

**LILIANE FROSINI ARMELIN**

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS  
VEICULADOS PELOS RIOS URBANOS JUNTO AOS VERTEDORES  
DE ENTRADA DE RESERVATÓRIOS DE CONTROLE DE CHEIAS**

**São Paulo  
2011**

**LILIANE FROSINI ARMELIN**

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS  
VEICULADOS PELOS RIOS URBANOS JUNTO AOS VERTEDORES  
DE ENTRADA DE RESERVATÓRIOS DE CONTROLE DE CHEIAS**

Tese apresentada à Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo para obtenção do  
título de Doutor em Engenharia.

Área de Concentração:  
Engenharia Hidráulica

Orientador:  
Prof. Dr. Podalyro Amaral de Souza

**São Paulo  
2011**

**Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência do orientador.**

**São Paulo, 16 de dezembro de 2011**

**Autor:**

**Orientador:**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**Armelin, Liliane Frosini**

**Estudo do comportamento dos resíduos sólidos veiculados pelos rios urbanos junto aos vertedores de entrada de reservatórios de controle de cheias / L.F. Armelin. -- São Paulo, 2011. 140 p.**

**Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental.**

**1. Resíduos sólidos 2. Enchentes urbanas 3. Reservatórios de detenção I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental II. t.**

## AGRADECIMENTOS

Ao nosso Pai Maior, sempre presente, amparando-me em todas as dificuldades.

Ao professor Dr. Podalyro Amaral de Souza, por tamanha boa vontade e paciência na orientação deste trabalho.

Ao professor Dr. José Rodolfo S. Martins, por ter me incentivado a desenvolver um tema tão relevante para as áreas urbanas, nos dias atuais.

À professora Dra. Maria de Fátima Souza Curi, pela grande amizade que tem demonstrado durante tantos anos e grande contribuição ao tema com as suas sugestões.

Ao professor Dr. Luis César de Souza Pinto, amigo sempre presente e pronto a ajudar.

Aos amigos que me acompanharam esses anos, compartilhando de minhas ideias e também contribuindo com suas preciosas sugestões, em especial a Cristiane Amaro e Mari Nishimura, pelo grande apoio e companheirismo.

A todos aqueles que muito me auxiliaram nas dificuldades encontradas em trabalhar com o modelo físico, pela constante boa vontade e pelo simples prazer em auxiliar; agradecimento especial àqueles que participaram da sua construção e me auxiliaram na sua manutenção.

À minha família, que me ajudou a encarar esse desafio, especialmente meu filho mais velho, Pedro, que não poupou esforços para me amparar nos momentos mais críticos.

Ao Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE) e à Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH), onde pude dispor de tudo o que precisava para a elaboração do trabalho, bem como de informações relevantes, através de seus técnicos.

A todos os professores do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (PHD) que contribuíram para o meu preparo para desenvolver esta pesquisa.

## RESUMO

Este trabalho investigou o comportamento dos resíduos sólidos ao longo de soleiras laterais de reservatórios de detenção urbanos (piscinões). Esses reservatórios foram projetados segundo uma abordagem puramente hidráulica, que consiste no armazenamento de água de chuva, resultando em amortecimento de pico de cheias e minimizando a questão das inundações, porém um impacto não considerado é o grande acúmulo de resíduos sólidos no interior dessas estruturas. Para estudar o fenômeno e na tentativa de quantificação do montante que se acumula nos reservatórios em relação aos resíduos veiculados pelos rios, foi construído um modelo físico representativo de um córrego urbano, provido de um vertedor lateral que dá acesso a um piscinão. Realizaram-se simulações, que consistiram no lançamento de resíduos no canal e na observação do seu comportamento na passagem pela soleira lateral. Algumas alternativas de direcionamento dos resíduos também foram testadas, através da implantação de vigas defletoras, cujos resultados comprovaram a sua eficiência no direcionamento dos resíduos para o piscinão ou canal. Por fim, as investigações realizadas resultaram em contribuições importantes para a gestão dos sistemas de contenção de cheias das grandes cidades.

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos. Enchentes urbanas. Reservatório de detenção.

