

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO DA DISTRIBUIÇÃO DE POLUENTES EM  
SUPERFÍCIES URBANAS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Ana Roberta Victoria Silva**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2009**

# **ESTUDO DA DISTRIBUIÇÃO DE POLUENTES EM SUPERFÍCIES URBANAS**

**por**

**Ana Roberta Victoria Silva**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil.**

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria do Carmo Cauduro Gastaldini**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2009**

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação de  
Mestrado

**ESTUDO DA DISTRIBUIÇÃO DE POLUENTES EM  
SUPERFÍCIES URBANAS**

elaborada por  
**Ana Roberta Victoria Silva**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Civil**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria do Carmo Cauduro Gastaldini - UFSM  
(Presidente/Orientador)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva - UFSM

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Nilza Maria dos Reis Castro - UFRGS

Santa Maria, 27 de fevereiro de 2009.

## AGRADECIMENTOS

À Deus.

À minha família por todo o apoio, em especial à minha mãe Ana Maria e ao meu pai Clovis Roberto, pelo amor, incentivo e compreensão em todos os momentos. À minha tia Maisi Almeida, pelo amor e incentivo nas horas difíceis.

À professora Maria do Carmo C. Gastaldini, pelo exemplo profissional e pessoal, e pela paciência, atenção, orientação e apoio.

A todos os professores do mestrado, especialmente a professora Eloiza Maria C. Dias de Paiva e ao professor João Batista Dias de Paiva, pelo exemplo e esclarecimentos.

Aos amigos e colegas do curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, em especial as amigas Ana Paula Gomes, Lilia Mayumi Kaneda Seeger, Raquel Paula Lorenzi, Ana Lúcia Denardin Rosa e Camille Couto pela amizade e companheirismo.

Aos bolsistas de iniciação científica Fábio Mari Malqui, Mônica Vanzo e Luciane Isabel Hass pela amizade e auxílio nos trabalhos.

Aos servidores técnicos Thiago Formentini, Alcides Sartori e Astério do Carmo, pelos serviços de campo, laboratório, apoio e amizade.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Departamento de Hidráulica e Saneamento, pela infra-estrutura adequada para a realização do trabalho.

Ao Departamento de Hidráulica e Saneamento, em especial ao grupo GHIDROS pelas instalações e equipamentos utilizados no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPQ/CT – Hidro – Brasil pela bolsa de estudo concedida

Agradeço a todas aquelas pessoas que de maneira direta ou indireta auxiliaram na realização desse trabalho.

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

### **ESTUDO DA DISTRIBUIÇÃO DE POLUENTES EM SUPERFÍCIES URBANAS**

AUTORA: ANA ROBERTA VICTORIA SILVA

ORIENTADORA: PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. MARIA DO CARMO CAUDURO GASTALDINI

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 27 de fevereiro de 2009.

Este trabalho teve como objetivo quantificar os poluentes ligados aos diversos tamanhos de sedimentos em superfícies impermeáveis em três campanhas de amostragem. Foram realizadas coletas de sedimento seco nas ruas Marquês do Herval e Rigoberto Duarte, ambas localizadas na bacia do arroio Cancela no município de Santa Maria-RS; e monitoramento hidrossedimentológico na saída da canalização da rua Marquês do Herval. As amostras de sedimento seco dos dias anteriores a precipitação, bem como as de sedimento ligado ao escoamento superficial, durante a precipitação, foram separadas em 4 faixas granulométricas ( $\leq 63\mu\text{m}$ , 63-250 $\mu\text{m}$ , 250-500 $\mu\text{m}$  e  $\geq 500\mu\text{m}$ ). Para cada faixa granulométrica foi avaliada a carga de poluição orgânica, de nutrientes e de metais pesados, através da determinação das concentrações dos seguintes parâmetros: demanda química de oxigênio, amônia, nitrito, nitrato, fosfato, sulfato, cloreto, fluoreto, cobre, níquel, zinco e chumbo. A granulometria menor que 63 $\mu\text{m}$  representa em média 2,6% da carga total de sedimentos para a rua Marquês do Herval e 3,5% para a rua Rigoberto Duarte. A granulometria maior que 250 $\mu\text{m}$  representa em média 70% da carga de sedimentos em ambas as ruas. As amostras de metais pesados apresentaram maiores concentrações na granulometria menor que 63 $\mu\text{m}$ . Nas amostras de sedimento seco, as maiores cargas de DQO, sulfato, fosfato e cloreto foram encontradas na granulometria maior que 500 $\mu\text{m}$ . A amônia e o nitrato, chumbo e zinco estão associados a faixa granulométrica de 63-250 $\mu\text{m}$ .

Palavras-chaves: Sedimentos, Metais Pesados, Nutrientes, Poluição Difusa.

## **ABSTRACT**

Master's Essay  
Post-Graduation Program in Civil Engineering  
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

### **STUDY OF POLLUTANT DISTRIBUTION IN URBAN SURFACE**

AUTHOR: ANA ROBERTA VICTORIA SILVA

PROFESSOR: DRA. MARIA DO CARMO CAUDURO GASTALDINI

Date and Site of Presentation: Santa Maria, February 27, 2009.

This paper aimed to quantify pollutants connected to sediments of different sizes in impermeable surfaces in three sampling campaigns. Dry sediments collections were done on Marquês do Herval and Rigoberto Duarte streets, both located on the Cancela Creek basin in Santa Maria county, RS, as well as hydrosedimental monitoring at the drainage system escape on Marquês do Herval St. Dry sediments samples prior to rainfall, as well as surface runoff sediment samples during rainfall, were separated into 4 granulometric bands ( $\leq 63\mu\text{m}$ ,  $63-250\mu\text{m}$ ,  $250-500\mu\text{m}$  and  $\geq 500\mu\text{m}$ ). Organic pollution, nutrient and heavy metal contents were evaluated for each granulometric band by determining the concentration of the following parameters: oxygen chemical demand, ammonia, nitrite, nitrate, phosphate, sulphate, chloride, fluoride, copper, nickel, zinc and lead. Granulometry lower than  $63\mu\text{m}$  represented on average 2,6% of the total sediment content for Marquês do Herval St. and 3,5% for Rigoberto Duarte St. Granulometry above  $250\mu\text{m}$  represented on average 70% of the sediment content for both streets. Heavy metal samples showed higher concentrations in granulometry below  $63\mu\text{m}$ . In dry sediment samples, the highest sulphate, phosphate and chloride contents were found in granulometry above  $500\mu\text{m}$ . Ammonia, nitrate, lead and zinc are associated with the  $63-250\mu\text{m}$  granulometric band.

Key words: Sediment, Heavy Metals, Nutrients, Nonpoint pollution.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3. 1 – Principais problemas de correntes da urbanização que incidem sobre a quantidade e qualidade das águas. Fonte: Tucci (1995). .....	18
Figura 3. 2 – Fontes de sedimentos e/ou poluentes em áreas urbanas. Fonte: Taylor (2007 apud Poleto et al., 2008). .....	23
Figura 3. 3 – Área de amostragem do estudo (a), com as 5 transversais no meio da estrada (b) e os 10 locais de amostragens fixos em cada transversal (c). .....	39
Figura 3. 4 – Concentrações dos elementos nas diferentes faixas granulométricas dos sedimentos na rodovia e nas sarjetas.....	40
Figura 4. 1 – Localização da Bacia hidrografia Cancela.....	45
Figura 4. 2 – Uso do solo para o ano de 2004. (Adaptado de Garcia, 2005).....	47
Figura 4. 3 – Localização da área de estudo com as estações de monitoramento. .	49
Figura 4. 4 – Pluviômetro eletrônico do tipo Pluvio OTT. Fonte: Dotto, 2006. ....	50
Figura 4. 5 – (a) Calha implantada na estação fluviossedimentométrica e (b) Planta baixa da calha. Fonte: Dotto, 2006.....	50
Figura 5. 1- A área de amostragem isolada por uma moldura de madeira sendo (a) escovada, (b) aspirada e após (c) a área depois do procedimento. ....	53
Figura 5. 2 – Desenho esquemático das três zonas de amostragem da rua Marquês do Herval. Fonte: adaptado de Dotto, 2006.....	53
Figura 5. 4 – Desenho esquemático das quatro quadras de amostragem da rua Rigoberto Duarte. Fonte: adaptado de Dotto, 2006. ....	54
Figura 5. 5 – Amostrador ISCO modelo FR7600 instalado na estação hidrossedimentométrica. Fonte: Dotto, 2006.....	55
Figura 6. 1 – Distribuição granulométrica da rua Marquês do Herval – período 23 julho a 01 agosto de 2007. ....	61
Figura 6. 2 – Distribuição granulométrica da rua Rigoberto Duarte – período 23 julho a 01 agosto de.....	62

Figura 6. 3 – Distribuição granulométrica da rua Marquês do Herval – período 22 a 28 de outubro de 2007.....	62
Figura 6. 4 – Distribuição granulométrica da rua Rigoberto Duarte – período 22 a 28 de outubro de 2007.....	63
Figura 6. 5 – Distribuição granulométrica total para as ruas Marquês do Herval e Rigoberto Duarte referente as três campanhas de amostragem.....	63
Figura 6. 6 – Carga total diária de sedimentos na superfície coletadas durante a primeira.....	65
Figura 6. 7 – Carga total diária de sedimentos na superfície coletadas durante a segunda.....	65
Figura 6. 8 – Carga total diária de sedimentos na superfície coletadas durante a terceira.....	66
Figura 6. 9 – Carga de sedimentos nas granulometrias e matéria orgânica (MO) encontradas nas duas ruas na primeira campanha de amostragem.....	68
Figura 6. 10 – Carga de sedimentos em cada granulometria, matéria orgânica (MO) e lixo (LX) encontrado nas duas ruas durante a segunda campanha de amostragem. ....	68
Figura 6. 11 – Carga de sedimentos em cada granulometria, matéria orgânica (MO) e lixo (LX) encontrado na rua Marquês do Herval durante a terceira campanha de amostragem.....	69
Figura 6. 12 – Efeito da velocidade do vento na carga total de sedimentos na superfície – primeira campanha de amostragem.....	70
Figura 6. 13 – Efeito da velocidade do vento na carga total de sedimentos na superfície – segunda campanha de amostragem.....	71
Figura 6. 14 – Efeito da velocidade do vento na carga total de sedimentos na superfície – terceira campanha de amostragem.....	71
Figura 6. 15 – Carga de demanda química de oxigênio (DQO) nas ruas Marquês do Herval (MH) e Rigoberto Duarte (RD) nas três campanhas de amostragem.....	73
Figura 6. 16 – Carga de amônia ( $\text{NH}_4^-$ ) nas ruas Marquês do Herval (MH) e Rigoberto Duarte (RD) nas três campanhas de amostragem.....	75
Figura 6. 17 – Carga de nitrato ( $\text{NH}_3^-$ ) nas ruas Marquês do Herval (MH) e Rigoberto Duarte (RD) nas três campanhas de amostragem.....	76
Figura 6. 18 – Carga de fosfato ( $\text{PO}_4^-$ ) nas ruas Marquês do Herval (MH) e Rigoberto Duarte (RD) nas três campanhas de amostragem.....	76



Figura 6. 19 – Carga de sulfato ( $\text{SO}_4^-$ ) nas ruas Marquês do Herval (MH) e Rigoberto Duarte (RD) nas três campanhas de amostragem. ....	77
Figura 6. 20 – Carga de cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) nas ruas Marquês do Herval (MH) e Rigoberto Duarte (RD) nas três campanhas de amostragem. ....	77
Figura 6. 21 – Carga de fluoreto ( $\text{F}^-$ ) nas ruas Marquês do Herval (MH) e Rigoberto Duarte (RD) nas três campanhas de amostragem. ....	78
Figura 6. 22 – Carga de cobre (Cu) nas ruas Marquês do Herval (MH) e Rigoberto Duarte (RD) nas três campanhas de amostragem. ....	80
Figura 6. 23 – Carga de zinco (Zn) nas ruas Marquês do Herval (MH) e Rigoberto Duarte (RD) nas três campanhas de amostragem. ....	80
Figura 6. 24 – Carga de níquel (Ni) nas ruas Marquês do Herval (MH) e Rigoberto Duarte (RD) nas três campanhas de amostragem. ....	81
Figura 6. 25 – Carga de chumbo (Pb) nas ruas Marquês do Herval (MH) e Rigoberto Duarte (RD) nas três campanhas de amostragem. ....	81
Figura 6. 26 – Concentração de cobre (Cu) nas ruas Marquês do Herval (MH) e Rigoberto Duarte (RD) nas três campanhas de amostragem.....	84
Figura 6. 27 – Concentração de zinco (Zn) nas ruas Marquês do Herval (MH) e Rigoberto Duarte (RD) nas três campanhas de amostragem.....	84
Figura 6. 28 – Concentração de níquel (Ni) nas ruas Marquês do Herval (MH) e Rigoberto Duarte (RD) nas três campanhas de amostragem.....	85
Figura 6. 29 – Concentração de chumbo (Pb) nas ruas Marquês do Herval (MH) e Rigoberto Duarte (RD) nas três campanhas de amostragem.....	85
Figura 6. 30 – Hidrograma do evento ocorrido no dia 02 de agosto de 2007.....	87
Figura 6. 31 – Hidrograma do evento ocorrido no dia 29 de outubro de 2007.....	88
Figura 6. 32 – Hidrograma do evento ocorrido nos dias 13 e 14 de novembro de 2007.....	89
Figura 6. 33 – Carga de sólidos totais (ST) encontrada no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem. ....	90
Figura 6. 34 – Carga de sólidos suspensos (SS) no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem. ....	91
Figura 6. 35 – Carga de demanda química de oxigênio (DQO) no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem. ....	92
Figura 6. 36 – Turbidez encontrada no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem. ....	92

Figura 6. 37 – Carga de amônia ( $\text{NH}_4^-$ ) no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem. ....	94
Figura 6. 38 – Carga nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem. ....	94
Figura 6. 39 – Carga de fosfato ( $\text{PO}_4^-$ ) no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem. ....	95
Figura 6. 40 – Carga sulfato ( $\text{SO}_4^-$ ) no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem. ....	95
Figura 6. 41 – Carga de cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem. ....	96
Figura 6. 42 – Carga de fluoreto ( $\text{F}^-$ ) no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem. ....	96
Figura 6. 43 – Carga de cobre (Cu) no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem. ....	99
Figura 6. 44 – Carga de zinco (Zn) no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem. ....	99
Figura 6. 45 – Carga de níquel (Ni) no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem. ....	100
Figura 6. 46 – Carga de chumbo (Pb) no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem. ....	100
Figura 6. 47 – Concentração de cobre (Cu) no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem. ....	102
Figura 6. 48 – Concentração de zinco (Zn) no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem. ....	103
Figura 6. 49 – Concentração de níquel (Ni) no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem. ....	103
Figura 6. 50 – Concentração de chumbo (Pb) no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem. ....	104
Figura 6. 51 – Carga anual nutrientes encontrados nos sedimentos coletados na rua Marquês do Herval e do sedimento em suspensão encontrado no escoamento superficial (ES). ....	106
Figura 6. 52 – Carga anual de metais pesados encontrados nos sedimentos coletados na rua Marquês do Herval e do sedimento em suspensão encontrado no escoamento superficial (ES). ....	107

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3. 1 – Concentrações de metais pesados. (Adaptado de Ellis e Revitt, 1982). .....	38
Tabela 3. 2 – Concentrações de metais nas posições C e D para as quatro faixas granulométricas (Adaptado de Deletic e Orr, 2005). .....	41
Tabela 3. 3 – Carga de poluentes dissolvidos (Adaptado de Deletic e Orr, 2005) ...	41
Tabela 4. 1 – Características físicas da bacia hidrográfica Cancela. ....	46
Tabela 4. 2 – Dados obtidos para o uso do solo para a data de 2004 .....	48
Tabela 5. 1 – Parâmetros monitorados, unidades, técnicas e locais de análise.....	58
Tabela 5. 2 – Fatores médios de equivalência de diversos tipos de veículos em função da classe de via .....	59
Tabela 6. 1- Fluxo diário de veículos das ruas Marquês do Herval e Rigoberto Duarte .....	60
Tabela 6. 2 – Carga de sedimentos coletadas nas ruas Marquês do Herval (M.H.) e Rigoberto Duarte (R.D.) nas três campanhas.....	69
Tabela 6. 3 – Carga de DQO ( $\text{mg}/\text{m}^2$ ) nas 4 faixas granulométricas.....	73
Tabela 6. 4 – Carga de nutrientes ( $\text{mg}/\text{m}^2$ ) nas 4 faixas granulométricas .....	79
Tabela 6. 5 – Carga de metais pesados ( $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ) nas 4 faixas granulométricas.....	82
Tabela 6. 6 – Concentrações de metais pesados ( $\mu\text{g}/\text{g}$ ) nas 4 faixas granulométricas .....	86
Tabela 6. 7 – Carga de DQO, sólidos totais e sólidos suspensos ( $\text{mg}/\text{m}^2$ ) e turbidez (NTU) nas 4 faixas granulométricas .....	93
Tabela 6. 8 – Carga de nutrientes ( $\text{mg}/\text{m}^2$ ) nas 4 faixas granulométricas .....	98
Tabela 6. 9 – Carga de metais pesados ( $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ) nas 4 faixas granulométricas.....	101
Tabela 6. 10 – Concentrações de metais pesados ( $\mu\text{g}/\text{g}$ ) nas 4 faixas granulométricas .....	105

Tabela 6. 11 – Carga média anual de poluentes estimada para rua Marquês do Herval (MH) e para o escoamento superficial (ES) .....	108
Tabela 6. 12 – Resumo das cargas dos poluentes encontrados nos sedimentos secos das ruas Rigoberto Duarte (RD) e Marquês do Herval (MH) e das amostras do escoamento superficial (ES).....	109

