento da estrutura.

O método de análise consiste no estabelecimento de correlação entre a taxa de arrastamento de lixo pelo vertedor lateral com as variáveis hidráulicas permitindo-se o traçado de algumas diretrizes importantes e que podem auxiliar na implantação de futuros reservatórios de retenção ou naqueles que se encontram em operação.

## 2 – DESCRIÇÃO DO MODELO REDUZIDO DO RESERVATÓRIO DE DETENÇÃO

O modelo contemplou apenas a representação do canal, simulando um córrego urbano canalizado, do qual se deduz através de uma soleira lateral retangular, uma vazão a ser detida pelo reservatório. Vertedouros foram implantados para medição de vazão que escoam através da soleira lateral e da vazão remanescente no canal (Figura 1).

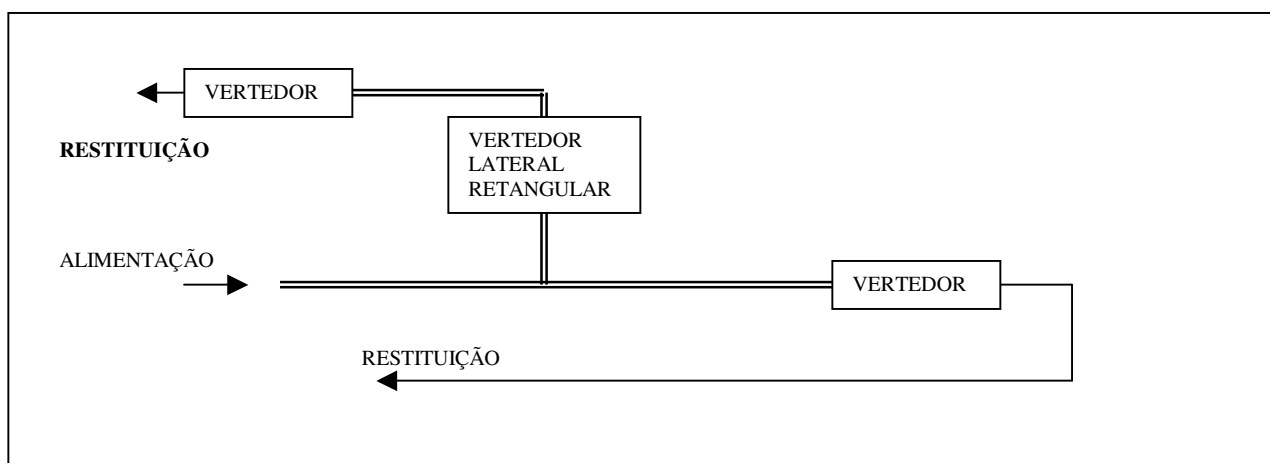


Figura 1 – Esquema indicativo do funcionamento do modelo reduzido

Optando-se por realizar testes considerando apenas o escoamento em regime fluvial no canal, regulando-se o regime através de soleira reguladora de nível no final do canal (Figura2).

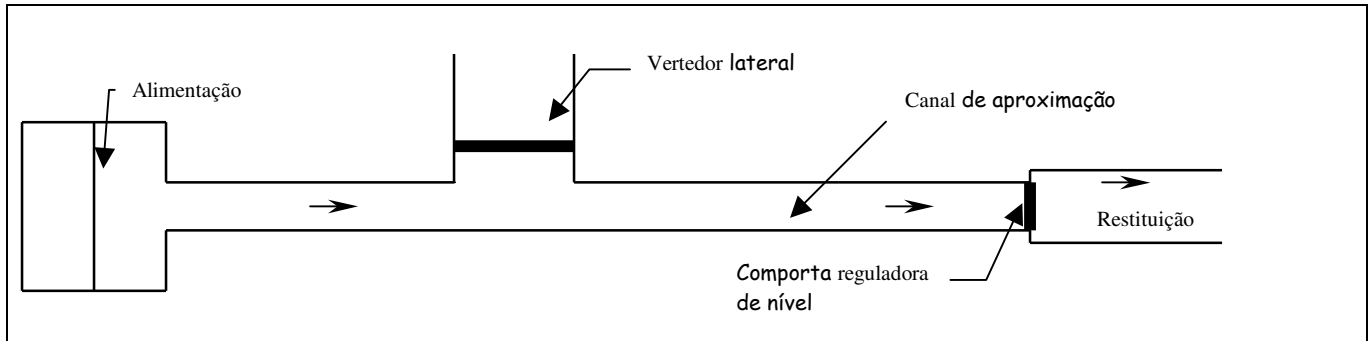


Figura 2 – Esquema indicativo das estruturas hidráulicas no modelo reduzido

### 3 – FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO DO MODELO REDUZIDO COM O LIXO

Após o completo conhecimento do funcionamento dos dois tipos de arranjos hidráulicos adotados, deu-se início ao processo de estudo do transporte de resíduos sólidos típicos ao longo do canal, correlacionando-se as taxas de retenção com as características hidráulicas do escoamento.