## ABSTRACT

The present research investigates the mechanisms of silting in detention reservoirs use for control of urban flooding caused by garbage, debris and rejects transported by urban runoff. Unfortunately the design of this reservoirs was based in hydraulics only, and the transport of siltation material by rivers was not considered. To study the phenomenon and in order to quantify the amount of accumulated waste according to total waste carried by rivers, a representative pilot scale model was built, provided with a lateral channel-shaped spillway that access the detention reservoir. Simulations have been ran, and the analysis method was to obtain a correlation between the waste entrainment rate from the side weir and the hydraulics variables. Some alternatives regarding the aiming of the waste were also tested by the implantation of deflector beams, whose efficiency in the aiming of waste to the reservoir or canal was proved. Finally, the inquires generated in the present research resulted in important contributions regarding the management of flood containment systems in big cities.

**Keywords:** Solid residues. Urban flooding. Detention reservoirs.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 3.1</b> – Modelo físico: vista geral de montante para jusante (Nov/2006).....	21
<b>Figura 3.2</b> – Vertedor lateral no modelo físico (Nov/2006).....	22
<b>Figura 4.1</b> – Bacia hidrográfica do Alto Tietê, na RMSP.....	24
<b>Figura 4.1</b> – Bacia hidrográfica do Alto Tietê.....	26
<b>Figura 4.2</b> – Diagrama simplificado da rede hidrográfica do Alto Tietê.....	29
<b>Figura 4.3</b> – Reservatórios de retenção em operação na RMSP.....	30
<b>Figura 5.1</b> – Hidrograma afluente e efluente de um reservatório de retenção de cheias.....	33
<b>Figura 5.2</b> – Reservatório de retenção do tipo <i>in-line</i> .....	34
<b>Figura 5.3</b> – Reservatório de retenção do tipo <i>off-line</i> .....	34
<b>Figura 5.4</b> – Vista aérea de reservatório de retenção <i>in-line</i> – Reservatório Caguaçu – São Paulo.....	35
<b>Figura 5.5</b> – Vista aérea de reservatório de retenção do tipo <i>off-line</i> – Reservatório Vila Rosa – Diadema.....	36
<b>Figura 5.6</b> – Vertedor lateral no reservatório de retenção Rio das Pedras.....	38
<b>Fonte:</b> A autora.....	38
<b>Figura 5.7</b> – Vertedor lateral do reservatório de retenção Sharp.....	39
<b>Fonte:</b> A autora.....	39
<b>Figura 5.8</b> – Corte transversal de um canal contendo um vertedor lateral.....	40
<b>Figura 5.9</b> – Vertedor lateral sob regime fluvial.....	41
<b>Figura 5.10</b> – Vertedor lateral sob regime torrencial.....	41
<b>Figura 5.11</b> – Características do escoamento ao longo de um vertedor lateral.....	42
<b>Figura 6.1</b> – Variação da intensidade na liberação de materiais de assoreamento.....	51
<b>Figura 6.2</b> – Localização das Usinas Elevatórias Pedreira e Traição no sistema Tietê/Pinheiros, na RMSP.....	53
<b>Figura 6.3</b> – Resíduos sólidos acumulados junto à Usina Elevatória de Traição.....	54
<b>Figura 6.4</b> – Áreas de monitoramento da bacia estudada em Coburg.....	56
<b>Figura 6.5</b> – Localização das sub-bacias monitoradas em Cape Town.....	58
<b>Figura 6.6</b> – Localização das Bacias Cancela e Alto da Colina.....	60
<b>Figura 6.7</b> – Composição dos resíduos sólidos coletados nas Bacias Cancela e Alto da Colina (% volume).....	62
<b>Figura 6.8</b> – <i>Litter booms</i> instalada no Rio Los Angeles.....	67
<b>Figura 6.9</b> – Ecobarreira no Canal Marapendi, Recreio dos Bandeirantes-RJ.....	70
<b>Figura 6.10</b> – Produção de modelos de resíduos sólidos.....	72
<b>Figura 6.11</b> – Variação do índice de arrastamento de lixo para o reservatório de retenção – Estr. hidr. 14-10.....	73
<b>Figura 6.12</b> – Variação do índice de arrastamento de lixo para o reservatório de retenção em relação à energia específica – Estr. hidr. 14-10.....	73