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
2.1 Objetivo geral .....	17
2.2 Objetivos específicos .....	17
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>18</b>
3.1 Drenagem Urbana .....	18
3.2 Fontes de poluentes .....	21
3.3 Qualidade da água do escoamento superficial .....	24
3.3.1 Sólidos .....	24
3.3.2 Turbidez.....	24
3.3.3 Demanda química de oxigênio .....	25
3.3.4 Formas nitrogenadas .....	25
3.3.5 Formas fosfatadas .....	26
3.3.6 Sulfato .....	26
3.3.7 Cloreto .....	26
3.3.8 Fluoreto .....	27
3.3.9 Metais pesados.....	27
3.3.9.1 Cobre .....	28
3.3.9.2 Níquel .....	28
3.3.9.3. Zinco.....	29
3.3.9.4 Chumbo .....	29
3.4 Problemas causados pelos sedimentos .....	30
3.5 Quantificação dos poluentes encontrados no escoamento superficial .....	32
3.6 Quantificação dos poluentes encontrados agregados aos sedimentos .....	36
<b>4 DESCRIÇÃO DA ÁREA ESTUDADA</b> .....	<b>45</b>
4.1 Localização da área de estudo.....	45

4.2	Uso e ocupação do solo .....	45
4.3	Locais e estações de monitoramento .....	48
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>52</b>
5.1	Amostragem .....	52
5.1.1	Amostragem dos sedimentos secos .....	52
5.1.2	Amostragem dos sedimentos em suspensão .....	54
5.2	Preparo das amostras .....	56
5.2.1	Preparo das amostras de sedimentos secos .....	56
5.2.2	Preparo das amostras de sedimentos em suspensão .....	56
5.3	Parâmetros físicos e químicos.....	57
5.4	Estimativa da carga média anual de poluentes .....	58
5.5	Fluxo de veículos.....	59
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>60</b>
6.1	Fluxo de veículos.....	60
6.2	Sedimento seco acumulado na sarjeta.....	61
6.2.1	Análise granulométrica dos sedimentos secos coletados diariamente nas sarjetas.....	61
6.2.2	Carga de sedimentos secos coletados diariamente nas sarjetas .....	64
6.2.3	Efeito da Velocidade do Vento nas cargas de sedimento.....	70
6.3	Avaliação da carga de poluição orgânica, de nutrientes e de metais pesados nas faixas granulométricas dos sedimentos secos .....	72
6.3.1	Avaliação da carga de poluição orgânica .....	73
6.3.2	Avaliação da carga de nutrientes.....	74
6.3.3	Avaliação da carga de metais pesados .....	79
6.3.4	Avaliação da concentração de metais pesados.....	83
6.4	Sedimento em suspensão da microdrenagem .....	87
6.4.1	Avaliação da carga de poluição orgânica, de nutrientes e de metais pesados nas faixas granulométricas na microdrenagem.....	89
6.4.2	Avaliação da carga de poluição orgânica .....	90
6.4.3	Avaliação da carga de nutrientes.....	93
6.4.4	Avaliação da carga de metais pesados .....	98
6.4.5	Avaliação da concentração de metais pesados.....	102
6.5	Estimativa da carga média anual de poluentes nas amostras secas e nas amostras do escoamento pluvial.....	105

<b>7 CONCLUSÕES .....</b>	<b>110</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>113</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>116</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e o conseqüente processo de urbanização acelerado e sem planejamento adequado vem causando inúmeros efeitos nocivos ao meio ambiente, principalmente aos recursos hídricos. O desenvolvimento urbano, além de causar alterações no ciclo hidrológico por meio de aumento de áreas impermeáveis e conseqüentemente redução de infiltração no solo e aumento do escoamento superficial, provoca um aumento na quantidade de poluentes devido a diversos fatores antropogênicos tais como uso do solo, atividades locais, volume de tráfego na região, entre outros.

Os principais poluentes carregados pela drenagem urbana são sedimentos, nutrientes, matéria orgânica, bactérias, metais pesados, hidrocarbonetos, pesticidas.

Segundo Carvalho (2000), os sedimentos não são somente um dos maiores poluentes da água, mas também servem como catalisadores, carreadores e como agentes fixadores para outros agentes poluidores. O sedimento, sozinho, degrada a qualidade da água para consumo humano, para recreação, para o consumo industrial, infra-estruturas hidrelétricas e vida aquática. Adicionalmente, produtos químicos e lixo são assimilados sobre e dentro das partículas de sedimento. Trocas iônicas podem ocorrer entre o soluto e o sedimento. As partículas de sedimento agem como potencializadores dos produtos causados por agentes químicos decorrentes do lixo, resíduos tóxicos, nutrientes, bactérias patogênicas, vírus, etc.

Vaze e Chiew (2002; 2004) determinaram a carga de nutrientes associada com diferentes tamanhos de partículas dos poluentes superficiais secos e de amostras coletadas do escoamento superficial de uma rodovia urbana. Concluíram que a totalidade do nitrogênio e do fósforo particulado em amostras do escoamento superficial está unida a sedimentos de tamanhos entre 11 e 150 $\mu\text{m}$ , portanto, para remover fósforo e nitrogênio o tratamento deve remover partículas até 11 $\mu\text{m}$ .

Deletic e Orr (2005) amostraram sedimentos em rodovia urbana através do “método úmido”, aspirando amostras após a lavagem de superfícies especificadas. Analisaram concentrações de metais pesados e nutrientes. As concentrações de metais pesados foram maiores na fração de tamanho de partículas menores do que 63 $\mu\text{m}$ .

Quantidades significativas de poluentes do escoamento superficial urbano são transportadas como contaminantes ligados aos sedimentos. O conhecimento da



quantidade de poluentes ligada a diversos tamanhos dos sedimentos é importante, para que o projeto de estruturas de tratamento possa remover a maioria dos sedimentos poluídos. Este estudo aborda a avaliação dos poluentes agregado as diversas faixas granulométricas dos sedimentos provenientes de superfícies impermeáveis de áreas urbanas e dos poluentes provenientes das amostras de água da microdrenagem.

Esta pesquisa tem a finalidade de complementar os trabalhos realizados por Dotto (2006) e Gomes (2008) que investigaram a quantificação de sedimentos provenientes de superfícies impermeáveis, em Santa Maria, no Rio Grande do Sul. A quantificação foi realizada em períodos secos sobre superfícies asfaltadas e monitoramento hidrossedimentológico em períodos úmidos da área de contribuição investigada.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

O objetivo desta pesquisa é quantificar os poluentes ligados aos diversos tamanhos dos sedimentos de superfícies impermeáveis e da microdrenagem. O conhecimento da quantidade de poluentes ligada aos diversos tamanhos dos sedimentos é importante, para que o projeto de estruturas de tratamento possa remover a maioria dos tamanhos dos sedimentos poluídos.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Quantificação e comparação dos poluentes ligados aos sedimentos secos de ruas com intensidade de urbanização semelhante, porém com intensidade de tráfego e declividade diferentes.

- Análise granulométrica dos sedimentos secos coletados diariamente nas sarjetas.

- Análise granulométrica das amostras de água na microdrenagem em períodos chuvosos.

- Avaliação da carga de poluição orgânica, de nutrientes e de metais pesados nas faixas granulométricas dos sedimentos secos.

- Avaliação da carga de poluição orgânica, de nutrientes e de metais pesados nas faixas granulométricas na microdrenagem.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 Drenagem Urbana

Um dos principais impactos produzidos no ciclo hidrológico é a rápida taxa de urbanização, com inúmeros efeitos diretos e indiretos, como pode-se observar na figura 3.1. Essa urbanização tem grandes conseqüências, alterando substancialmente a drenagem e produzindo problemas a saúde humana, além de impactos como enchentes, deslizamentos e desastres provocados pelo desequilíbrio no escoamento das águas.

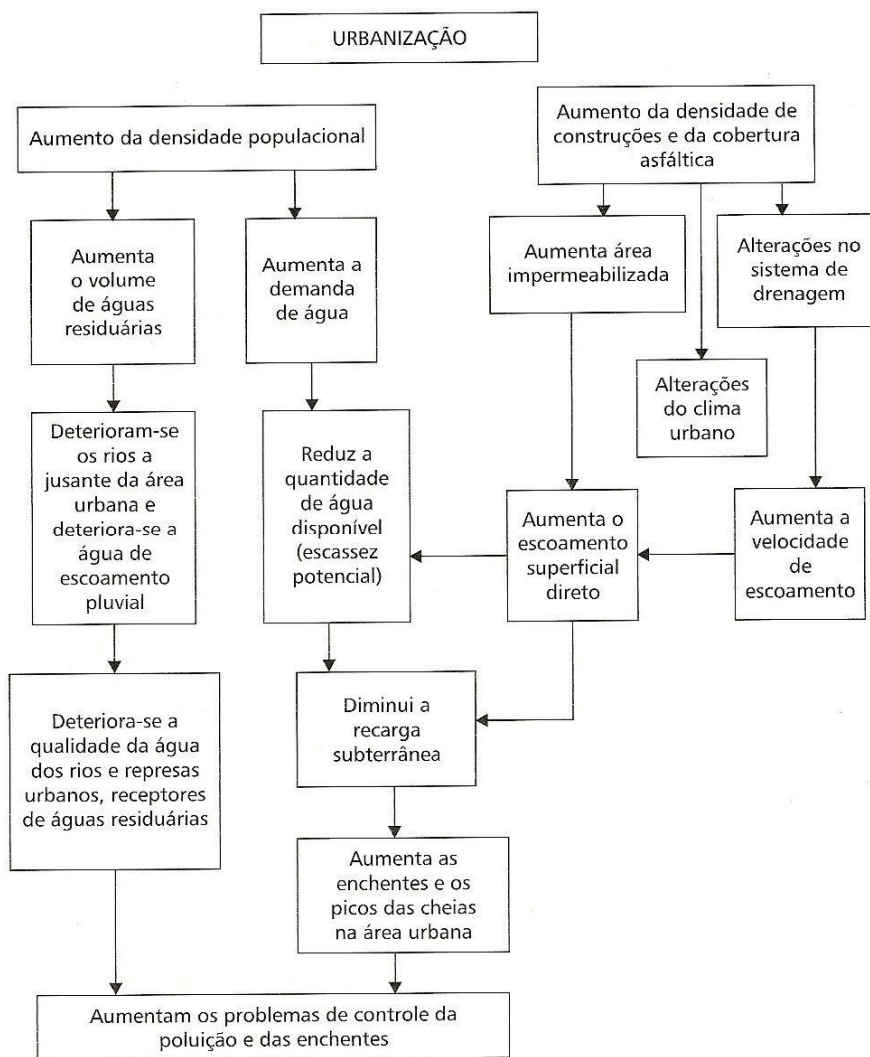


Figura 3. 1 – Principais problemas de correntes da urbanização que incidem sobre a quantidade e qualidade das águas. Fonte: Tucci (1995).

Do ponto de vista mundial, alguns países desenvolvidos já avançaram muito em relação ao equacionamento de problemas de drenagem urbana, tanto por meio de mecanismos legais, institucionais, administrativos e financeiros, quanto por meio de uma nova filosofia de concepção de projetos de drenagem. De acordo com Gomes *et al.* (2004), no Brasil, esses mecanismos são ainda muito incipientes, dificultando ações no sentido de preservar os centros urbanos de calamidades provocadas por inundações e proteger os corpos d'água receptores de grandes cargas poluentes. Outra grande dificuldade ainda enfrentada no Brasil é a escassez de planos diretores de drenagem urbana, além da pequena ênfase dada à qualidade da água nos poucos planos diretores existentes.

Há algum tempo, associa-se urbanização à poluição dos corpos d'água, devido aos esgotos domésticos não tratados e despejos industriais. Mais recentemente, no entanto, percebeu-se que parte dessa poluição gerada em áreas urbanas tem origem no escoamento superficial sobre áreas em fase de construção, depósitos de lixo ou de resíduos industriais e outros. O escoamento superficial da água, nesses locais, carrega o material solto ou solúvel que encontra até os corpos d'água, levando, portanto, cargas poluidoras bastante significativas. Além disso, a impermeabilização leva ao aumento do número de vezes em que a bacia produz escoamento superficial e ao aumento, também, das velocidades de escoamento, gerando maior capacidade de arraste e, portanto, maiores cargas poluidoras. As redes de drenagem urbana são responsáveis pela veiculação dessas cargas e sabe-se, hoje, que se constituem em importantes fontes de degradação de rios, lagos e estuários (PORTO, 1995).

Segundo Tucci (1995), durante o desenvolvimento urbano, o aumento dos sedimentos produzidos pela bacia hidrográfica é significativo, devido às construções, limpeza de terrenos para novos loteamentos, construção de ruas, avenidas e rodovias, entre outras causas.

O sedimento trazido pelo escoamento superficial urbano forma depósitos, que alteram o leito do corpo d'água receptor, causando problemas diversos, como diminuição da capacidade de escoamento, destruição de habitats e diminuição e alteração da população dos organismos que vivem juntos, uma vez que afeta locais de reprodução e a fonte de alimentos dessas espécies (PORTO, 1995).

No processo de assentamento populacional, o sistema de drenagem se sobressai como um dos mais sensíveis aos problemas causados pela urbanização,

em razão das dificuldades de esgotamento das águas pluviais, das interferências dos demais sistemas de infra-estrutura e também com a retenção da água na superfície do solo. Problemas que afetam diretamente a qualidade de vida da população.

Freqüentemente, os centros urbanos são assolados por inundações que inevitavelmente causam sérios transtornos a população. Tais eventos não estão restritos apenas as áreas urbanas. Em muitos países, inclusive no Brasil, milhões de hectares potencialmente produtivos são afetados por inundações temporárias ou contínuas do solo, que ocasionam prejuízos significativos à produção de alimentos.

Em ambos os casos, a contabilização dos danos econômicos e sociais, ocasionados por tais eventos, justificam plenamente o investimento em estruturas que possibilitem o escoamento adequado da água da chuva para locais apropriados (reservatórios, açudes, etc.). O conjunto destas obras compõe o sistema de drenagem.

O desenvolvimento urbano brasileiro tem produzido aumento significativo na freqüência das inundações, na produção de sedimentos e na deterioração da qualidade da água. À medida que a cidade se urbaniza, em geral, ocorrem os seguintes impactos: (i) aumento das vazões máximas, em até 7 vezes (LEOPOLD, 1968) *apud* TUCCI E COLLISCHONN, 1998), devido ao aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais e impermeabilização das superfícies; (ii) aumento da produção de sedimentos, devido à desproteção das superfícies e à produção de resíduos sólidos (lixo); (iii) deterioração da qualidade da água, devido à lavagem das ruas, transporte de material sólido e as ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial. Esses processos estão fortemente interligados quanto aos impactos indesejáveis sobre a sociedade. As enchentes aumentam de freqüência não só pelo aumento da vazão, mas também pela redução de capacidade de escoamento provocada pelo assoreamento dos condutos e canais.

De acordo com Tucci (2007), esse processo é desencadeado principalmente pela forma como as cidades se desenvolvem, por projetos de drenagem urbana inadequados. Estes projetos têm como filosofia escoar a água precipitada o mais rápido possível da área projetada. Este critério aumenta várias ordens de magnitude a vazão máxima, a freqüência e o nível de inundação de jusante.

### 3.2 Fontes de poluentes

Durante os últimos 20-30 anos, aumentou de forma significativa na maior parte dos países industrializados do mundo, o controle das descargas de fontes pontuais. Apesar deste esforço, nem sempre se verificou um aumento da qualidade das águas superficiais, tal constatação conduziu a uma maior atenção no que diz respeito à poluição proveniente de fontes difusas; esta poluição é mais difícil de identificar e controlar em comparação com a das fontes pontuais (VIEIRA *et al.*, 2002).

De acordo com Von Sperling (2005), existem basicamente duas fontes de poluentes que podem atingir um corpo d'água: a poluição pontual e a poluição difusa.

Na poluição pontual, os poluentes atingem o corpo d'água de forma concentrada no espaço. Um exemplo é o da descarga em um rio de um emissário transportando os esgotos de uma comunidade.

Na poluição difusa, os poluentes adentram ao corpo d'água distribuídos ao longo de parte da sua extensão. Este é o caso típico da poluição veiculada pela drenagem pluvial, a qual é descarregada no corpo d'água de uma forma distribuída, e não concentrada em um único ponto.

Conforme Martins (1988 *apud* SILVA, 2003) as cargas dependem significativamente de fatores locais, cujos efeitos nem sempre podem ser descritos por critérios racionais e gerais, que permitam ser extrapolados de uma região para outra. Exigem, portanto, monitoramento específico em cada região de estudo. A quantificação de poluentes específica é difícil de ser feita, devido à complexidade e a variabilidade da fonte difusa. As concentrações variam entre bacias hidrográficas, eventos diferentes de precipitação, e ao longo de um mesmo evento. A quantidade de carga gerada vai depender não só do tipo de uso do solo, mas das características hidrológicas e topográficas, cobertura vegetal, estação do ano, limpeza de ruas, práticas de gerenciamento do uso do solo, etc. Ou seja, dos elementos que influenciam no acúmulo de poluentes na superfície ou nos mecanismos de transportes de poluentes da superfície possuem um impacto direto na carga difusa gerada.

Além disso, os poluentes presentes nas águas de drenagem urbana têm afinidade com o sedimento em suspensão, haja visto que metais pesados, poluentes orgânicos e nutrientes sofrem adsorção e aderem às partículas sólidas com menos de 100µm de diâmetro (PORTO, 1995; EGODAWATA E GOONETILLEKE, 2006)

De acordo com Tucci (1995), vários resultados na literatura têm demonstrado que a qualidade da água do escoamento superficial urbano não é melhor que a do afluente de um tratamento secundário. Em geral, a quantidade de material suspenso na drenagem pluvial é muito superior à encontrada no esgoto *in natura*. Essa característica é mais significativa no início das enchentes.