#### 3.1 - Modelação dos resíduos sólidos

Diante da enorme variedade de resíduos sólidos encontrados nas calhas dos rios e reservatórios de retenção, fez-se necessário a escolha de três alternativas de resíduo que pudessem representar de forma genérica a carga sólida flutuante presente nos sistemas urbanos de macro-drenagem. Foram representados elementos típicos como garrafas PET, sacos de lixo e galhos de árvores.

##### 3.1.1 – Modelação dos resíduos sólidos em volume

Considerando que a escala de modelação utilizada para as estruturas hidráulicas foi de 1:13, a mesma foi utilizada para os resíduos sólidos. O quadro 1, mostra esta relação:

Quadro 1 – Dados do protótipo e modelo na modelação em volume dos resíduos sólidos

Modelação em volume dos Resíduos Sólidos								
Tipo	Protótipo				Modelo			
	Largura (m)	Comprim. (m)	Altura (m)	Diâmetro (m)	Largura (m)	Comprim. (m)	Altura (m)	Diâmetro (m)

PET	-	0,32	-	0,11	-	0,025	-	0,009
Saco de lixo	0,20	0,21	0,13	-	0,015	0,016	0,010	-
Galho de árvore	-	1,30	-	0,04	-	0,100	-	0,003

Considerações importantes:

- O saco de lixo considerado neste estudo refere-se aquele encontrado em supermercados e largamente utilizado pela população de baixa renda para o acondicionamento de seu lixo doméstico;
- O volume do saco de lixo refere-se ao mesmo cheio de lixo. O modelo do saco de lixo foi preenchido com isopor;
- A PET considerada neste estudo refere-se a vasilhames deste material (PET- Polietileno Tereftalado), que são utilizados para acondicionar refrigerantes.

### 3.1.2 – Modelação dos resíduos sólidos em massa

A modelagem dos resíduos sólidos levando em consideração a massa, apenas seria possível caso se conhecesse previamente a densidade específica do material a ser modelado.

Na tentativa da estimativa da densidade do lixo domiciliar, pesquisou-se alguns trabalhos a respeito do assunto. A densidade que interessa é a densidade aparente, ou seja, a massa dos resíduos sólidos, dividida pelo volume ocupado pelos mesmos.

A densidade aparente do resíduo sólido domiciliar, varia de 160 a 180 Kg/m<sup>3</sup> (BRETAS, 2003), e levando-se em consideração a média desta faixa, um saco de lixo padrão utilizado na coleta domiciliar em São Paulo tem volume da ordem de 0,0000024 m<sup>3</sup> (Quadro 1) e massa de 0,408 gramas.

Dos modelos de saco de lixo elaborados, foi retirada amostra de 8 unidades cuja massa foi medida (Quadro 2):

Quadro 2 – Média da massa das amostras dos modelos de sacos de lixo

Saco de Lixo	1	2	3	4	5	6	7	8	Média
Massa (g)	0,1720	0,1533	0,5109	0,1830	0,1781	0,2166	0,2200	0,3358	0,2462

A média obtida foi inferior à massa estimada do saco de lixo modelado (0,4080 g), e a variação da massa de uma amostra para outra foi significativa. Conclui-se então que a modelação em massa neste caso seria uma tarefa bastante difícil e muito trabalhosa, que ao final também não reproduziria a

realidade uma vez que os sacos de lixo que se encontram no escoamento dos rios e córregos, não têm a mesma massa, devido a grande variedade de materiais em seu interior e também porque muitas vezes é descartado sem atingir a sua capacidade máxima.

No caso dos galhos de árvores, a densidade aparente varia com o tipo de vegetação e no caso das PETs, as dificuldades ainda são maiores pois a sua massa é muito menor, resultando em modelo de difícil representatividade. Sendo assim optou-se por trabalhar com a modelação em volume.