<b>Figura 6.13</b> – Variação do índice de arrastamento de lixo para o reservatório de detenção em relação à capacidade de escoamento do vertedor lateral – Estr. hidr. 14-10. .....	74
<b>Figura 7.1</b> – Locação dos pares de pontos (f, R) para a vazão mínima ensaiada – Diagrama de Rouse adaptado. ....	84
<b>Fonte:</b> Azevedo Netto modificado (1998) .....	84
<b>Figura 7.2</b> – Esquema de implantação dos medidores de vazão no modelo reduzido.....	87
<b>Figura 7.3</b> – Sistema de alimentação do modelo – Tubulação de entrada e registro de controle. ....	88
<b>Figura 7.4</b> – Vertedor triangular de saída do reservatório de detenção. ....	89
<b>Figura 7.5</b> – Vertedor lateral.....	89
<b>Figura 7.6</b> – Vertedor retangular. ....	90
<b>Figura 7.7</b> – Esquema indicativo das estruturas hidráulicas no modelo reduzido. ....	94
<b>Figura 7.8</b> – Curvas de descarga medidas das estruturas hidráulicas estudadas.....	95
<b>Figura 7.9</b> – Relação entre o número de Froude e a capacidade de engolimento do vertedor. .....	96
<b>Figura 7.10</b> – Tendências dos coeficientes de descarga em relação ao número de Froude, segundo alguns pesquisadores. ....	97
<b>Figura 7.11</b> – Material de assoreamento e resíduos sólidos retirados do Reservatório do Bananal. ....	98
<b>Figura 7.12</b> – Estiropor utilizado para a representação dos resíduos sólidos. ....	99
<b>Figura 7.13</b> – Local de lançamento e coleta dos resíduos sólidos.....	101
<b>Figura 7.14</b> – Estiropor de diferentes diâmetros para a representação dos resíduos sólidos. .....	102
<b>Figura 7.15</b> – Estufa em que foi realizada a secagem do estiropor. ....	104
<b>Figura 7.16</b> – Pesagem de 28 gf de estiropor.....	105
<b>Figura 7.17</b> – Sistema de lançamento dos resíduos sólidos no canal. ....	106
<b>Figura 7.18</b> – Esquema de realização dos ensaios com os resíduos sólidos. ....	107
<b>Figura 7.19</b> – Estiropor com incremento de massa. ....	108
<b>Figura 7.20</b> – Esquema de ensaios realizados com os resíduos vermelhos.....	110
<b>Figura 9.1</b> – Variáveis hidráulicas em relação ao arrastamento de resíduos sólidos para o piscinão na situação sem defletor.....	115
<b>Figura 9.2</b> – Variáveis hidráulicas em relação ao arrastamento de resíduos sólidos para o piscinão na situação sem defletor, com incremento de peso. ....	117
<b>Figura 9.3</b> – Defletor utilizado para o direcionamento dos resíduos sólidos .....	118
<b>Figura 9.4</b> – Defletor posicionado para dificultar a entrada dos resíduos no reservatório. .	119
<b>Figura 9.5</b> – Defletor posicionado para dificultar a entrada dos resíduos no reservatório, afastado 20 cm do vertedor lateral. ....	119
<b>Figura 9.6</b> – Defletor posicionado para facilitar a entrada dos resíduos no reservatório. ...	119
<b>Figura 9.7</b> – Variáveis hidráulicas em relação ao arrastamento de resíduos sólidos para o piscinão na situação com defletor favorecendo o canal, sem afastamento. ...	121



<b>Figura 9.8</b> – Variáveis hidráulicas em relação ao arrastamento de resíduos sólidos para o piscinão na situação com defletor favorecendo o canal, sem afastamento, com incremento de peso. ....	122
<b>Figura 9.9</b> – Variáveis hidráulicas em relação ao arrastamento de resíduos sólidos para o piscinão na situação com defletor favorecendo o canal, com afastamento de 20 cm. ....	124
<b>Figura 9.10</b> – Variáveis hidráulicas em relação ao arrastamento de resíduos sólidos para o piscinão na situação com defletor favorecendo o canal, com afastamento de 20 cm, com incremento de peso. ....	125
<b>Figura 9.11</b> – Variáveis hidráulicas em relação ao arrastamento de resíduos sólidos para o piscinão na situação com defletor favorecendo o piscinão. ....	127
<b>Figura 9.12</b> – Variáveis hidráulicas em relação ao arrastamento de resíduos sólidos para o piscinão na situação com defletor favorecendo o piscinão, com incremento de peso. ....	128
<b>Figura 9.13</b> – Taxa de arrastamento de resíduos sólidos para o piscinão em relação à vazão vertida para o piscinão (resíduos brancos). ....	129
<b>Figura 9.14</b> – Taxa de arrastamento de resíduos sólidos para o piscinão em relação ao número de Froude imediatamente a montante da soleira lateral (resíduos brancos). ....	130
<b>Figura 9.15</b> – Taxa de arrastamento de resíduos sólidos para o piscinão em relação à vazão vertida (resíduos vermelhos). ....	131
<b>Figura 9.16</b> – Taxa de arrastamento de resíduos sólidos para o piscinão em relação ao número de Froude imediatamente a montante da soleira lateral (resíduos vermelhos). ....	131
<b>Figura 10.1</b> – Taxa de arrastamento de resíduos sólidos para o piscinão em relação ao número de ensaios (resíduos brancos). ....	133