O sistema de esgotamento pode ser combinado (cloacal e pluvial num mesmo conduto) ou separador absoluto (rede pluvial e cloacal separadas). No Brasil, a maioria das redes é do segundo tipo; somente em áreas antigas de algumas cidades, existem sistemas combinados. A qualidade da água dos pluviais depende de vários fatores: da limpeza urbana e sua frequência, da intensidade da precipitação e sua distribuição temporal e espacial, da época do ano e do tipo de uso da área urbana. Existe uma grande variabilidade nos parâmetros de qualidade da água de acordo com esses fatores (TUCCI, 1995)

Os estudos sobre a qualidade da água do escoamento pluvial das ruas e pavimentos, nomeadamente de infra-estruturas com grande circulação rodoviária (auto-estradas ou vias rápidas), são relativamente recentes, assumindo expressão relevante, sobretudo nos últimos 20 anos. Estes estudos vieram provar que estas fontes de poluição não-pontual da água constituem focos significativos de contaminação. (VIEIRA *et al.*, 2002)

De acordo com a USEPA (2000 *apud* PHILIPPI, 2005), as vias de tráfego constituem-se uma importante fonte de poluição por material particulado, na qual se observa níveis elevados de emissão. Em termos gerais, as emissões de material particulado das vias de tráfego são originadas de material solto presente na superfície da via. Conforme esse material vai sendo movido ou removido, ocorre uma recarga contínua por diversas fontes, de modo que se estabelece um equilíbrio entre os processos de deposição e remoção dessa carga de poeira. Os principais processos de deposição de material particulado, que podem ocorrer nas vias de tráfego, são poeira proveniente da erosão do pavimento, deposição de poluentes de veículos, deposição de poeira do entorno, derramamento de material de caçamba de caminhões, entre outros. Os principais processos de remoção do material são

ressuspensão por veículos, carregamento pelo vento, lavagem de chuva, serviços de limpeza, entre outros. A figura 3.2 ilustra as fontes de sedimentos e/ou poluentes em áreas urbanas.

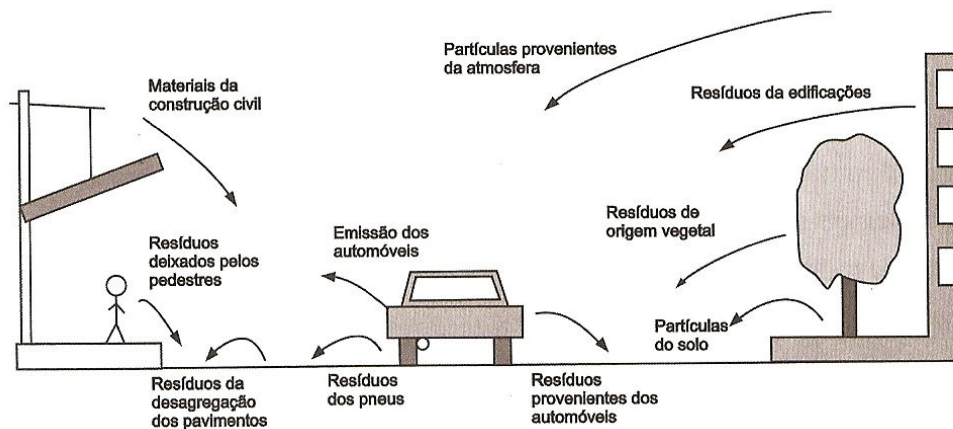


Figura 3. 2 – Fontes de sedimentos e/ou poluentes em áreas urbanas. Fonte: Taylor (2007 apud Poletto et al., 2008).

A deposição e acumulação de substâncias poluentes emitidas pelos veículos acabam por ter impactos significativos nos ecossistemas. Segundo Ball *et al.* (1991 apud Vieira *et al.*, 2002), alguns estudos apontam para o fato de, em determinadas áreas urbanas, a contribuição das estradas, para a poluição dos meios receptores ter um aumento de 50% para sólidos suspensos totais, 16% para hidrocarbonetos totais e 75% de metais pesados. Estas cargas poluentes resultam não só do tráfego rodoviário, mas também das modificações dos processos hidrológicos locais trazidos pela construção das vias.

A magnitude e a distribuição da acumulação dos poluentes parecem variar com o tipo e inclinação do pavimento, volume de tráfego, atividades de conservação, características sazonais e uso do solo adjacente.

Muitos poluentes são característicos do tipo de piso, produtos de combustão, perdas de líquidos de lubrificação, desgaste dos pneus, produtos resultantes da corrosão da carroçaria e do desgaste da pintura. A carga poluente depende do Tráfego Médio Diário (TMD), da qualidade do ar e da intensidade e duração da precipitação (VIEIRA *et al.*, 2002)

Segundo Hamilton e Harrison (1991), citados por Vieira *et al.* (2002), as águas de drenagem da estrada caracterizam-se por apresentarem grandes quantidades de:



sólidos suspensos totais, metais pesados (sobretudo chumbo, zinco e cobre) e hidrocarbonetos. As substâncias poluentes aparecem sob a forma dissolvida e particulada.

### **3.3 Qualidade da água do escoamento superficial**

#### **3.3.1 Sólidos**

Todos os contaminantes da água, com exceção de gases dissolvidos, contribuem para carga de sólidos.

Os sólidos em suspensão possuem média variação nas águas pluviais urbanas causando problemas estéticos, depósitos de lodo, adsorção de poluentes e constituem abrigo de patogênicos. Os sólidos dissolvidos totais podem causar salinidade excessiva, toxicidade a plantas e problemas de permeabilidade do solo.

As operações de secagem, calcinação e filtração são as que definem as diversas frações de sólidos presentes na água (sólidos totais, em suspensão, dissolvidos, fixos e voláteis).

#### **3.3.2 Turbidez**

A presença de partículas em suspensão, que causam a turbidez, ou de substâncias em solução, relativas à cor, pode concorrer para o agravamento da poluição. A turbidez limita a penetração de raios solares, restringindo a realização da fotossíntese que, por sua vez, reduz a reposição do oxigênio. Quando de origem antropogênica, pode estar associada a compostos tóxicos, organismos patogênicos e a erosão. No entanto, quando de origem natural, está associada à variação sazonal, à intensidade de precipitação, a partículas de rocha, argila e silte, algas e outros microrganismos. Pode reduzir a penetração da luz, prejudicando a fotossíntese. A resolução CONAMA 357/05 estabelece que águas naturais com turbidez inferiores a 100 uT podem ser utilizadas após tratamento convencional (classe 2).

### 3.3.3 Demanda química de oxigênio

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) é um parâmetro utilizado para avaliar a quantidade de matéria orgânica presente no corpo hídrico. A matéria orgânica é responsável pela redução na concentração de oxigênio dissolvido. Portanto, a avaliação da presença de matéria orgânica pode ser feita através da medição do consumo de oxigênio.

A DQO refere-se à estabilização da matéria orgânica ocorrida por processos químicos.

### 3.3.4 Formas nitrogenadas

O nitrogênio também é um importante nutriente para o crescimento de algas e plantas aquáticas superiores, podendo também contribuir para o fenômeno de eutrofização. Dentro do ciclo do nitrogênio, este elemento encontra-se entre várias formas e estados de oxidação. No meio aquático, uma das formas que este elemento pode se apresentar é como íon nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), que é uma forma oxidada de nitrogênio. O nitrato em concentrações elevadas está associado à doença da metahemoglobinemia, que dificulta o transporte de oxigênio na corrente sanguínea de bebês.

Por ser constituinte de proteínas, clorofila e outros compostos biológicos, o nitrogênio pode ser facilmente encontrado na natureza. E ainda pode ter origem antropogênica através do lançamento de despejos domésticos e industriais, excrementos de animais e fertilizantes.

Sua forma indica o estágio da poluição. Concentrações elevadas de nitrogênio orgânico e amônia são indicadores de poluição recente, enquanto nitratos indicam poluição remota. Nitritos podem resultar da oxidação da amônia ou da redução de nitratos, raramente estão presentes em águas de superfície ou residuárias em concentrações superiores a 1,0 mg/L. A Resolução CONAMA 357/05 estabelece limites, para lançamento de efluentes, de 20,0 mg/L para nitrogênio amoniacal total.

### 3.3.5 Formas fosfatadas

O fósforo é um dos mais importantes nutrientes para o crescimento de plantas aquáticas. Quando esse crescimento ocorre em excesso pode haver o fenômeno da eutrofização. Na água, o fósforo pode ser encontrado em várias formas, entre elas como ortofosfatos. Os ortofosfatos são diretamente disponíveis para o metabolismo biológico sem necessidade de conversões a formas mais simples.

A presença de fósforo pode ser originária de processos naturais (dissolução de rochas, carreamento do solo, decomposição de matéria orgânica e chuva) ou de processos antropogênicos (despejos domésticos e industriais, detergentes, excrementos de animais, fertilizantes e pesticidas, drenagem pluvial).

### 3.3.6 Sulfato

Os sulfatos, também conhecidos como óxidos sulfúricos, são importantes na indústria química e sistemas biológicos. Os sulfatos ocorrem como partículas microscópicas resultantes da combustão de combustíveis fósseis e biomassas. Produzem a acidez da atmosfera e produzem a chuva ácida.

### 3.3.7 Cloreto

O íon cloreto é um dos mais importantes ânions inorgânicos em águas. Na água potável, o sabor salgado produzido pelo íon cloreto é variável e depende da composição química da água. Algumas águas contendo 250 mg/L, limite estabelecido pela resolução CONAMA 357/05 para águas de classe 2, podem apresentar um sabor salgado, se o cátion sódio estiver presente. Entretanto, esse sabor salgado pode estar ausente em águas contendo 1000 mg/L quando os cátions predominantes são o cálcio e o magnésio. Altas concentrações de cloreto impedem o uso da água para a agricultura e exigem tratamento adequado para usos industriais, bem como causam danos a estruturas metálicas.

O cloreto tem como origem natural a dissolução de minerais e intrusão de águas salinas e como origem antropogênica despejos domésticos, despejos industriais e águas utilizadas na irrigação.

### 3.3.8 Fluoreto

Traços de fluoreto são normalmente encontrados em águas naturais e concentrações elevadas geralmente estão associadas com fontes subterrâneas. Em locais onde existem minerais ricos em flúor, tais como próximos a montanhas altas ou áreas com depósitos geológicos de origem marinha, concentrações de até 10 mg/L ou mais são encontradas. A maior concentração de flúor registrada em águas naturais é de 2.800 mg/L, no Quênia.

Alguns efluentes industriais também descarregam fluoreto nas águas naturais. São os casos das indústrias de vidro e de fios condutores de eletricidade. No ar, a presença de fluoreto deve-se principalmente a emissões industriais e sua concentração varia com o tipo de atividade. Estima-se um valor de exposição abaixo de 1µg/L, pouco significativo em relação à quantidade ingerida através da água e de alimentos.

O fluoreto ingerido através da água é quase completamente absorvido pelo corpo humano, enquanto que o flúor presente nos alimentos não é totalmente absorvido; em alguns casos como através de peixes e outras carnes, chega apenas a 25% (CETESB, 2007)

A concentração máxima de fluoreto total, estabelecida pela resolução CONAMA 357/05 para lançamento de efluente, é de 10,0 mg/L.

### 3.3.9 Metais pesados

Os metais são elementos persistentes e que apresentam a tendência de concentrarem-se em cadeias alimentares através de bioacumulação, o que pode resultar em alterações na estrutura e função de comunidades. Dependendo da concentração são tóxicos ao ser humano, causando efeitos carcinogênicos e mutagênicos. A forma em que um elemento metálico é encontrado no ambiente é determinante quanto ao efeito que irá exercer sobre a comunidade.

### 3.3.9.1 Cobre

As concentrações de cobre em águas superficiais são, normalmente, bem menores que 20 µg/L. As fontes de cobre para o meio ambiente incluem corrosão de tubulações de latão por águas ácidas, efluentes de estação de tratamento de esgotos, escoamento superficial e contaminação da água subterrânea a partir de usos agrícolas do cobre como fungicidas e pesticidas no tratamento de solos e efluentes, e a precipitação atmosférica de fontes indústrias. As principais fontes industriais incluem indústrias de mineração, fundição e refinação. No homem, a ingestão de doses excessivamente altas pode acarretar irritação e corrosão de mucosas, danos capilares generalizados, problemas hepáticos e renais e irritação do sistema nervoso central seguido de depressão. Entretanto, a intoxicação por cobre é muito rara. A presença de cobre no sistema de abastecimento de água, embora não constitua um perigo para a saúde, pode interferir nos usos domésticos (PHILIPPI *et al.*, 2004). O valor limite de 1,0 mg/L de cobre dissolvido é estabelecido pela resolução CONAMA 357/05 para lançamento de efluente .

### 3.3.9.2 Níquel

Concentrações de níquel em águas superficiais naturais podem chegar a aproximadamente 0,1 mg/L, embora concentrações de mais de 11 mg/L possam ser encontradas, principalmente em áreas de mineração. A queima de combustíveis fósseis contribui para o aumento da concentração no meio ambiente. Os processos de mineração e fundição do metal, fusão e modelagem de ligas e as indústrias de eletrodeposição também se enquadram como contribuintes principais; como fonte secundária, está à fabricação de alimentos, de artigos de panificadoras, de refrigerantes e de sorvetes aromatizados. Doses elevadas de níquel podem causar dermatites nos indivíduos mais sensíveis afetar nervos cardíacos e respiratórios (PHILIPPI, *et al.*, 2004). A resolução CONAMA 357/05 estabelece para lançamento de efluente, a concentração máxima de 2,0 mg/L.

### 3.3.9.3. Zinco

Em águas superficiais, as concentrações de zinco estão normalmente na faixa de 0,001 a 0,10 mg/L. A resolução CONAMA 357/05 fixa a concentração máxima de zinco total em 5,0 mg/L para lançamento de efluente. Largamente utilizado na indústria, o zinco é produzido no meio ambiente por processos naturais e antropogênicos, entre os quais se destacam as produções de zinco primário, combustão de madeira, incineração de resíduos, produção de ferro e aço, efluentes domésticos, abrasão de veículos, óleos lubrificantes, derramamento de óleo, fluidos hidráulicos e desgaste de pneus.. A água com alta concentração de zinco tem uma aparência leitosa e apresenta um sabor metálico ou adstringente quando aquecida. O zinco, por ser um elemento essencial para o ser humano, só se torna prejudicial à saúde quando ingerido em concentrações muito altas, o que é extremamente raro. Neste caso, pode acumular-se em outros tecidos do organismo humano; isto só ocorre quando as taxas de ingestão diária são elevadas (PHILIPPI, *et al.*, 2004)

### 3.3.9.4 Chumbo

O chumbo está presente no ar, no tabaco, nas bebidas e nos alimentos, nestes últimos, naturalmente, por contaminação e na embalagem. Está presente na água devido às descargas de efluentes industriais como, por exemplo, os efluentes das indústrias de acumuladores (baterias), bem como devido ao uso indevido de tintas e tubulações e acessórios a base de chumbo (materiais de construção). O chumbo e seus compostos também são utilizados em eletrodeposição e metalurgia.

Constitui veneno cumulativo, provocando um envenenamento crônico denominado saturnismo, que consiste em efeito sobre o sistema nervoso central com conseqüências bastante sérias. Outros sintomas de uma exposição crônica ao chumbo, quando o efeito ocorre no sistema nervoso central, são: tontura, irritabilidade, dor de cabeça, perda de memória, entre outros. Quando o efeito ocorre no sistema periférico o sintoma é a deficiência dos músculos extensores. A toxicidade do chumbo, quando aguda, é caracterizado pela sede intensa, sabor metálico, inflamação gastrointestinal, vômitos e diarreias (CETESB, 2007).

A resolução CONAMA 357/05 estabelece, para lançamento de efluente, concentrações máximas de chumbo total de 0,5 mg/L.

### **3.4 Problemas causados pelos sedimentos**

Os sedimentos são materiais sólidos e semi-fluidos depositados no leito dos lagos e reservatórios graças ao carreamento pelas enxurradas (de areia, silte e argila) da bacia de contribuição; pela deposição de matéria orgânica em decomposição (originada na bacia ou na própria água); ou por outro meio.

A dinâmica dos sedimentos compreende 3 fases em seqüência:

- i) o arraste de partículas ou decomposição de seres vivos;
- ii) a sedimentação desses materiais ou a precipitação de elementos; e
- iii) o acúmulo, deposição ou armazenagem dos mesmos no leito dos lagos e reservatórios.

As principais ligações ou interfaces dos sedimentos com os lagos e reservatórios são: assoreamento, turbidez, fonte de alimentos e habitat para a fauna e retenção de produtos tóxicos.

A turbidez da água é uma conseqüência direta do arraste e deposição dos sedimentos no leito dos lagos e reservatórios e apresenta danos ecológicos (alguns temporários), tais como: impedimento à penetração da luz solar e, portanto, dificultando a fotossíntese; recobrimento dos ovos de peixes e outros animais aquáticos e dos seus habitats; e outros inconvenientes.

A retenção de produtos tóxicos pelos sedimentos é, possivelmente, o maior dano ecológico, depois da eutrofização. Os sedimentos podem ser considerados a memória de um lago. São neles que a poluição já ocorrida fica acumulada e armazenada.

Por outro lado, os sedimentos como alimento e habitat cumprem uma função ecológica muito importante nos lagos e reservatórios. Existe toda uma comunidade bentônica que se alimenta dos detritos (ou sedimentos) aí depositados: peixes, invertebrados aquáticos, e outros.

Durante o desenvolvimento urbano, o aumento da produção de sedimentos da bacia hidrográfica é significativo, devido às construções, limpeza de terrenos para novos loteamentos, construção de ruas, avenidas e rodovias entre outras causas.