### 3.1.3 – Execução dos modelos de resíduos sólidos

Os modelos dos resíduos sólidos tiveram que ser produzidos em grande quantidade e manualmente, então, optou-se por procedimentos simples e rápidos, conforme apresentado na figura 3:

<p>a) Saco de lixo:</p>		<p>Confeccionado em isopor envolvido por saco plástico e amarrado com linha de costura.</p>
<p>b) Galho de árvore:</p>		<p>Confeccionado através do corte de palitos de churrasco.</p>
<p>c) PET:</p>		<p>Confeccionada através do corte de canudos utilizados para beber refrigerantes.</p>

Figura 3 – Produção de modelos de resíduos sólidos

### 3.2 – Elaboração dos ensaios com os resíduos sólidos

A fim de minimizar eventuais distorções, foi necessário padronizar o local no canal onde seriam lançados os resíduos sólidos e o modo como seriam lançados, para que o mesmo procedimento pudesse ser repetido em todos os ensaios que fossem elaborados. Ficou estabelecido que o local de lançamento fosse no início do canal de aproximação, a uma distância de 1,0 metro do tranqüilizador (Figura 4). Com relação à maneira de lançamento, estipulou-se que o lixo fosse, um a um, derrubado no centro do canal.

Ao final de cada etapa do ensaio, no qual a vazão variava de forma crescente, eram coletados os resíduos sólidos que passaram direto pelo canal e acabavam retidos em rede a jusante. Também eram coletados os que entravam no reservatório de detenção através do vertedor lateral.

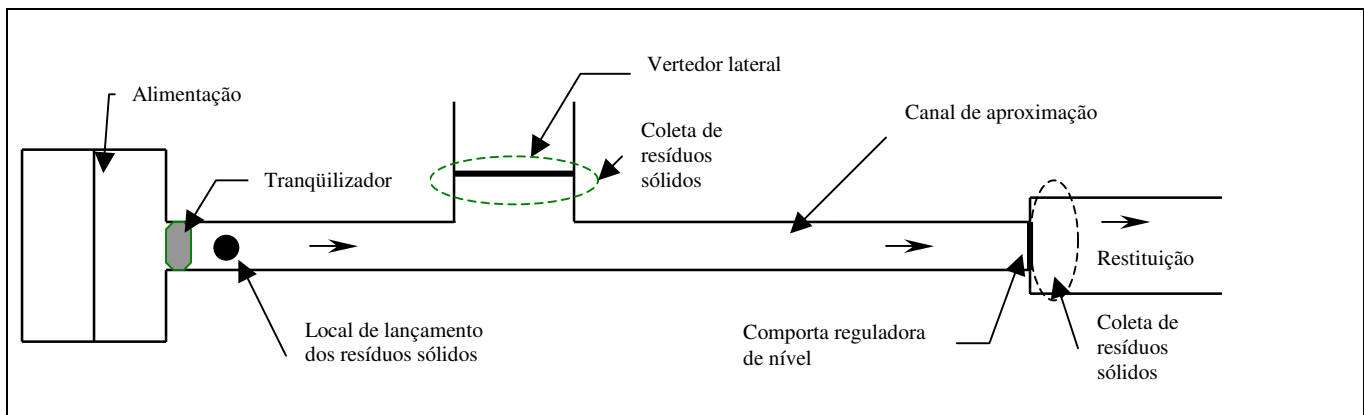


Figura 4 – Esquema indicativo do local de lançamento dos resíduos sólidos

Após a coleta realizada para cada vazão, os resíduos sólidos foram quantificados em cada geometria hidráulica estudada. Para cada vazão, foram realizadas cinco leituras. Este procedimento teve como finalidade permitir um tratamento estatístico dos dados. Os resultados dos ensaios bem como a determinação de variáveis importantes para o estudo, estão apresentados no quadro 3.