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.1</b> – Disposição final dos resíduos sólidos de origem doméstica.....	19
<b>Tabela 4.1</b> – Vazões de restrição no Rio Tietê. ....	27
<b>Tabela 4.2</b> – Montante de material retirado de reservatórios de contenção de cheias na RMSP.....	32
<b>Tabela 5.1</b> – Características de reservatórios de contenção de cheias implantados na RMSP.....	37
<b>Tabela 5.2</b> – Expressões para a determinação do coeficiente de descarga $C_d$ .....	48
<b>Tabela 6.1</b> – Produção de resíduos sólidos <i>per capita</i> em diferentes locais do planeta.....	50
<b>Tabela 6.2</b> – Quantidade de lixo retirada no Canal Pinheiros – São Paulo. ....	53
<b>Tabela 6.3</b> – Resultado da quantificação de resíduos sólidos na drenagem urbana de algumas cidades. ....	55
<b>Tabela 6.4</b> – Resultados do monitoramento de resíduos sólidos em Coburg, no dia 27/01/1995. ....	56
<b>Tabela 6.5</b> – Resultados do monitoramento de resíduos sólidos em Coburg, no dia 06/04/1995. ....	56
<b>Tabela 6.6</b> – Resultados do monitoramento em Cape Town. ....	59
<b>Tabela 6.7</b> – Características das bacias hidrográficas estudadas em Santa Maria/RS. ....	60
<b>Tabela 6.8</b> – Resultados das coletas de resíduos sólidos no sistema de drenagem nas Bacias Hidrográficas Cancela e Alto da Colina.....	61
<b>Tabela 6.9</b> – Quantificação de resíduos sólidos nas bacias hidrográficas de Santa Maria/RS. ....	63
<b>Tabela 6.10</b> – Quantificação dos resíduos sólidos dos vários estudos abordados.....	64
<b>Tabela 6.11</b> – Composição média dos resíduos sólidos da bacia em Porto Alegre (peso). .	66
<b>Tabela 6.12</b> – Resíduos sólidos coletados nas ecobarreiras do Rio de Janeiro (kgf).....	69
<b>Tabela 6.13</b> – Taxa de resíduos sólidos gerada em algumas bacias urbanas do Rio de Janeiro. ....	69
<b>Tabela 6.14</b> – Dados do protótipo e do modelo na modelação em volume dos resíduos sólidos.....	71
<b>Tabela 7.1</b> – Características do escoamento na condição de vazão mínima. ....	81
<b>Tabela 7.2</b> – Características geométricas do modelo físico. ....	86
<b>Tabela 7.3</b> – Características hidráulicas dos escoamentos segundo o arranjo utilizado (ensaios preliminares). ....	94
<b>Tabela 7.4</b> – Resultados das simulações realizadas sem os resíduos sólidos.....	94
<b>Tabela 7.5</b> – Relação entre o protótipo e o modelo de resíduo sólido (estiropor). ....	100
<b>Tabela 7.6</b> – Peso do protótipo e do modelo de alguns resíduos sólidos veiculados pelos rios urbanos no Brasil.....	102
<b>Tabela 7.7</b> – Relação entre a massa e o volume dos resíduos brancos e vermelhos. ....	109
<b>Tabela 9.1</b> – Resultados dos ensaios com resíduos sólidos na situação sem defletor. ....	114

## Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