Em bacias rurais, o cultivo do solo deixa-o periodicamente exposto aumentando a produção de sedimentos. A camada superficial do solo tem a estrutura alterada, tornando-se menos resistente à erosão. O mesmo pode ocorrer em bacias urbanas, durante o processo de alteração de uso do solo. Áreas de campos, florestas ou até banhados são ocupadas na periferia das cidades por loteamentos. Tradicionalmente os loteamentos urbanos são precedidos por intensa atividade de retirada da cobertura vegetal, movimentação de volumes de terra e desestruturação da camada superficial de solo.

Em bacias urbanas a alteração de uso do solo é definitiva, o solo, e até o subsolo, ficam expostos para erosão no lapso de tempo entre o início do loteamento e o fim da ocupação. Quando a bacia urbana está completamente ocupada e o solo praticamente impermeabilizado, a produção de sedimentos tende a decrescer. (TUCCI e COLLISCHONN,1998),

Os sedimentos que atingem a macrodrenagem depositam devido à redução de declividade e da capacidade de transporte. Os sedimentos depositados reduzem a capacidade de escoamento de cheias dos canais da macrodrenagem e as inundações se tornam mais freqüentes. Em geral a solução adotada é a dragagem do material depositado nos canais. Os problemas associados à dragagem são os altos custos da operação, a necessidade de uma área para depositar o material dragado, a degradação das margens e as interrupções no trânsito, que ocorrem se o material é retirado por caminhões. A redução da capacidade dos condutos é um problema mais sério, uma vez que a limpeza dos mesmos representa custos significativos.

Além dos impactos físicos, o transporte de sedimentos traz consigo a carga de poluentes agregados aos sedimentos. A associação de poluentes tóxicos com materiais finos produz redução da qualidade da água. Da mesma forma os depósitos de sedimentos associados com esgoto sanitário, devido à interligação clandestina nos sistemas pluviais, são fontes de degradação na rede de escoamento. Esses depósitos geram a demanda de oxigênio.

Em resumo, as principais conseqüências ambientais da produção de sedimentos são as seguintes: assoreamento da drenagem, com redução da capacidade de escoamento de condutos, rios e lagos urbanos; transporte de poluentes agregados ao sedimento, que contaminam as águas pluviais.



Segundo Poletto e Castilhos (2008), concentrações elevadas de poluentes nos sedimentos são bastante comuns em áreas urbanas industrializadas, e talvez por isso poucos estudos se voltem ao ambiente urbano estritamente residenciais. Porém, justificam-se estudos a serem conduzidos nessas áreas à medida que verifica-se a ausência de saneamento aliado aos poluentes liberados pela queima de combustíveis por automóveis e outras fontes que são capazes de aumentar algumas dessas concentrações a níveis tão elevados, como em áreas industriais. E, assim, as áreas residenciais inicialmente consideradas livres de poluentes inorgânicos, também podem estar sofrendo processos de enriquecimento por algum tipo de contaminante.

Entre os poluentes que podem ser encontrados em um ambiente urbano, os metais pesados merecem uma atenção especial por não serem biodegradados, além de serem bioacumulativos, podendo originar inúmeros distúrbios e doenças a biota.

### **3.5 Quantificação dos poluentes encontrados no escoamento superficial**

As redes de drenagem urbana veiculam cargas de poluentes que têm gerado preocupações crescentes no contexto do controle da poluição e da proteção dos recursos hídricos. A origem desta poluição difusa é diversificada, contribuindo a abrasão e o desgaste das ruas pelos veículos, o lixo acumulado nas ruas e calçadas, os resíduos orgânicos de pássaros e animais domésticos, as atividades de construção, os resíduos de combustíveis, óleos e graxas deixados por veículos, poluentes do ar, etc. Os principais poluentes carreados são sedimentos, matéria orgânica, bactérias, metais pesados, hidrocarbonetos, pesticidas. A previsão dos impactos na qualidade da água e os seus respectivos controles/tratamento encontram barreiras devido a sua grande variabilidade espacial e temporal.

A contaminação das águas pluviais pode ocorrer pelos seguintes fatores:

(i) absorção dos poluentes aéreos, cerca de 90% dos poluentes aéreos depositados em áreas impermeáveis são transportados para os rios (OBERTS (1985 *apud* TUCCI, 2007));

(ii) lavagem das superfícies urbanas permeáveis ou impermeáveis, que podem ter contaminantes como materiais galvanizados, produtos para preservar madeira, oficinas mecânicas que usam pinturas e materiais químicos, entre outros, podendo ser agravado pela acidez da água de chuva em alguns locais;

(iii) poluentes acumulados no sistema de escoamento como condutos e canais ou qualquer sistema de condução;

(iv) lavagem de depósitos de conteúdos contaminados.

No período chuvoso a água lava as superfícies urbanas transportando para jusante todo o material depositado nestas superfícies além do lixo e sedimentos. A contaminação da água proveniente deste processo depende do material depositado e do tipo de superfície. A carga desta contaminação chega aos rios próximos das cidades e contamina suas águas.

Os nutrientes produzem eutrofização em lagos, a jusante das áreas urbanas, principalmente quando possuem tempo de residência superior de duas a três semanas. Os metais são tóxicos e contaminam mananciais de água. Os mais frequentes são chumbo, cádmio, cobre e zinco, componentes de hidrocarbonetos, ocorrem devido ao uso destes componentes em carros e depósitos de combustíveis.

A qualidade da água da rede pluvial depende de vários fatores: da limpeza urbana e sua frequência; da intensidade da precipitação e sua distribuição temporal e espacial; da época do ano e do tipo de uso da área urbana.

Brites e Gastaldini (2005) quantificaram a carga difusa transportada pela rede de drenagem pluvial urbana da bacia hidrográfica Cancela, localizada em Santa Maria – RS, através dos parâmetros: demanda bioquímica de oxigênio, coliformes totais e termotolerantes e sólidos suspensos totais. Observaram correlação entre carga poluente transportada com intensidade média de precipitação e com o total precipitado, não sendo observada correlação com o período de tempo seco antecedente ao evento. Deletic e Orr (2005) não encontraram, também, correlação com o período de tempo seco antecedente ao evento no carreamento de partículas pequenas.

Muthukaruppan *et al.* (2002) consideram que as cargas poluentes podem variar consideravelmente, principalmente, em função da variação do tipo de uso do solo e das condições sócio-econômicas. Paz, Gastaldini e Jorge (2004) realizaram pesquisa comparando a carga difusa de uma bacia hidrográfica de características rurais com uma bacia em urbanização próxima, situadas na cidade de Santa Maria, RS. As concentrações médias de sólidos totais, dos eventos analisados, foram de 700 mg/L e 250 mg/L, respectivamente para a bacia em urbanização e a rural.

Diante da possibilidade de contaminação de corpos d'água receptores por escoamento superficial ou por fontes difusas, e de solo e águas subterrâneas por

meio de medidas alternativas de controle de enchentes, Gomes *et al.* (2004) fizeram um estudo para conhecer um pouco sobre a concentração de alguns poluentes presentes na água proveniente do escoamento superficial urbano, de uma área da cidade de Brasília. Para isto, foi executado o monitoramento de uma rede de drenagem pluvial desse local, onde foram coletadas amostras de água para análise de qualidade, além de serem feitas medições de vazão no momento da coleta. Foram feitas sete campanhas de coleta de dados, divididas entre dois locais, sendo que a primeira ocorreu em outubro de 2003 e a última em fevereiro de 2004. Os parâmetros de qualidade analisados foram: temperatura, pH, condutividade, DBO, DQO, orto-fosfato, nitrato, coliformes totais e termotolerantes, sólidos em suspensão, metais e óleos e graxas.

Os autores compararam os resultados com valores do estudo, feito por Gromaire-Mertz *et al.* (1999), realizado na cidade de Paris, referentes a um distrito com áreas residenciais antigas e poucas áreas comerciais, com 42 ha, sendo 90% impermeável. A comparação dos resultados obtidos referentes aos metais cádmio, cobre, chumbo e zinco, revelou maiores valores em grande parte dos resultados de Brasília, isto pode ser devido à existência de fatores que levem a diminuir a quantidade de metais, ou de outro poluente, na superfície de escoamento da cidade de Paris, como é o caso da lavagem de ruas, comum nessa cidade. Os autores observaram que as concentrações médias de evento parcial para condutividade, DQO, DBO e orto-fosfato tendem a diminuir na medida em que vão ocorrendo as chuvas do período estudado. Isso é justificado devido ao menor tempo de deposição de poluentes na superfície de escoamento.

Push *et al.* (2007) determinaram as cargas de Cd, Cu, Pb e Zn a partir de fontes difusas de poluição urbana como materiais construtivos e telhas; partes integrantes de veículos e da deposição atmosférica, este estudo foi realizado no município de Curitiba. Os autores identificaram que os materiais de construção e as telhas constituíam fontes de todos os metais estudados e a deposição seca principalmente com cargas de cádmio e chumbo. Com relação aos componentes individuais dos automóveis, os freios contribuíram com cerca de 70% da carga de cobre. Concluíram que as fontes contribuem no aporte de metais e que essas contribuições estiveram diretamente relacionadas à caracterização do local de estudo. Os autores estimaram cargas de 0,262; 13,9; 24,6; 682 kg/ano para cádmio, cobre, chumbo e zinco respectivamente nas águas do escoamento pluvial urbano; e

cargas de 0,00129, 0,106, 0,128, 3,34 kg/ha.ano para cádmio, cobre, chumbo e zinco respectivamente, nas diversas fontes difusas. A ocorrência de metais seguiu a tendência Zn>Pb>Cu>>Cd nos materiais estudados, o que está de acordo com a abundância das espécies na natureza, assim como seu emprego em toda uma série de processos e produtos.

Menezes e Rosso (2007) avaliaram a qualidade da água pluvial, correlacionando aos poluentes originados pelo tráfego de veículos automotores, para o caso do Túnel Rebouças, localizada na bacia contribuinte da Lagoa Rodrigo de Freitas, no município do Rio de Janeiro, RJ. A pesquisa investigou os seguintes parâmetros: sólidos totais, sólidos suspensos totais, condutividade, pH, alcalinidade total, óleos e graxas, DQO, nitrogênio amoniacal, fósforo total, BTEX, cromo, cádmio, cobre, chumbo, zinco, níquel, ferro e manganês, a partir de dados coletados durante cinco campanhas de amostragem, com intervalo em média de 15 dias. Dois tipos de amostras foram obtidos: o primeiro tipo de amostra foi obtido através da lavagem de uma superfície de um metro quadrado, demarcado com um quadro metálico dentro do túnel, com 10 litros de água que, posteriormente, foi recolhida com o auxílio de um rodo e uma pá. Este volume de dez litros de água usados na lavagem do piso da via, equivale a um evento de precipitação cujo índice pluviométrico é igual a 10 mm de altura de coluna líquida. O segundo tipo de amostra foi obtido através de frascos plásticos de 20 litros colocados dentro de bueiros coletores de águas pluviais, localizados nas extremidades do túnel, para que enchessem quando ocorressem chuvas.. O valor da DQO de 66 mg/L para as águas de lavagem de piso, revelou-se um valor excessivo como também foi alto o valor encontrado para as águas pluviais que foi de 270 mg/L, indicando necessidade de alguma intervenção para a redução da carga orgânica.

Os autores concluíram que a concentração de nitrogênio e de fósforo não está ligada diretamente ao desgaste pela rodagem dos veículos na via e sim a outras origens como por exemplo as emissões para atmosfera dos próprios veículos, as deposições trazidas pelas precipitações de chuvas, entre outras.

### **3.6 Quantificação dos poluentes encontrados agregados aos sedimentos**

Parte importante dos constituintes utilizados como indicadores de poluição são transportados para os rios, agregados aos sedimentos. Enquanto os sedimentos estão suspensos o seu efeito é maior sobre o corpo do sistema hídrico, agindo durante sua ocorrência. Como as inundações urbanas são de duração curta e a carga maior ocorre no início, é de se esperar que grande parte dos sedimentos e da carga se acumule no fundo dos lagos, alterando mais a biodiversidade próxima ao fundo ou quando este material é levado em suspensão pelo efeito de erosão dos depósitos gerados (TUCCI, 2007).

Por conta disto é importante o conhecimento da quantidade de poluentes ligada aos diversos tamanhos dos sedimentos, para que o projeto de estruturas de tratamento possa remover a maioria dos tamanhos dos sedimentos poluídos.

Os sedimentos que atingem a macrodrenagem se depositam devido a redução de declividade e da capacidade de transporte. Os sedimentos depositados reduzem a capacidade de escoamento de cheias dos canais da macrodrenagem e as inundações se tornam mais freqüentes. Com os sedimentos e os nutrientes da poluição ocorre crescimento de vegetação, obstruindo ainda mais os rios, condutos e canais.

As principais conseqüências ambientais da produção de sedimentos são: erosão das superfícies gerando fortes áreas degradadas; assoreamento das seções da drenagem e transporte de nutrientes agregados ao sedimento.

A associação de poluentes tóxicos com materiais finos produz redução da qualidade da água. Da mesma forma os depósitos de sedimentos associados com esgotos sanitários devido a interligação de esgoto nos sistemas pluviais são fontes de degradação da rede de escoamento. Esses depósitos geram a demanda de oxigênio. Os impactos do transporte do escoamento pluvial estão relacionados com a acumulação de nutrientes, metais, hidrocarbonetos e bactérias nos sedimentos.

Em determinados casos, os óleos e gorduras, os nutrientes (nitrogênio e fósforo) e as substâncias degradáveis química ou biologicamente podem assumir, no contexto da poluição global veiculada pela água do escoamento pluvial, uma importância relevante.

Sartor e Boyd (1972 *apud* DELETIC E ORR, 2005) realizaram um estudo de caracterização de sedimentos em superfície de estrada em 12 cidades nos Estados Unidos. Os autores usaram aspiradores para coletarem, e encontraram variações de carga entre 14,3 e 51,8 g/m<sup>2</sup> para fósforo total e de 2,95 e 8,43 g/m<sup>2</sup> para nitrogênio total (o valor mais baixo foi encontrado em áreas comerciais, enquanto os mais altos foram para áreas industriais). Eles constataram que o PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> total está mais associado com as partículas de menor tamanho, enquanto o NO<sub>3</sub><sup>-</sup> está eventualmente mais distribuído entre as diferentes frações de tamanho.

De acordo com Vieira *et al.* (2002), uma fração significativa dos metais pesados pode apresentar-se sob a forma particulada, associada aos sedimentos, sendo as respectivas concentrações mais altas nas partículas de menor diâmetro médio. Resultados experimentais apontam para o fato de uma fração significativa dos sólidos em suspensão e poluentes associados poderem ser removidos da fase líquida por sedimentação.

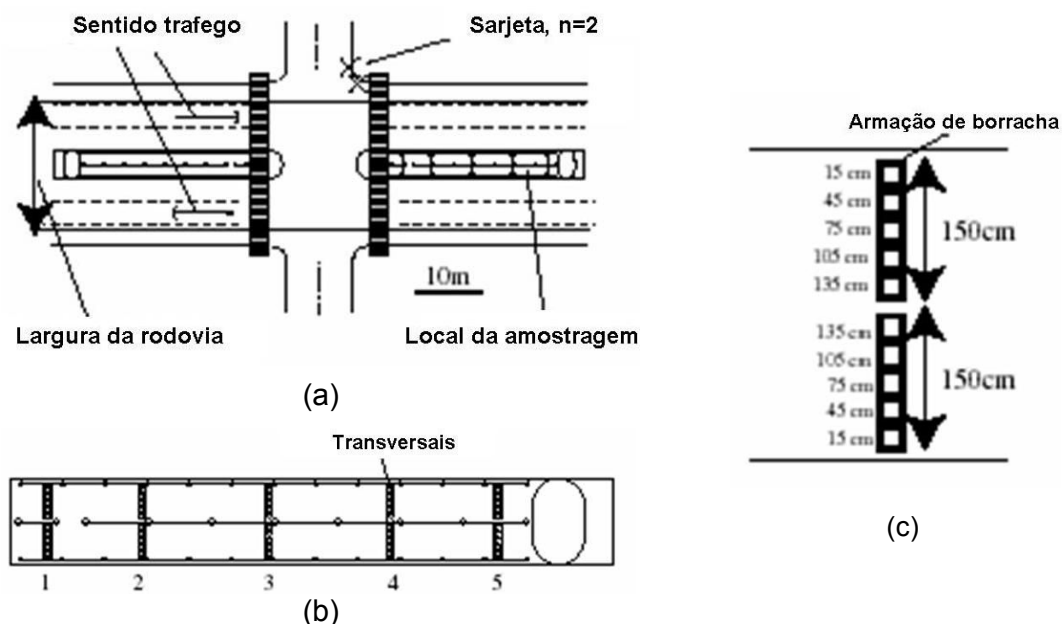
Ellis e Revitt (1982) analisaram as concentrações de metais pesados (Pb, Cd Mn, Fe, Zn e Cu) em amostras de sedimento em 6 locais com características diferentes, este estudo foi realizado na bacia hidrográfica Silk Stream em N.W, Londres – Inglaterra. Os autores analisaram as concentrações de metais pesados nas granulometrias maiores e menores que 250µm, como mostra a tabela 3.1. Na maioria dos metais as maiores concentrações foram obtidas na granulometria menor que 250µm. As amostras de sedimentos da auto-estrada (01a, 01b e 01c) obtiveram maiores concentrações de metais pesados, isto se deve a maior densidade de tráfego, máximo de 4000 veículos por hora, a superfície desta estrada era de concreto. As amostras 02 também obtiveram altas concentrações de metais porém, menores que as primeiras, isto se deve a estrada possuir uma menor densidade tráfego, máximo de 1750 veículos por hora, a superfície desta estrada era de asfalto.

Tabela 3. 1 – Concentrações de metais pesados. (Adaptado de Ellis e Revitt, 1982).