Quadro 3 – Resultados dos ensaios com os resíduos sólidos

ESTRUTURA 14-10 (Altura do vertedor lateral = 14 cm e Altura da comporta de fundo = 10 cm)															
Variáveis medidas			Variáveis hidráulicas calculadas no canal de montante							Porcentagem de resíduos sólidos arrastada p/ pisc.					
Qtotal (m <sup>3</sup> /s)	Q vert. lat. (m <sup>3</sup> /s)	y (m)	$\frac{Q_{vert}}{Q_{canal}}$	Pm (m)	Am (m <sup>2</sup> )	Rh (m)	v (m/s)	Froude	He (m)	Sacos de lixo		Garrafas PET		Galhos de árvores	
										Pisc.	Canal	Pisc.	Canal	Pisc.	Canal
0,032	0,005	0,155	0,154	0,710	0,062	0,087	0,520	0,422	0,169	10,0	90,0	7,2	92,8	5,2	94,8
0,043	0,013	0,168	0,291	0,735	0,067	0,091	0,643	0,501	0,189	35,6	64,4	35,2	64,8	34,0	66,0
0,056	0,019	0,177	0,331	0,755	0,071	0,094	0,796	0,603	0,210	36,8	63,2	34,0	66,0	38,8	61,2
0,067	0,026	0,202	0,380	0,803	0,081	0,100	0,836	0,594	0,237	48,8	51,2	53,2	46,8	53,6	46,4
0,070	0,026	0,204	0,371	0,808	0,082	0,101	0,860	0,608	0,242	54,8	45,2	49,2	50,8	60,4	39,6
0,081	0,031	0,208	0,387	0,817	0,083	0,102	0,972	0,680	0,256	54,4	45,6	52,0	48,0	50,4	49,6
ESTRUTURA 16-14 (Altura do vertedor lateral = 16 cm e Altura da comporta de fundo = 14 cm)															
Variáveis medidas			Variáveis hidráulicas calculadas no canal de montante							Porcentagem de resíduos sólidos arrastada p/ pisc.					
Qtotal (m <sup>3</sup> /s)	Qvert. lat. (m <sup>3</sup> /s)	y (m)	$\frac{Q_{vert}}{Q_{canal}}$	Pm (m)	Am (m <sup>2</sup> )	Rh (m)	v (m/s)	Froude	He (m)	Sacos de lixo		Garrafas PET		Galhos de árvores	
										Pisc.	Canal	Pisc.	Canal	Pisc.	Canal
0,038	0,012	0,190	0,312	0,779	0,076	0,097	0,505	0,370	0,203	42,0	58,0	36,0	64,0	27,6	72,4
0,046	0,017	0,199	0,368	0,798	0,080	0,100	0,578	0,413	0,216	41,2	58,8	33,2	66,8	25,6	74,4
0,048	0,020	0,203	0,418	0,806	0,081	0,101	0,588	0,416	0,221	49,2	50,8	39,6	60,4	39,6	60,4
0,057	0,022	0,207	0,392	0,814	0,083	0,102	0,686	0,482	0,231	43,2	56,8	44,4	55,6	45,2	54,8
0,063	0,028	0,211	0,446	0,821	0,084	0,103	0,748	0,521	0,239	73,2	26,8	60,8	39,2	55,6	44,4
0,064	0,026	0,211	0,411	0,821	0,084	0,103	0,758	0,527	0,240	49,6	50,4	51,6	48,4	61,2	38,8
0,073	0,031	0,215	0,419	0,830	0,086	0,104	0,853	0,587	0,252	61,2	38,8	61,2	38,8	67,6	32,4
0,080	0,034	0,221	0,422	0,841	0,088	0,105	0,911	0,619	0,263	66,0	34,0	57,2	42,8	64,4	35,6
0,093	0,039	0,225	0,420	0,851	0,090	0,106	1,034	0,695	0,280	61,6	38,4	65,2	34,8	73,2	26,8





### 3.3 – Análise dos resultados dos ensaios com os resíduos sólidos

Os escoamentos regidos pelas estruturas hidráulicas estudadas, determinaram, de modo natural, a partição dos sólidos simulados, obedecendo a um comportamento crescente com a vazão. Um resultado importante observado, foi o comportamento similar, com relação ao arrastamento para o reservatório de detenção, dos três tipos de resíduos sólidos: sacos de lixo, galhos de árvores e garrafas PET ensaiados, apesar de possuírem pesos específicos distintos. Tal conclusão pode ser analisada nas figuras 5 e 6.