Local	Granulometria ( $\mu\text{m}$ )	Pb ( $\mu\text{g/g}$ )	Cd ( $\mu\text{g/g}$ )	Mn ( $\mu\text{g/g}$ )	Zn ( $\mu\text{g/g}$ )	Cu ( $\mu\text{g/g}$ )	Fe ( $\mu\text{g/g}$ )
01a	>250	1690	3.8	866	1542	161	
Auto-estrada	<250	2100	6.0	844	1876	410	
01b	>250	895	3.8	1240	1760	121	
Auto-estrada	<250	1604	6.8	844	2020	640	
01c	>250	1104	4.2	718	1010	185	22850
Auto-estrada	<250	2296	6.3	766	1212	386	22700
02	>250	723	1.7	694	245	110	14400
Watford way (A41)	<250	1826	5.3	792	695	280	15130
03	>250	261	3.6	792	1715	35.1	8780
Sunnyside gardens	<250	978	6.0	816	2133	90.7	15280
04	>250	40.0	0.72	728	91.6	27.2	4195
Country lane	<250	111	1.3	855	119	42.6	6780

Egodawata e Goonetilleke (2006) realizaram um estudo de caracterização dos poluentes acumulados na superfície de três estradas na Austrália. As ruas eram predominantemente de ocupação residencial. Análise dos parâmetros da qualidade revelou que uma grande fração de poluentes está associada com a fração de partículas mais finas. Além disso, um montante relativamente elevado de carbono orgânico dissolvido foi detectada nas amostras. Carbono orgânico dissolvido aumenta a solubilidade de outros poluentes tais como metais pesados e hidrocarbonetos, assim, aumentando a sua biodisponibilidade.

Adachi e Tainosho (2005) compararam a distribuição de partículas, composição química e tipo de partículas dos sedimentos do meio da estrada e de sarjeta na cidade de Kobe, Japão, durante março de 2003. Foram coletadas 50 amostras de sedimento do meio da estrada e também duas amostras na sarjeta. A figura 3.3 apresenta a área de amostragem do estudo onde foram estabelecidas 5 transversais no meio da estrada, com 10 locais de amostragens fixos em cada transversal. Em cada local de amostragem, foi posicionada uma armação de borracha (30x30cm com uma área aberta de 20x20cm no centro). A área aberta da armação ( $0.04\text{mm}^2$ ) foi varrida usando uma escova e uma pá, e então foi utilizado o aspirador de pó para coletar a carga total (VAZE E CHIEW, 2002). Duas amostras de sarjeta foram coletadas pelo mesmo método sem usar armação de amostragem. A sarjeta estava seca quando as amostras foram coletadas.



Os autores avaliaram as concentrações médias dos elementos Al, Si, K, Ti, Mn, Fe, Cu, Zn e Pb para cada tamanho de partícula como mostra a figura 3.4. Os padrões de distribuição entre as amostras do meio da estrada e amostras de sarjeta foram semelhantes para Al, Si, K, Cu, Zn e Pb. Para Mn, Ti e Fe, as concentrações para frações  $<200\mu\text{m}$  das amostras do meio da estrada foram mais elevadas do que aquelas das amostras de sarjeta. As amostras do meio da estrada exibiram Ti máximo nas frações de 60-100 $\mu\text{m}$ . Mn, Fe, Cu e Pb apresentaram concentrações mais altas nas frações menores ( $<50\mu\text{m}$ ) e enquanto Zn apresentou concentrações mais elevadas nas frações de 50-60 $\mu\text{m}$ .



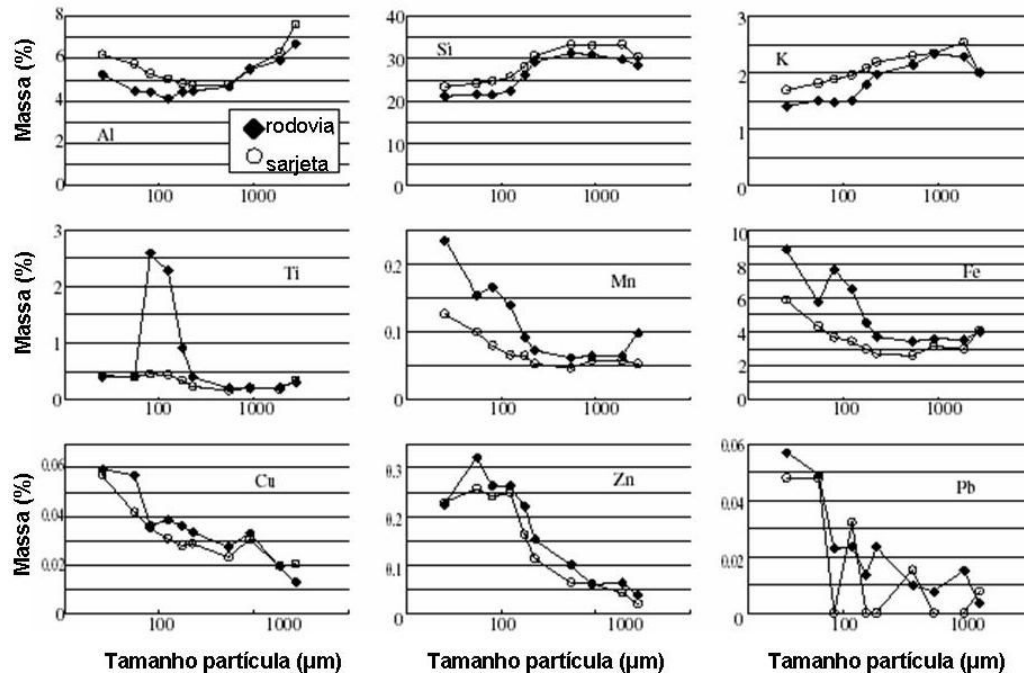


Figura 3. 4 – Concentrações dos elementos nas diferentes faixas granulométricas dos sedimentos na rodovia e nas sarjetas.

Deletic e Orr (2005) caracterizaram os poluentes encontrados no pavimento urbano como fonte de poluição urbana, através do “método úmido”, lavando e aspirando simultaneamente o material acumulado na superfície. Os autores analisaram carga de sedimentos, distribuição granulométrica das partículas, concentração de metais pesados em 4 frações de sedimentos, e nutrientes na água de lavagem da superfície da estrada, em 66 amostras durante 17 meses em uma rodovia localizada na cidade de Aberdeen, Escócia. Foram amostrados sedimentos em 4 diferentes posições da rodovia, a 4,45 (A), 2,85 (B), 0,75 (C) e 0,25m de distância do meio fio (D) e acima da calçada (E). A tabela 3.2 mostra as concentrações de metais encontradas nas amostras de sedimento das posições C e D em quatro tamanhos de partículas. As concentrações de metais pesados foram maiores na fração de tamanho de partículas menores do que 63µm.

Tabela 3. 2 – Concentrações de metais nas posições C e D para as quatro faixas granulométricas (Adaptado de Deletic e Orr, 2005).

Metais	Posição das amostras	Concentração de metais (mg/g) e $\mu\text{g/g}$			
		2-63 $\mu\text{m}$	63-250 $\mu\text{m}$	250-500 $\mu\text{m}$	>500 $\mu\text{m}$
		Variação	Variação	Variação	Variação
Zn	C	0.51-1.55	0.15-0.63	0.04-0.72	0.00-0.24
	D	0.67-1.75	0.17-0.86	0.07-0.51	0.01-0.35
Cu	C	0.24-0.77	0.07-0.70	0.00-0.67	0.04-0.08
	D	0.21-0.89	0.06-0.52	0.01-0.34	0.03-0.07
Pb	C	0.26-1.59	0.08-0.40	0.03-0.29	0.00-0.07
	D	0.82-3.95	0.16-0.71	0.08-0.89	0.00-0.21
Cd*	C	0.13-3.75	0.07-2.77	0.00-2.67	0.01-0.39
	D	0.40-4.56	0.18-2.29	0.00-0.49	0.03-0.38

A tabela 3.3 mostra as concentrações de poluentes dissolvidos encontrados nas amostras coletadas nas posições C e D. Os autores verificaram a carga de metais pesados obtendo uma carga média para Zn, Cu, Pb e Cd de 49.7, 34.3, 47.6 e 75.1 mg/m<sup>2</sup>, para a posição D; 24.8, 16.8, 14.4 e 36.4 mg/m<sup>2</sup> e para a posição C. A posição D obteve as maiores cargas de poluentes dissolvidos e de metais pesados, também foi à posição que apresentou maior carga de sedimentos, máximo de 834 g/m<sup>2</sup> e mínimo de 77,1 g/m<sup>2</sup>, em relação à posição C que apresentou máximo de 321 g/m<sup>2</sup> e mínimo de 18,3 g/m<sup>2</sup>.

Tabela 3. 3 – Carga de poluentes dissolvidos (Adaptado de Deletic e Orr, 2005)

Posição da amostra	Variação	Poluentes dissolvidos (mg/m <sup>2</sup> )							
		Cl	SO <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	F	TOC	TC
		C	Mínimo	1.7	0.43	0.00	0.00	0.000	0.000
0,75m do meio fio	Máximo	3994.8	414.62	2.58	1885	0.758	0.515	124.09	130.18
	Média	489.2	48.52	0.83	5.19	0.083	0.029	38.81	59.97
D	Mínimo	0.4	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	13.23	31.78
	Máximo	21052.5	892.67	6.97	442.97	3.075	1.440	845.22	1168.3
0,25m do meio fio	Média	1791.9	117.56	1.33	45.52	0.419	0.125	96.23	148.38

Vaze e Chiew (2002) desenvolveram um estudo apresentando resultados de uma pesquisa de campo realizada para avaliar a acumulação de poluentes em uma rodovia urbana, em Melbourne, na Austrália. A pesquisa investigou a suscetibilidade e a variabilidade da carga de poluentes em uma rodovia urbana, a partir de amostras coletadas durante um período de 36 dias.

As amostras de sedimento seco foram coletadas ao longo de 300 m da superfície de uma rua asfaltada com um tráfego médio de 3.000 veículos por dia. A fim de se obter uma amostra representativa, a área foi dividida em três zonas, e aproximadamente no mesmo horário, uma área de 0,5 m<sup>2</sup> era escolhida em cada uma delas, para a coleta dos sedimentos através de um aspirador de pó modificado. Dois tipos de cargas de poluentes foram coletadas. Primeiro, a superfície da rodovia foi aspirada sem nenhum processo de escovação e a carga coletada foi definida como carga livre. Em seguida, a mesma superfície foi levemente escovada utilizando-se uma escova de fibra para que os poluentes finos agregados à superfície fossem soltos. Este material foi coletado e definido como carga fixa.

As amostras foram secas em estufa a 100°C por 24 horas para remover toda a umidade. Cada amostra foi pesada imediatamente após a saída da estufa. Depois de todas as amostras diárias serem pesadas, as amostras de carga livre foram misturadas a fim de se obter uma amostra representativa do local. O mesmo processo foi realizado com as cargas fixas. As correlações entre as cargas coletadas das superfícies mostraram-se relativamente baixas indicando uma grande variação espacial da carga de superfície. Os autores encontraram valores para a carga de sedimento que variaram de 10 a 60 g/m<sup>2</sup>.

Os efeitos da chuva e do processo de limpeza da rua nas cargas de poluentes foram analisados, mostrando que a carga total de poluentes na superfície geralmente aumenta ao longo dos dias secos. Parte desta carga acumulada é carregada durante os eventos chuvosos. Os resultados sugeriram que eventos típicos não removeram toda a carga de poluentes. Segundo Chiew *et al.* (1997 *apud* Vaze e Chiew, 2002), um estudo mostrou que os eventos típicos de precipitação removem apenas uma pequena porção do total de poluentes sobre as superfícies e que a carga de poluentes presente na superfície é sempre maior do que àquela que poderia ser carregada por um evento de precipitação. Desta forma, o carregamento dos poluentes depende principalmente das características da precipitação e do escoamento.

Os autores apresentaram também o efeito da chuva na distribuição granulométrica dos poluentes. As análises indicaram que quase toda carga livre é mais fina que  $3.000\mu\text{m}$  e que a carga fixa é muito mais fina que a carga livre. Quase toda a carga fixa é mais fina que  $1.000\mu\text{m}$ . Os eventos típicos de precipitação reduzem a carga livre e aumentam sua granulometria. As precipitações também aumentam a quantidade e a proporção de material fino na carga fixa, devido ao fato de que a chuva dissolve as partículas mais finas da carga livre, algumas das quais são carregadas pelo escoamento e as remanescentes são agregadas à superfície em forma de carga fixa. Além disso, os nutrientes são agregados aos sedimentos mais finos, portanto para reduzir efetivamente as cargas de nutrientes nas partículas, os tratamentos devem ser capazes de remover as partículas mais finas e não somente o sedimento total ou a carga de sólidos suspensos.

Dotto (2007) utilizou a metodologia de Vaze e Chiew (2002) para caracterizar os sedimentos encontrados nas sarjetas de duas ruas asfaltadas, Rigoberto Duarte e Marquês do Herval, na cidade de Santa Maria, RS e também para investigar a carga de sedimentos em suspensão, proveniente do escoamento superficial na rua Marquês do Herval, no período de 31 de março a 19 de dezembro de 2005. As cargas de sedimentos variaram de 4 a  $350\text{ g/m}^2$  na rua Marquês do Herval e de 10 a  $240\text{ g/m}^2$  na rua Rigoberto Duarte, ambas as ruas apresentaram em média aproximadamente  $60\text{ g/m}^2$ . Os valores encontrados para a concentração de sedimento em suspensão variaram de 8,0 a 6000 mg/L e valor médio de 537,05 mg/L.

Gomes (2008) realizou estudo semelhante na rua Marquês do Herval, no período de novembro de 2006 a outubro de 2007. A carga total de sedimento variou de 13 a  $332\text{ g/m}^2$  e valor médio de  $77\text{ g/m}^2$ . Os valores encontrados para a concentração de sedimento em suspensão variaram de 3,5 a 6250 mg/L e valor médio de 476 mg/L. Estas variações de carga de sedimento em uma mesma rua comprovam que a distribuição de sedimentos ao longo da sarjeta não é uniforme.

Ainda com referência ao trabalhado desenvolvido por Vaze *et al.* (2002), a acumulação de poluentes ao longo de dias secos ocorre relativamente rápido após um evento de chuva, mas torna-se lento depois de alguns dias.

Vaze e Chiew (2002; 2004) determinaram a carga de nutrientes associada com diferentes tamanhos de partículas dos poluentes superficiais secos e de amostras coletadas do escoamento superficial de uma rodovia urbana. Concluíram que a totalidade do nitrogênio e do fósforo particulado em amostras do escoamento superficial está unida a sedimentos de tamanhos entre 11 e 150 $\mu$ m, portanto, para remover fósforo e nitrogênio o tratamento deve remover partículas nesta faixa granulométrica. As concentrações de nitrogênio, encontradas nas amostras provenientes do escoamento superficial, apresentaram valores entre 0,1 e 4,0 mg/L enquanto as concentrações de fósforo apresentaram valores entre 1,0 e 20,3 mg/L.

Poleto e Merten (2007) relacionaram os poluentes encontrados nos sedimentos de rua e os poluentes encontrados nas amostras de sedimento do rio, em uma sub bacia hidrográfica urbana localizada na cidade de Porto Alegre. As coletas de sedimentos de rua (47 amostras) foram realizadas nas principais fontes difusas do ambiente urbano, representadas por ruas pavimentadas e não pavimentadas, além de áreas com vegetação remanescente em alguns pontos do leito e das margens do rio. Durante estas análises, foram estudados 25 amostras de sedimentos fluviais em suspensão. Os autores selecionaram os metais pesados zinco, chumbo e cobre que são os elementos de maiores concentrações encontrados em áreas urbanas.

Os três metais apresentaram as maiores concentrações, nas ruas pavimentadas, 377,64, 79,66 e 98,81  $\mu$ g/g para zinco, chumbo e cobre, enquanto as concentrações desses metais no arroio foram de 201,73, 49,78 e 57,79  $\mu$ g/g, respectivamente. Os autores constataram que as concentrações desses elementos variam temporalmente durante o evento de chuva devido ao carreamento de sedimentos depositados nas ruas com altas concentrações de metais pesados, estas concentrações estão relacionadas com o tráfego de veículos e atividades antropogênicas.

## 4 DESCRIÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

### 4.1 Localização da área de estudo

A região de estudo encontra-se inserida na bacia hidrográfica do Cancela, situada entre as coordenadas geográficas 53°48'44" e 53°47'12" de longitude oeste e 29°43'02" e 29°41'31" de latitude sul, conforme figura 4.1. A área em questão situa-se na região centro-sul do município de Santa Maria-RS. A Figura 4.1 mostra em destaque as ruas em que foram realizadas as coletas de sedimentos.

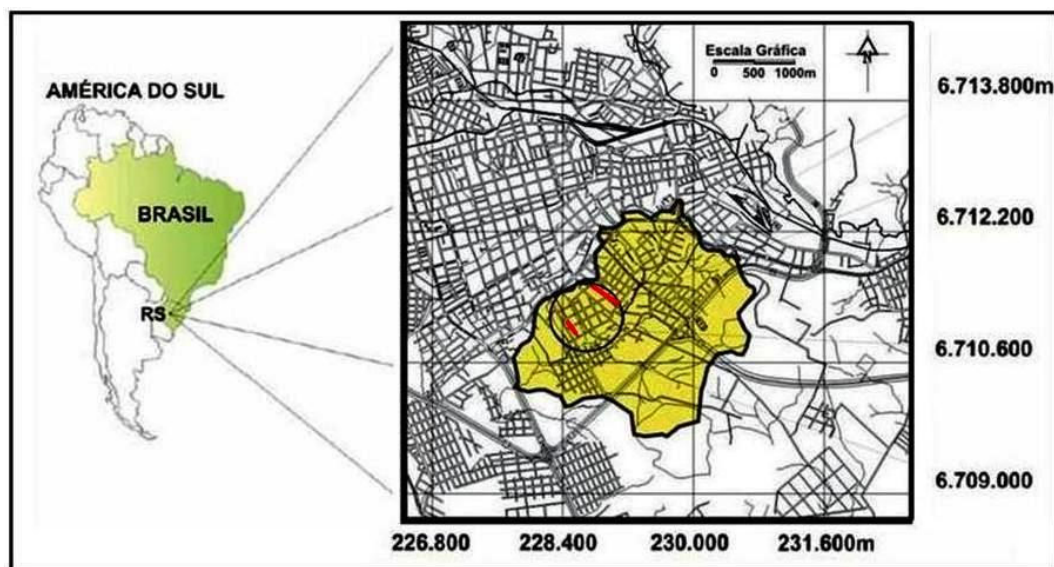


Figura 4. 1 – Localização da Bacia hidrografia Cancela.

### 4.2 Uso e ocupação do solo

A bacia possui uma população de aproximadamente 18.000 habitantes (BRITES & GASTALDINI, 2005), em alguns trechos apresenta sistema de esgotamento das águas pluviais e residuárias do tipo separador parcial, no entanto, a mesma encontra-se num avançado estágio de degradação ambiental, devido ao lançamento de esgoto doméstico. A tabela 4.1 mostra os parâmetros da caracterização física da área da bacia do Cancela.

Tabela 4. 1 – Características físicas da bacia hidrográfica Cancela.

Parâmetro	Bacia Hidrográfica Cancela
Área de Drenagem (A)	4,95 km <sup>2</sup>
Perímetro da Bacia (P)	10,29 km
Comprimento do Rio Principal (Lp)	3,74 km
Coeficiente de compacidade (Kc)	1,29
Fator de Forma (Kf)	0,36
Elevação Máxima	240 m
Elevação Mínima	76 m
Declividade do Rio Principal	0,013 m/m
Declividade Média da Bacia (Im)	0,109 m/m

Fonte: Garcia (2005).

Garcia (2005) determinou o uso e a ocupação do solo da bacia hidrográfica do arroio Cancela, para isto ele utilizou uma imagem do satélite Ikonos devido à necessidade de obter dados precisos da urbanização e a exatidão das porcentagens de áreas impermeáveis.

Para a composição do uso do solo foram determinadas 7 classes, que foram agrupadas em áreas permeáveis (solo exposto; vegetação arbórea; terrenos, jardins, etc.) e impermeáveis (telhados, calçadas, etc., ruas).

A Figura 4.2 mostra o uso do solo para o ano de 2004 com destaque nas ruas em que foram realizadas as coletas de sedimentos.

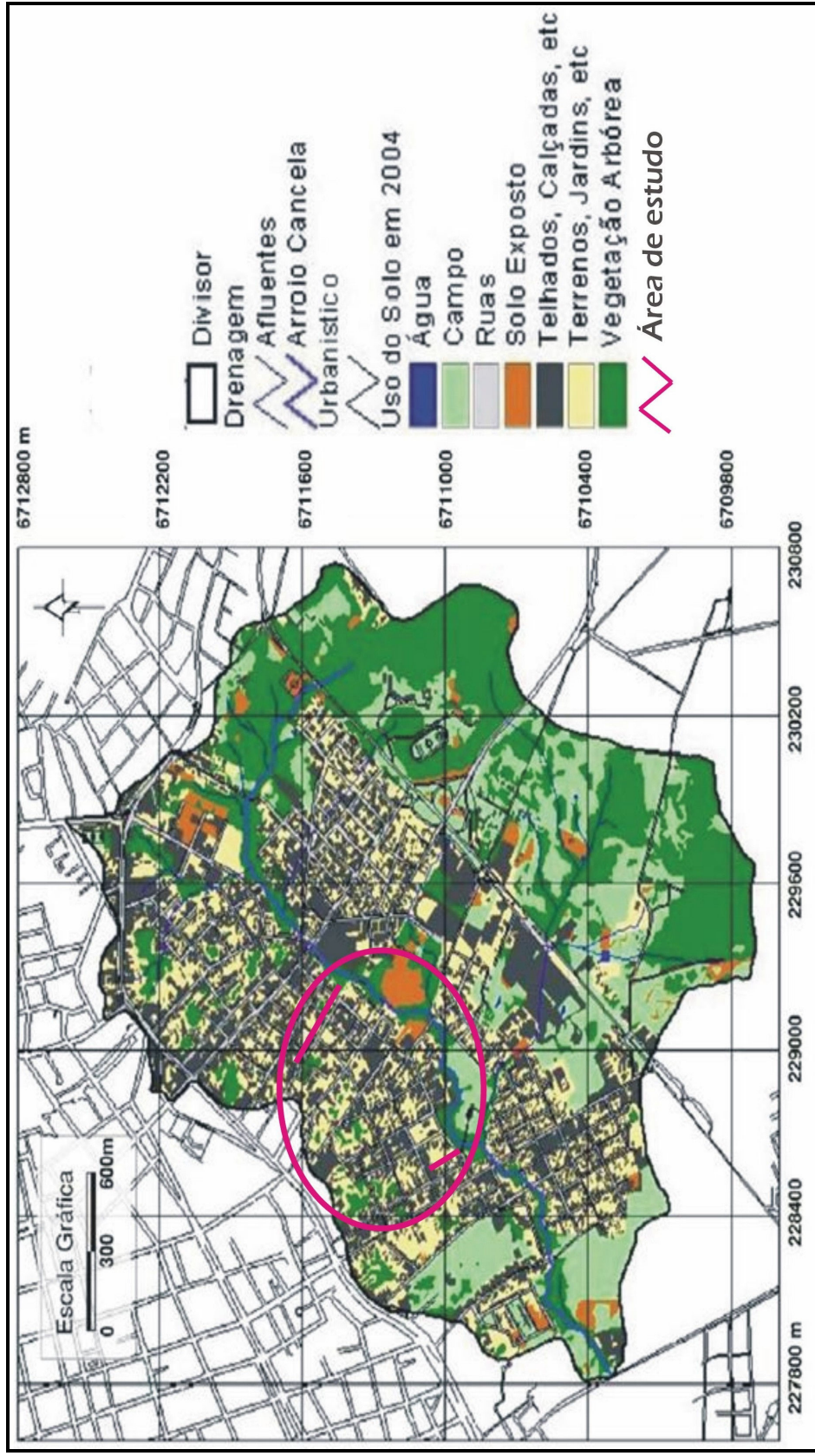


Figura 4. 2 – Uso do solo para o ano de 2004. (Adaptado de Garcia, 2005).



A tabela 4.2 apresenta os valores obtidos em porcentagem para o uso do solo na data de 2004.

Tabela 4. 2 – Dados obtidos para o uso do solo para a data de 2004

Classes do Uso do Solo	Área (ha)	Percentual
Terrenos, Jardins, etc	86,96	18%
Telhados, Calçadas, etc	118,30	24%
Vegetação Arbórea	132,27	27%
Ruas	52,08	11%
Campo	84,63	17%
Solo Exposto	14,70	3%
Água	0,29	<1%
Áreas Urbanizadas	275,65	56%
Áreas Não-Urbanizadas	216,58	44%
Áreas Permeáveis	321,56	65%
Áreas Impermeáveis	170,37	35%

Fonte: Garcia (2005)

Para a realização desta pesquisa foram selecionadas duas ruas localizadas na porção sudoeste da bacia do arroio Cancela, a rua Marquês do Herval e a rua Rigoberto Duarte, que foram monitoradas ao longo da sarjeta.

As ruas em questão possuem pavimento impermeável (asfalto) e coleta semanal de lixo, porém desprovêm de varrição. Dessa forma, os poluentes, que nela se depositam, são carregados pela chuva diretamente para as bocas de lobo seguindo para o arroio Cancela, onde são lançados sem nenhum tratamento prévio.

A região em torno das ruas é predominantemente residencial com presença de alguns estabelecimentos comerciais.

### 4.3 Locais e estações de monitoramento

O monitoramento hidrossedimentológico foi realizado através de uma estação pluviométrica e uma estação fluviométrica, ambas monitoradas pelo grupo GHIDROS, localizados na figura 4.3.

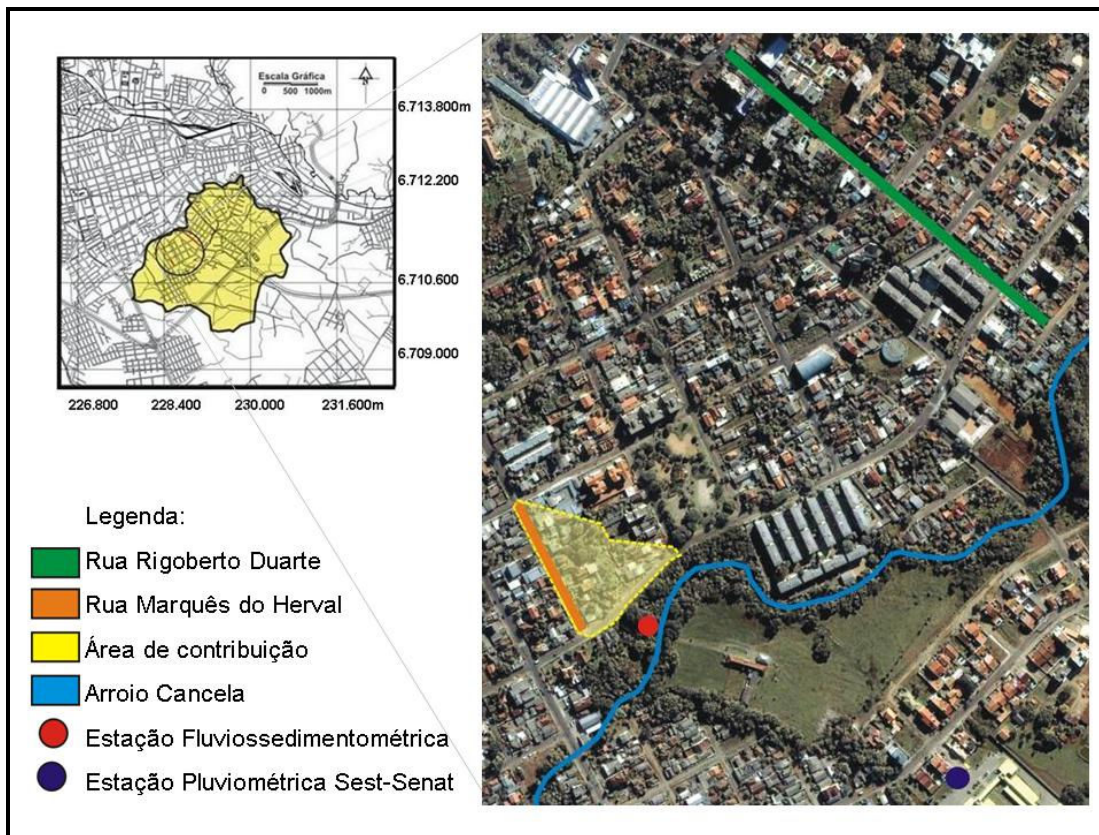


Figura 4.3 – Localização da área de estudo com as estações de monitoramento.

Foram realizadas coletas de sedimento seco na rua Marquês do Herval e monitoramento hidrossedimentológico na saída da canalização coletora das águas pluviais provenientes desta rua. Também foram realizadas coletas de sedimento seco na rua Rigoberto Duarte a fim de obter dados comparativos em relação à acumulação de poluentes nos sedimentos de superfícies impermeáveis.

Os dados pluviométricos foram retirados da estação Sest-Senat, localizada próximo as ruas do estudo. A estação é composta por um pluviômetro eletrônico do tipo Pluvio (OTT), com tempo de um minuto entre cada leitura a partir do início da precipitação, ilustrado na figura 4.4.



Figura 4. 4 – Pluviômetro eletrônico do tipo Pluvio OTT. Fonte: Dotto, 2006.

Os dados do monitoramento fluviográfico foram obtidos da estação Tamandaí, localizada na rua Tamandaí, entre as Ruas Duque de Caxias e Acre. A estação é composta por um registrador de nível digital do tipo Thalimedes (OTT) e uma calha de fundo plano, implantados por Dotto (2006). A área de contribuição da drenagem é de aproximadamente 0,012 Km<sup>2</sup>, determinada por Gomes (2008).

A figura 4.5 apresenta detalhamento e dimensões da calha.

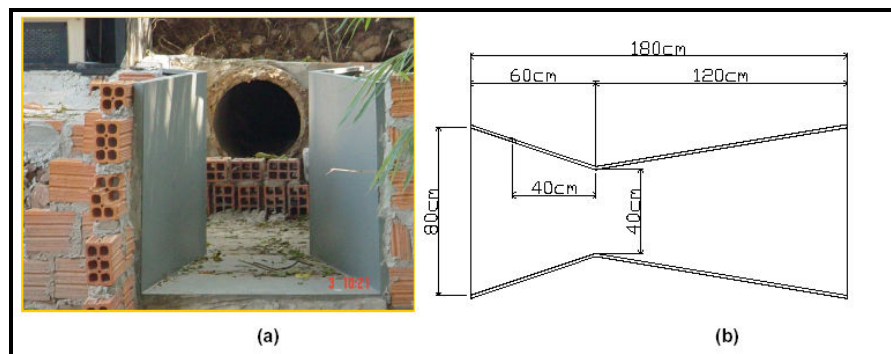


Figura 4. 5 – (a) Calha implantada na estação fluviossedimentométrica e (b) Planta baixa da calha. Fonte: Dotto, 2006.

Esta calha funciona em condição de fluxo livre, a vazão medida pela calha, em função do nível piezométrico medido na seção de entrada é dada por:

$$Q = 0,958 \cdot h_a^{1,65}$$

onde:

Q = vazão (m<sup>3</sup>/s)

$h_a$  = profundidade na entrada da calha, medida na régua de montante do estreitamento (m)

## 5 METODOLOGIA

### 5.1 Amostragem

Foram coletadas diariamente, entre eventos de precipitação, amostras de sedimentos secos nas ruas Marquês do Herval e Rigoberto Duarte, com a finalidade de comparar a acumulação e a poluição encontrada nos sedimentos das duas ruas.

As amostras de sedimento em suspensão foram coletadas durante eventos de precipitação, na saída da canalização coletora das águas pluviais, da área de contribuição em torno da rua Marquês do Herval.

#### 5.1.1 Amostragem dos sedimentos secos

Os sedimentos secos foram coletados ao longo das sarjetas das ruas Marquês do Herval e Rigoberto Duarte durante três períodos, entre eventos de precipitação, através da utilização de um aspirador de pó conforme estudos já realizados (BUTLER *et al.*, 1992; DELETIC *et al.*, 2000; MUTHUKARUPPAN *et al.*, 2002; VAZE E CHIEW, 2002; DOTTO, 2006 e GOMES, 2008). O primeiro período de coleta ocorreu de 23 de julho a 01 de agosto, o segundo, de 22 a 28 de outubro, e o terceiro, de 05 a 13 de novembro de 2007.

As áreas de estudos foram divididas em subáreas e a cada dia, aproximadamente no mesmo horário, às 10:00 horas, as coletas foram realizadas em superfícies de 0,5 m<sup>2</sup> (0,707 m x 0,707 m) escolhidas por sorteio. Uma vez que a coleta ocorria em uma destas superfícies, ela só era aspirada novamente, se sorteada, após um evento de precipitação. A superfície a ser amostrada foi delimitada e isolada através de uma moldura de madeira.

O procedimento de amostragem está ilustrado na figura 5.1. Primeiramente a superfície era escovada com uma escova de cerdas de nylon e a seguir aspirada com um aspirador para carro de 140W.

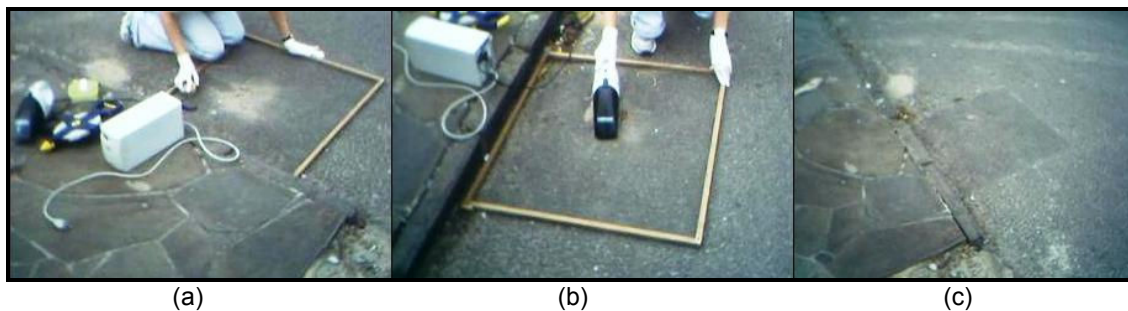


Figura 5. 1- A área de amostragem isolada por uma moldura de madeira sendo (a) escovada, (b) aspirada e após (c) a área depois do procedimento.

As coletas na rua Marquês do Herval foram realizadas na primeira quadra da rua, com 163,26 m de comprimento e 0,0531 m/m de declividade média. Com o objetivo de se obter uma amostra representativa, a quadra foi dividida em três zonas, no sentido transversal, sendo sorteadas e coletadas amostras nas três zonas. A figura 5.2 ilustra as três zonas.