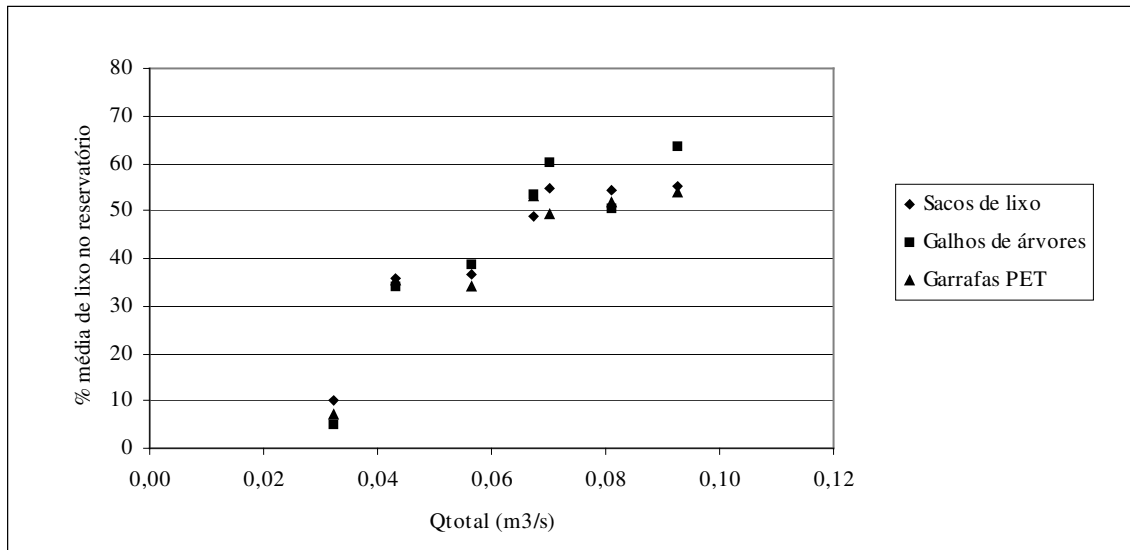


Figura 5 - Variação do índice de arrastamento de lixo para o reservatório de detenção – Estr. 14-10

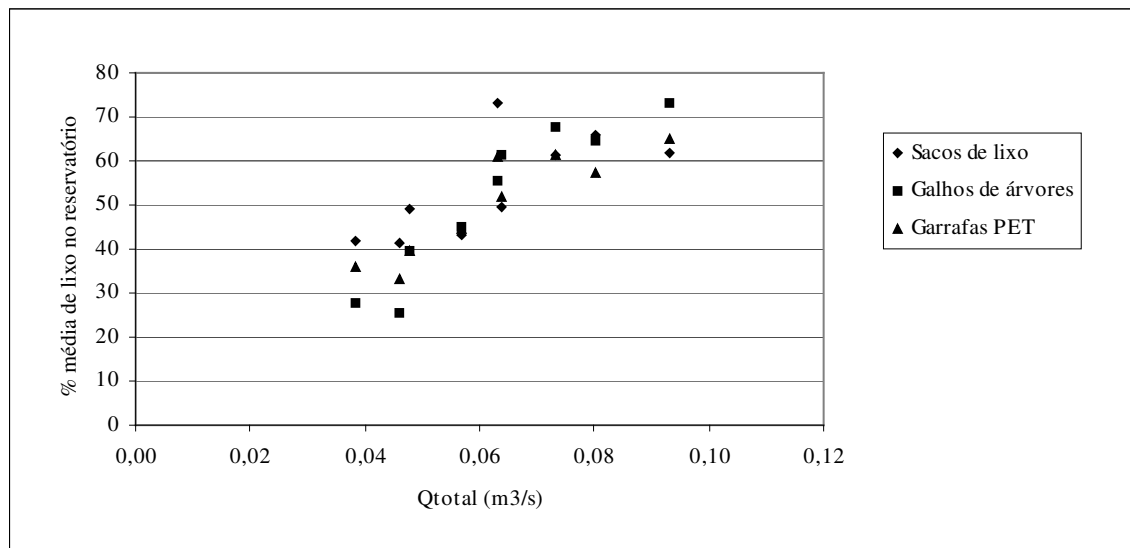


Figura 6 - Variação do índice de arrastamento de lixo para o reservatório de detenção – Estr. 16-14

A variação crescente da Energia Específica resulta em maior arrastamento de lixo para o pisciñão conforme pode ser observado nas figuras 7 e 8, devido à componente velocidade, presente na determinação desta variável.