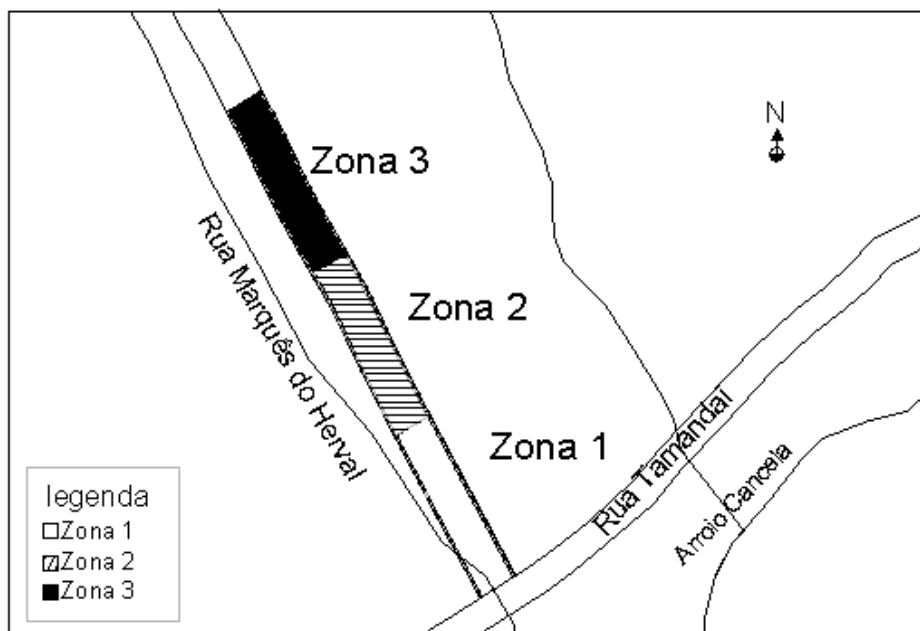


Figura 5. 2 – Desenho esquemático das três zonas de amostragem da rua Marquês do Herval. Fonte: adaptado de Dotto, 2006.

As coletas na rua Rigoberto Duarte foram realizadas ao longo de suas quatro quadras. A primeira quadra possui 62,2 m de comprimento e 0,0767 m/m de declividade média, a segunda quadra possui 79,46 m de comprimento e 0,0960 m/m de declividade média, a terceira possui 68,93 m de comprimento e 0,1204 m/m de declividade média e a quadra final possui 222,49 m de comprimento e 0,1011 m/m de declividade média. A figura 5.3 mostra a disposição das quatro quadras.

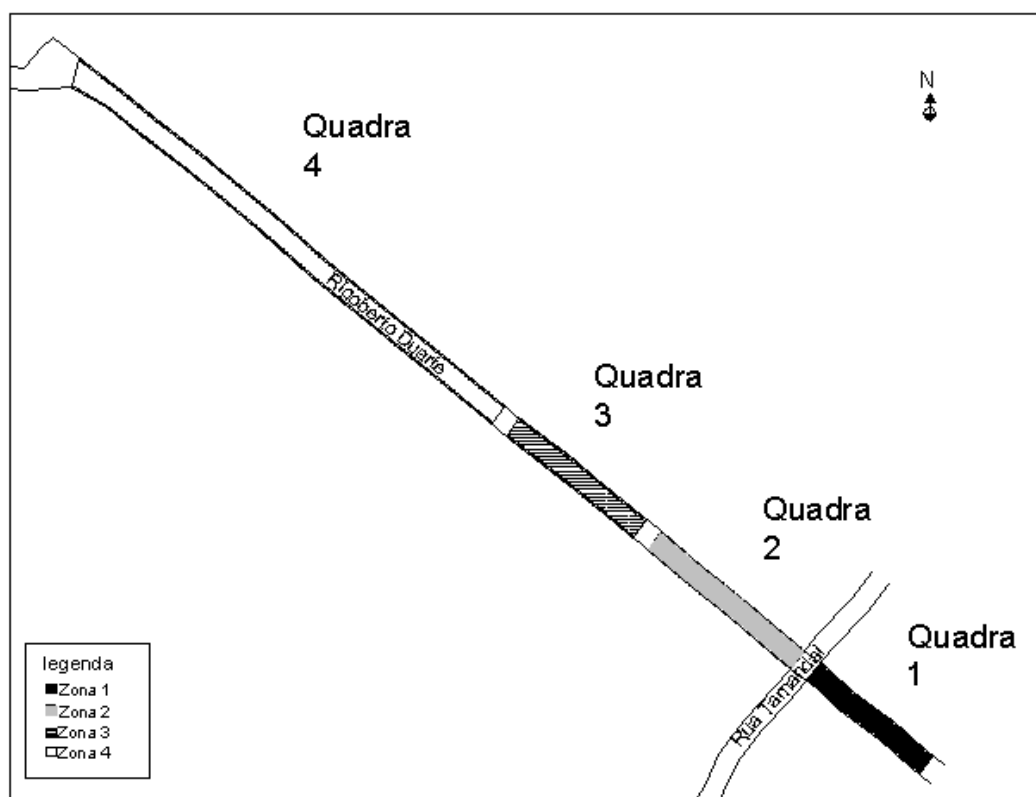


Figura 5. 3 – Desenho esquemático das quatro quadras de amostragem da rua Rigoberto Duarte.  
Fonte: adaptado de Dotto, 2006.

### 5.1.2 Amostragem dos sedimentos em suspensão

Foram realizadas coletas de amostras de sedimento em suspensão durante três eventos de chuva, sendo eles nos dias 02 de agosto, 29 de outubro e 13/14 de novembro de 2007. As coletas foram realizadas com a utilização de um amostrador de água automático modelo ISCO FR7600, que foi instalado junto à calha a fim de coletar a mistura água e sedimento na saída da canalização, conforme a figura 5.4.

O equipamento é composto por 24 garrafas plásticas com capacidade de 1000 mL, que ficam acondicionadas no interior do mesmo e é composto de 3 partes bem definidas: o painel de controle, a bomba de sucção e o refrigerador. Nesta pesquisa, o sistema de refrigeração não foi utilizado visto que as amostras foram retiradas imediatamente após os eventos chuvosos sem necessidade de estocagem por um período de tempo maior.

O amostrador possui, no seu interior, um braço mecânico acoplado à mangueira que distribui o líquido succionado para dentro das garrafas de amostragem conforme a programação.

O funcionamento do amostrador é simples: um conduto com uma ponteira apropriada é colocado no ponto de coleta e é conectado à bomba de sucção do amostrador. Esta bomba é programada em intervalos predefinidos e a sucção é feita com a quantidade de água estabelecida na programação e distribuída no número de garrafas desejado com o auxílio do braço mecânico dentro do refrigerador. Após o término da amostragem, as garrafas foram retiradas e encaminhadas para o laboratório para as análises posteriores.

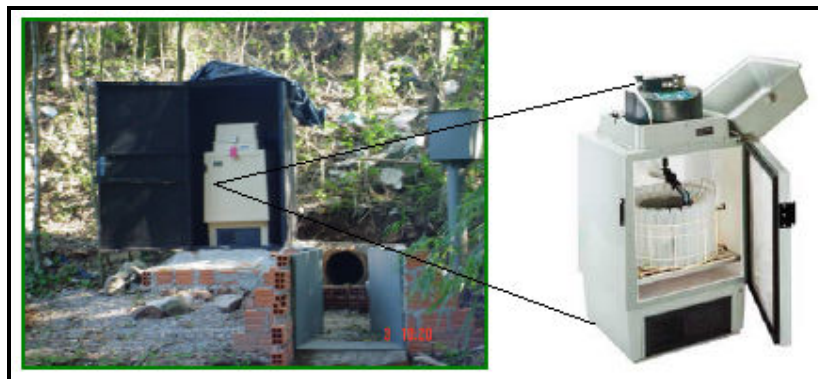


Figura 5. 4 – Amostrador ISCO modelo FR7600 instalado na estação hidrossedimentométrica. Fonte: Dotto, 2006.



## 5.2 Preparo das amostras

Os preparos das amostras de sedimentos secos e de sedimentos em suspensão foram análogos a metodologia proposta por Vaze e Chiew (2004).

### 5.2.1 Preparo das amostras de sedimentos secos

Após as coletas as amostras foram levadas para o laboratório para serem preparadas. Primeiramente as amostras foram pesadas e em seguida foram retirados e pesados o material orgânico e o lixo contido na amostra. Após essa retirada as amostras foram peneiradas nas peneiras de malha 500 $\mu$ m, 250 $\mu$ m e 63 $\mu$ m. O material retido nestas peneiras mais o material passante na peneira 63 $\mu$ m foram pesados e retirados 2 g do material de cada granulometria para a dissolução em 100 mL de água de Milli-Q (extra pura). Posteriormente foi feita uma agitação em cada amostra afim dos poluentes agregados aos sedimentos dissolverem-se, em seguida a amostra foi deixada em repouso por duas horas. Após o descanso retirou-se a parte sobrenadante da amostra e congelou-se em recipientes plásticos previamente descontaminados, conforme metodologia proposta por Vaze e Chiew (2004).

No final do período de coleta do sedimento seco, as amostras foram descongeladas e agrupadas a fim de formar uma amostra representativa e em seguida feita às análises.

### 5.2.2 Preparo das amostras de sedimentos em suspensão

Após a retirada das amostras do amostrador automático, as amostras eram carregadas ao laboratório a fim de fazer o preparo para análise. As amostras coletadas no amostrador foram misturadas com a finalidade de obter uma amostra representativa do evento, logo após retirava-se duas amostras de 1 litro cada. Cada amostra de 1L foi passada na peneira de 1000 $\mu$ m e retirado 100mL, os 900mL restantes foram passados na peneira de 500 $\mu$ m e retirado 100mL, foram repetidos os processos para a peneira de 250 $\mu$ m e 63 $\mu$ m, conforme metodologia proposta por

Vaze e Chiew (2004). Em seguida as amostras foram colocadas em recipientes previamente descontaminados e levadas aos laboratórios para serem analisadas.

### **5.3 Parâmetros físicos e químicos**

Os parâmetros foram determinados para as quatro faixas granulométricas ( $\leq 63\mu\text{m}$ , 63-250 $\mu\text{m}$ , 250-500 $\mu\text{m}$ ,  $>500\mu\text{m}$ ) das amostras de sedimentos secos coletados nas ruas Marquês do Herval e Rigoberto Duarte e também para as quatro faixas granulométricas ( $\leq 63\mu\text{m}$ , 63-250 $\mu\text{m}$ , 250-500 $\mu\text{m}$ ,  $> 500\mu\text{m}$ ) das amostras do escoamento pluvial coletadas na microdrenagem.

Para as amostras de sedimento seco, foi realizada determinação dos seguintes parâmetros: sólidos suspensos totais, turbidez, demanda química de oxigênio, amônia, nitrito, nitrato, fosfato, sulfato, cloreto, fluoreto, cobre, níquel, zinco e chumbo. Para as amostras de sedimento em suspensão foram determinados além dos parâmetros citados, turbidez e sólidos totais e suspensos.

As análises dos metais foram realizadas no Laboratório de Análises Químicas Industriais e Ambientais (LAQIA) do Centro de Ciências Naturais e Exatas da UFSM, as análises de íons e nutrientes foram realizadas no Laboratório de Ecologia Florestal (LABEFLO) do Departamento de Ciências Florestais da UFSM e as análises dos demais parâmetros foram feitas no Laboratório de Saneamento Ambiental (LASAM), do Departamento de Hidráulica e Saneamento do Centro de Tecnologia da UFSM.

A tabela 5.1 apresenta os parâmetros monitorados, unidades, técnicas e locais onde foram analisados.

Tabela 5. 1 – Parâmetros monitorados, unidades, técnicas e locais de análise

Parâmetro	Unidades	Técnica analítica	Local
Sólidos totais	mg/L	Standart Methods	LASAM
Sólidos suspensos	mg/L	Standart Methods	LASAM
Turbidez	NTU	Turbidímetro SL-2k	LASAM
DQO	mg/L	Standart Methods	LASAM
Amônia	mg/L	Standart Methods	LABEFLO
Nitrato	mg/L	Cromatografia iônica	LABEFLO
Fosfato	mg/L	Cromatografia iônica	LABEFLO
Sulfato	mg/L	Cromatografia iônica	LABEFLO
Cloreto	mg/L	Cromatografia iônica	LABEFLO
Fluoreto	mg/L	Cromatografia iônica	LABEFLO
Cobre	µg/L	ICP-MS	LAQIA
Níquel	µg/L	ICP-MS	LAQIA
Zinco	µg/L	ICP-OES	LAQIA
Chumbo	µg/L	ICP-OES	LAQIA

#### 5.4 Estimativa da carga média anual de poluentes

Foi estimada a carga média de poluentes por área e ano das ruas estudadas através da equação (1) proposta por Push et al. (2007).

$$L = Cx10^9 xVx \frac{1}{A} x \frac{1}{T} \quad (1)$$

Onde:

L = carga média de metais (Kg/ha.dia)

C = concentração de poluentes (µg/L)

A = área total amostrada no período (ha)

V = volume total amostrado no período (L)

T = período de tempo total amostrado (dias)

Para as amostras de sedimentos no período seco, foi considerada a área coletada em cada campanha de amostragem, o volume de amostragem já feita à agitação e o tempo de amostragem, em cada campanha, em dias.

Para as amostras de sedimento em suspensão foi considerada a área de contribuição da bacia 1,2 hectares, o volume de água pluvial amostrado e o tempo foi o período de dias sem precipitação. Posteriormente foi calculada a carga média das campanhas e estimada a carga anual

## 5.5 Fluxo de veículos

A acumulação de poluentes nas superfícies impermeáveis depende de vários fatores, um deles é o tráfego de veículos. Foi disponibilizada equipe para fazer a contagem de veículos nas ruas Marquês do Herval e Rigoberto Duarte a fim de obter um parâmetro de diferenciação entre as ruas. A contagem foi feita durante uma semana nos dias 17 a 24 de abril de 2007, das 7h até às 19h. Ambas as ruas possuem sentido duplo de tráfego. Para o cálculo do fluxo de veículos foi utilizado a tabela 5.2 que mostra os fatores médios de equivalência de diversos tipos de veículos em função da classe de via.

Tabela 5. 2 – Fatores médios de equivalência de diversos tipos de veículos em função da classe de via

Tipo de veículo	Vias urbanas
Automóveis	1
Caminhões médios	1,75
Caminhões pesados	2,50
Ônibus	3
Motocicletas	0,75
Bicicletas	0,33

Fonte: Research on Road traffic- Road Research Laboratory Londres (1965 apud FERRARI, 1977)

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Fluxo de veículos

Segundo Ferrari (1991) os horários compreendidos entre às 6h e às 22h, num total de 16 horas, correspondem de 80 a 90% do fluxo diário de veículos em uma rodovia. Maciel (2007) sugere adotar 90% para a cidade de Santa Maria. Como foram computados os valores entre 7h e 19h, considerou-se a faixa não avaliada (19h às 07h do dia seguinte) constante, sem picos, correspondendo a 10% do total do fluxo de veículos.

A tabela 6.1 mostra o fluxo diário das duas ruas analisadas, com as devidas transformações feitas utilizando a tabela de equivalência de veículos postada na tabela 5.2. O maior fluxo em ambas ruas foi de veículos leves, ou seja, carros e motos. Verifica-se, portanto, que a rua Marquês do Herval possui um fluxo médio de 1630 veículos por dia, enquanto a rua Rigoberto Duarte possui um fluxo médio de 2533 veículos por dia. O detalhamento da contagem de veículos é apresentado no apêndice A.

Tabela 6. 1- Fluxo diário de veículos das ruas Marquês do Herval e Rigoberto Duarte

Fluxo diário de veículos			
Ruas	Marquês do Herval	Rigoberto Duarte	
Dias	Total	Total	
Terça-feira	1822,3	2727,3	
Quarta-feira	1741,8	2424,2	
Quinta-feira	1844,5	2285,9	
Sexta-feira	1955,4	2918,4	
Sábado	745,1	1742,3	
Domingo	635,5	1330,1	
Segunda-feira	1627,1	2690,0	
Média	1629,8	2532,8	

## 6.2 Sedimento seco acumulado na sarjeta

### 6.2.1 Análise granulométrica dos sedimentos secos coletados diariamente nas sarjetas

Os sedimentos secos foram coletados ao longo das sarjetas das ruas Marquês do Herval e Rigoberto Duarte durante três períodos, entre eventos de precipitação, através da utilização de um aspirador de pó conforme relatado no item 5.1.1. O primeiro período de coleta ocorreu de 23 de julho a 01 de agosto, o segundo, de 22 a 28 de outubro, e o terceiro, de 05 à 13 de novembro de 2007.

As figuras 6.1 e 6.2 mostram a distribuição granulométrica diárias dos sedimentos secos, para as ruas Marquês do Herval e Rigoberto Duarte no primeiro período de amostragem.

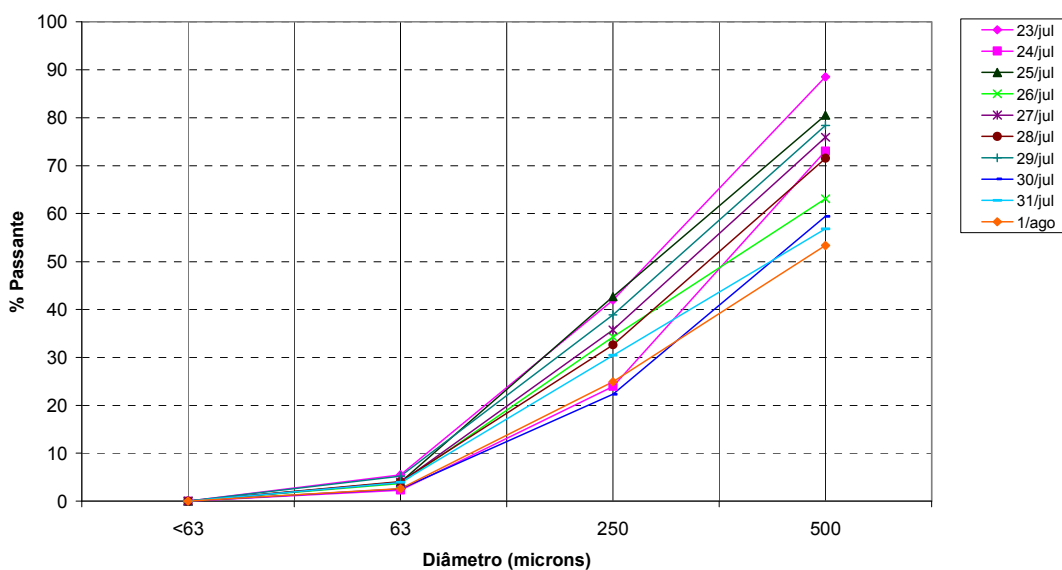


Figura 6. 1 – Distribuição granulométrica da rua Marquês do Herval – período 23 julho a 01 agosto de 2007.