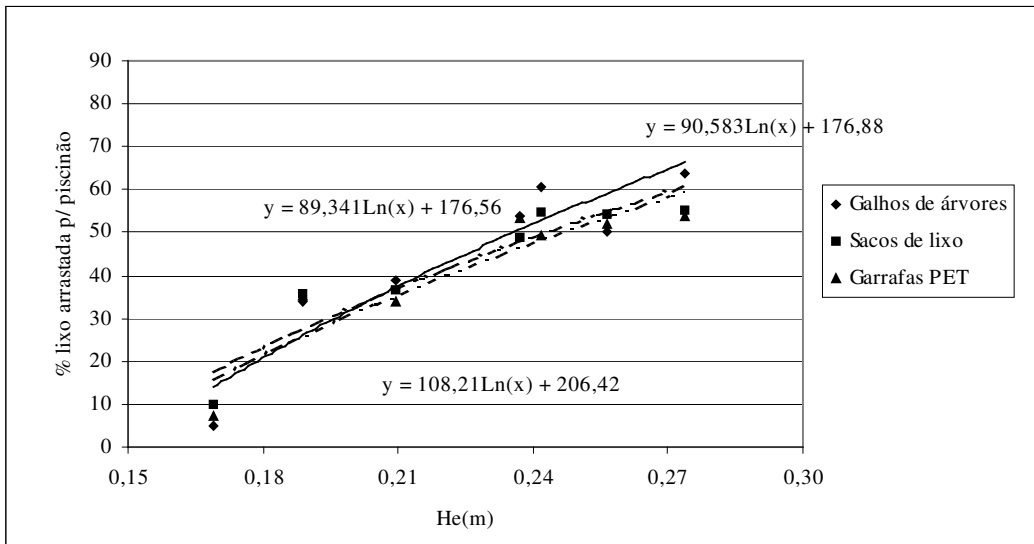


Figura 7: Variação do índice de arrastamento de lixo p/o reservatório de detenção em relação a Energia Específica - estr. hidr. 14-10

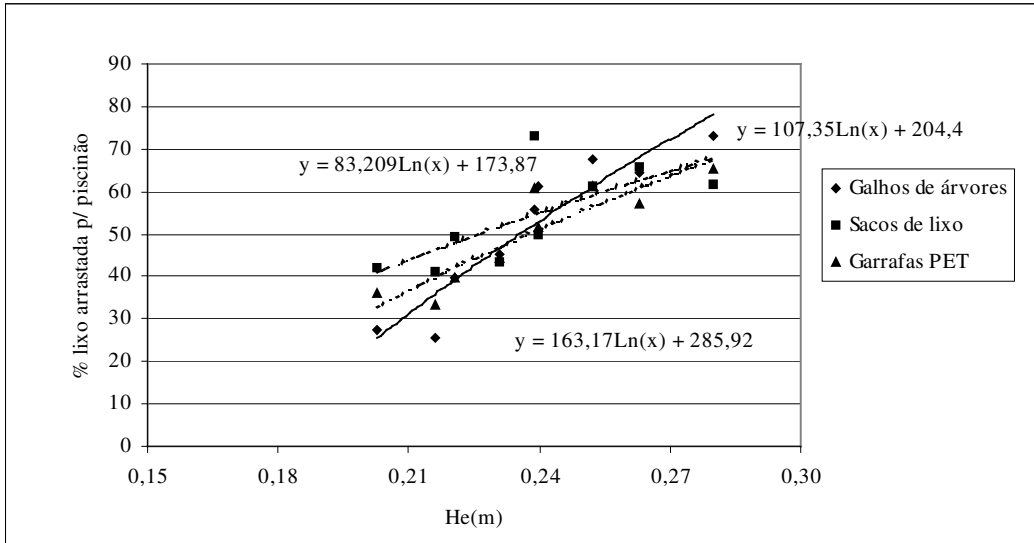


Figura 8 - Variação do índice de arrastamento de lixo p/o reservatório de detenção em relação a Energia Específica - estr. hidr. 16-14

A variação da vazão que escoar através do vertedor lateral depende da variação da vazão que escoar no canal. Para analisar a influência da capacidade de escoamento do vertedor lateral no arrastamento do lixo, construíram-se os gráficos das figuras 9 e 10:

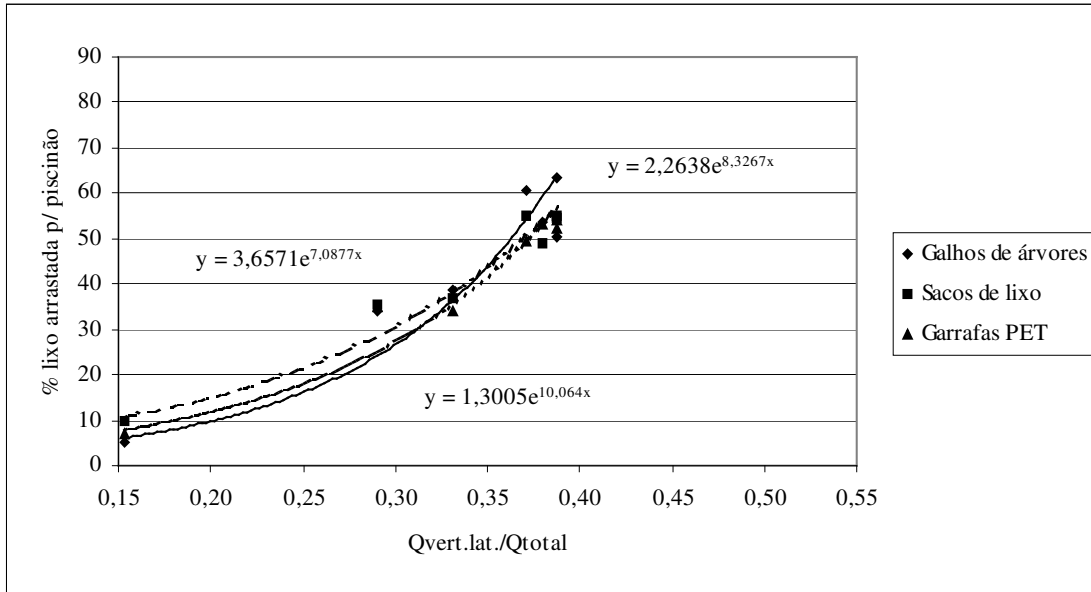


Figura 9 - Variação do índice de arrastamento de lixo p/o reservatório de detenção em relação a capacidade de escoamento do vertedor lateral - estr. hidr. 14-10

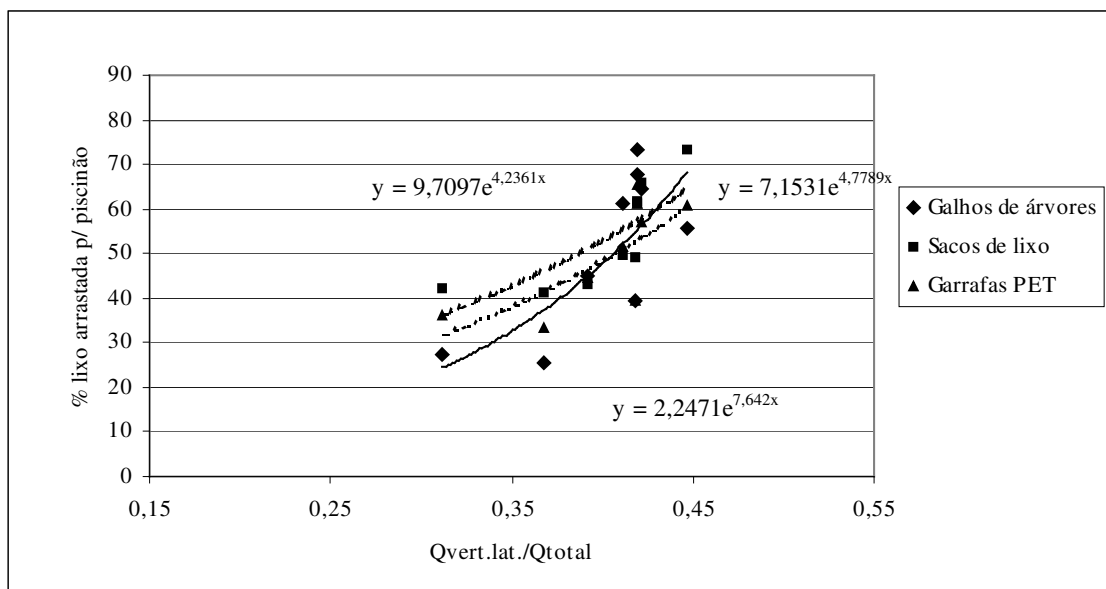


Figura 10 - Variação do índice de arrastamento de lixo p/o reservatório de detenção em relação a capacidade de escoamento do vertedor lateral - estr. hidr. 16-14

## 4 – CONCLUSÕES

Os estudos experimentais permitiram a elaboração das seguintes diretrizes:

- Os tipos de resíduos sólidos estudados apresentaram comportamento similar no arrastamento para o reservatório de detenção, apesar de possuírem pesos específicos diferentes;
- A taxa de arrastamento de lixo para o reservatório de detenção, varia logaritmicamente com a energia específica e varia exponencialmente com a capacidade de engolimento do vertedor lateral conforme as expressões das figuras 7, 8, 9 e 10;
- As evidências observadas pelos resultados dos ensaios do modelo, sobre a capacidade de arrastamento sólido para o piscinão, permitem concluir sobre a grande necessidade de se manter as características geométricas de projeto do reservatório, definidas para o amortecimento da onda de cheia. Para isso, faz-se necessária a sua conservação, com a freqüente dragagem do material aportado, após cada evento chuvoso significativo;
- As estruturas ensaiadas envolvendo a conjugação de cotas das soleiras dos vertedores laterais e das soleiras de fundo permitiram uma análise abrangente da faixa de valores do número de Froude do escoamento, fazendo resultar por isso, em uma ampla análise da capacidade de arrastamento sólido para o piscinão;
- O aumento progressivo da vazão de escoamento no canal com o conseqüente aumento da carga específica na seção de entrada do vertedor lateral, faz resultar no aumento da capacidade de engolimento dos resíduos sólidos transportados por este escoamento, para o piscinão. Deste modo, reafirma-se a grande importância de uma definição adequada da cota da soleira do vertedor lateral e da soleira de fundo, quando necessária, para garantia da faixa de valores de nível d'água, conforme diretrizes de projeto;
- O aspecto da simulação de um modelo que representasse as condições de um canal padrão, em função dos existentes na Região Metropolitana de São Paulo, foi fundamental para que se pudesse concluir sobre as efetivas condições operacionais do vertedor lateral e sua conseqüente capacidade de engolimento do material sólido carregado para os piscinões.

## 5 – RECOMENDAÇÕES

Existe ainda muito a ser estudado para maior conhecimento deste assunto. O transporte de lixo em rios e o seu acúmulo em reservatórios de detenção poderá vir a ser estudado para outros tipos de resíduos, com o objetivo de se ampliar a faixa de conhecimento deste tipo de transporte bifásico. Novas

metodologias, para lançamento dos resíduos sólidos no escoamento do modelo, deveriam ser utilizadas a fim de se poder comparar os resultados. Outras relações entre a largura do vertedor lateral e canal poderiam ser estudadas. Compreendidas as causas e identificados os efeitos deste processo, novas estruturas hidráulicas poderiam ser projetadas no intuito de melhorar a manutenção e o gerenciamento dos reservatórios.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do Fundo Estadual de Recursos Hídricos e à equipe do Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos e Laboratório de Hidráulica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

## BIBLIOGRAFIA

AGUIAR, A.T. (2001). “*Construir Reservatórios*” - Revista Engenharia “Cuidando das águas do Estado de São Paulo” ed.548 – São Paulo-SP.

ARMELIN, L. F. (2005). “*A Questão do acúmulo de Resíduos Sólidos em Reservatórios de detenção na RMSP*”, Dissertação de Mestrado apresentada à Escola Politécnica da USP, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia na área de concentração em Recursos Hídricos. São Paulo-SP.

ARMITAGE, N; ROOSEBOOM, A. (2000).”The Removal of Urban Litter from Stormwater Conduits and Streams”, Water Research Commission Publications, Vol 26, No 2, pp 181-187.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L.; BARROS, M.T.L.DE; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S.(2003). *Introdução à Engenharia Ambiental*. EPUSP São Paulo – SP.

BRETAS, A. L. (2003). “*Gerenciamento dos Serviços de Limpeza Pública - Geração, Acondicionamento, Coleta e Transporte de Resíduos Sólidos (classe II e III – ABNT) regularmente descartados pela população*”, Associação Brasileira de Resíduos Sólidos e Limpeza Urbana – São Paulo – SP.

CANHOLI, A.P.(1995). “*Soluções Estruturais Não-Convencionais em Drenagem Urbana*”, Tese de Doutorado apresentada à Escola Politécnica da USP, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Doutor em Engenharia. São Paulo-SP.

- CANHOLI, A.P.(2001). “*O Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tietê*” – Revista Engenharia ed. 548 – São Paulo-SP.
- CEMPRE / IPT. (2000). *Manual de Gerenciamento Integrado do Lixo Municipal*. São Paulo – SP.
- GIROLDO, J. (2003). “*Reservatórios de Contenção de Cheias existentes na RMSP*”. Dissertação de mestrado apresentada à Escola Politécnica da USP, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia. São Paulo-SP.
- LENCASTRE, A. (1983). “*Hidráulica Geral*”. Lisboa. 654p.
- NEVES, M.G.F.P.; TUCCI, C.E.M.(2003). “*Gerenciamento Integrado em Drenagem Urbana: Quantificação e Controle de Resíduos Sólidos*” in Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba.
- URBONAS, B.; STAHRÉ, P.(1993) – *Stormwater – Best Management Practices, and Detection for Water Quality, Drainage and CSO Management* – PTR – Practice Hall, Inc. – New Jersey – U.S.A.