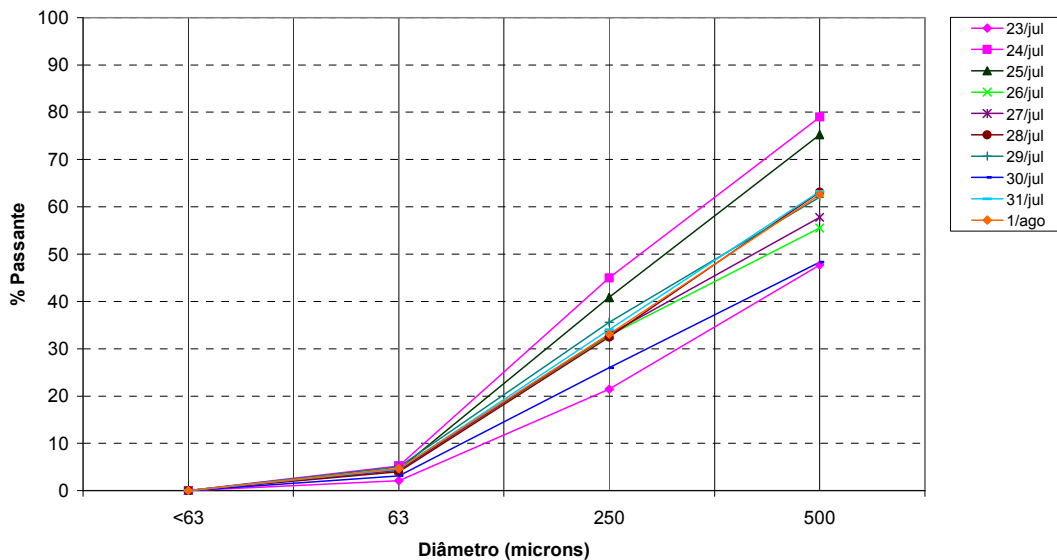


Figura 6. 2 – Distribuição granulométrica da rua Rigoberto Duarte – período 23 julho a 01 agosto de 2007.

As figuras 6.3 e 6.4 mostram as distribuições granulométricas diárias para as ruas Marquês do Herval e Rigoberto Duarte no segundo período de amostragem.

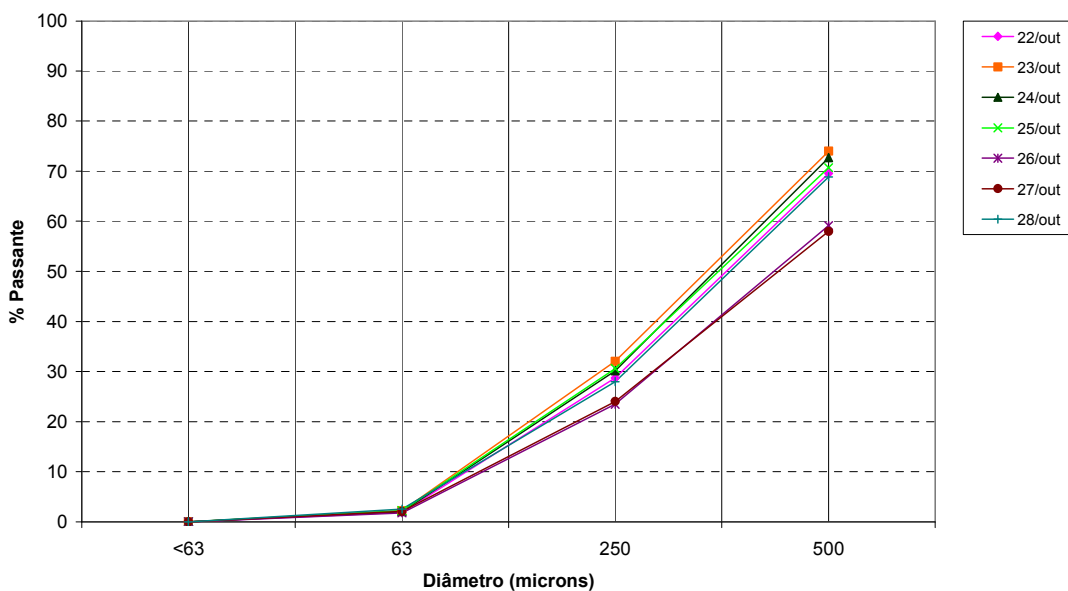


Figura 6. 3 – Distribuição granulométrica da rua Marquês do Herval – período 22 a 28 de outubro de 2007.

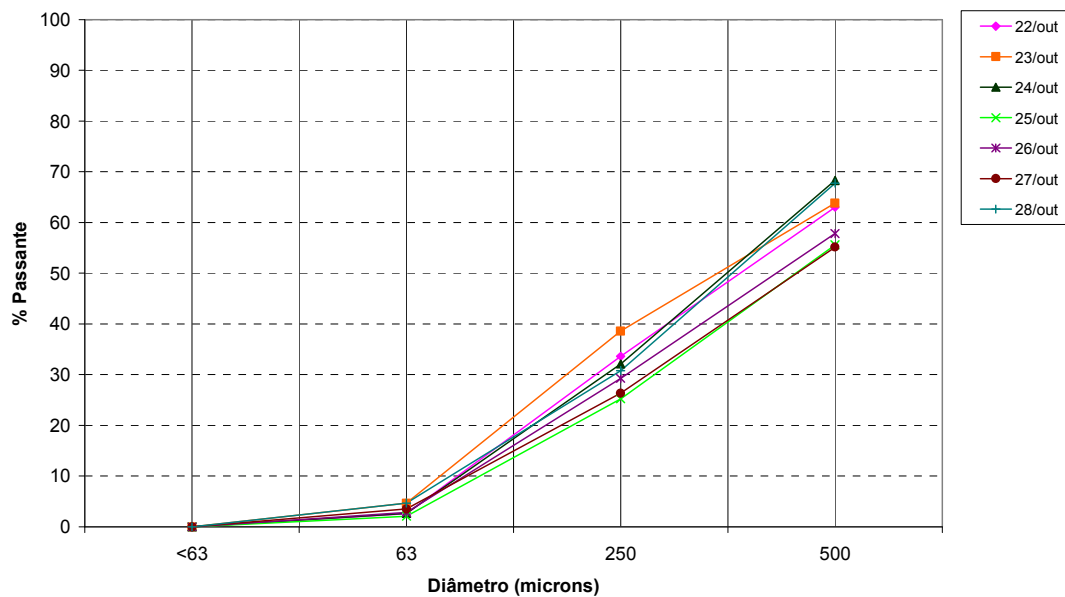


Figura 6. 4 – Distribuição granulométrica da rua Rigoberto Duarte – período 22 a 28 de outubro de 2007.

A figura 6.5 mostra a distribuição granulométrica total para as ruas Marquês do Herval (MH) e Rigoberto Duarte (RD) para as campanhas 1 (C1), 2 (C2) e 3 (C3).

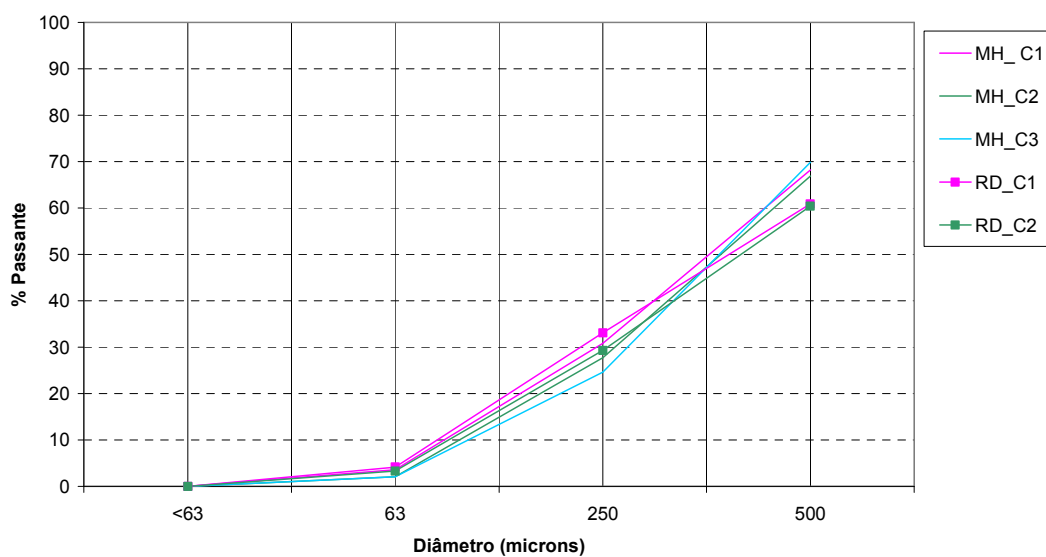


Figura 6. 5 – Distribuição granulométrica total para as ruas Marquês do Herval e Rigoberto Duarte referente as três campanhas de amostragem.



Observa-se, de forma geral, que a partir do final da precipitação, ocorre tendência de aumento na quantidade de material de granulometria mais grossa nos dias subseqüentes; este fato foi observado nas duas ruas estudadas. A rua Marquês do Herval, que possui menor fluxo de veículos e declividade, apresentou maior quantidade de material mais fino do que a Rigoberto Duarte.

#### 6.2.2 Carga de sedimentos secos coletados diariamente nas sarjetas

As figuras 6.6, 6.7 e 6.8 apresentam os gráficos das cargas de sedimentos coletados diariamente nas ruas por metro quadrado durante as três campanhas de amostragem.

Nota-se que, na primeira campanha, a rua Marquês do Herval apresenta maior carga de sedimentos, variando de 46 a 188 g/m<sup>2</sup>, em relação a rua Rigoberto Duarte cuja carga variou de 20 a 83 g/m<sup>2</sup>. Já na segunda campanha, nota-se que em média a diferença de cargas diárias é pequena, ambas as ruas apresentam uma média de aproximadamente 100 g/m<sup>2</sup>, entretanto a variação é maior. As cargas variaram de 66 a 125 g/m<sup>2</sup> na rua Marquês do Herval e de 39 a 229 g/m<sup>2</sup> na rua Rigoberto Duarte. Na terceira campanha a carga variou de 39 a 136 g/m<sup>2</sup>, na rua Marquês do Herval.

A rua Marquês do Herval apresentou uma maior carga de sedimentos do que a rua Rigoberto Duarte, isto pode ser devido a rua Marquês do Herval possuir uma menor inclinação apesar do menor tráfego de veículos, como pode ser visto no item 6.1.

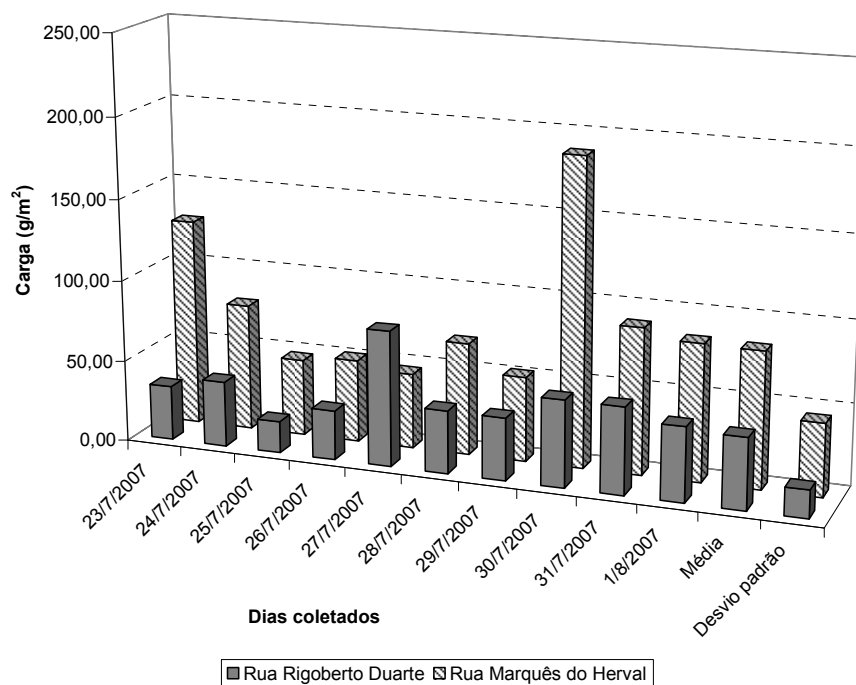


Figura 6. 6 – Carga total diária de sedimentos na superfície coletadas durante a primeira campanha de amostragem.

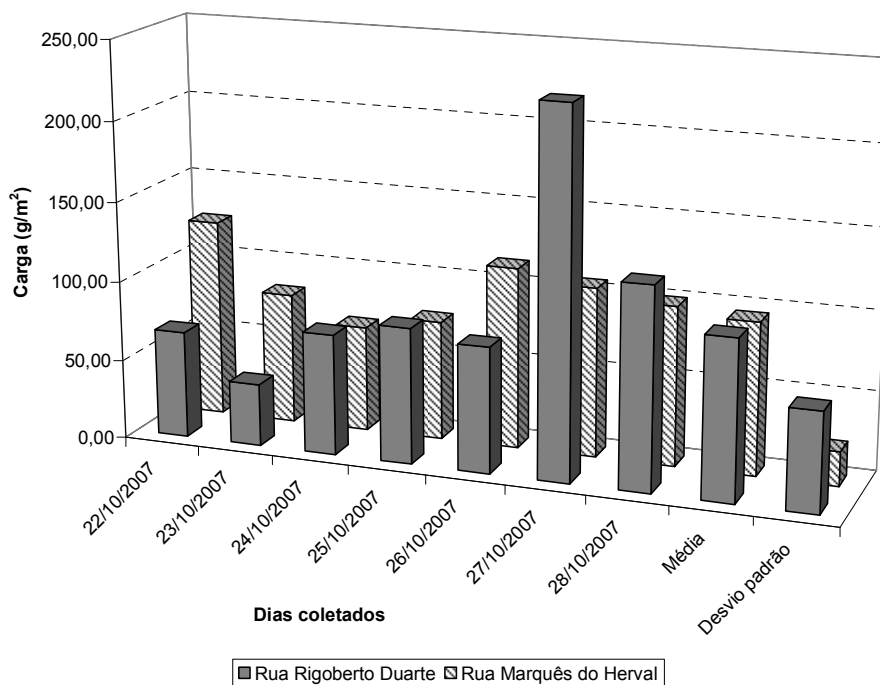


Figura 6. 7 – Carga total diária de sedimentos na superfície coletadas durante a segunda campanha de amostragem.

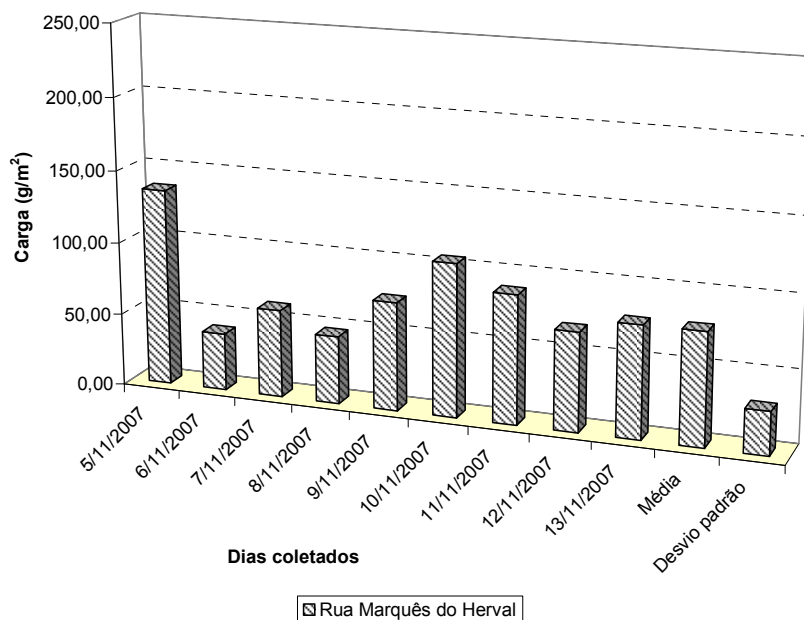


Figura 6. 8 – Carga total diária de sedimentos na superfície coletadas durante a terceira campanha de amostragem.

As cargas de sedimentos totais variaram de 39 a 188 g/m<sup>2</sup> na rua Marquês do Herval, com valor médio de 84,5 g/m<sup>2</sup> e de 20 a 229 g/m<sup>2</sup> na rua Rigoberto Duarte, com valor médio de 66,9 g/m<sup>2</sup>. Dotto (2006), em trabalho realizado na mesma área de estudo, no período de 31 de março a 19 de dezembro de 2005, encontrou para a rua Marquês do Herval variação da carga de sedimento totais de 4 a 350 g/m<sup>2</sup> e para a rua Rigoberto Duarte variação 10 a 240 g/m<sup>2</sup>. Ambas as ruas apresentaram em média aproximadamente 60 g/m<sup>2</sup>. Gomes (2008), no período de novembro de 2006 a outubro de 2007, encontrou para a rua Marquês do Herval variação da carga de sedimento de 13 a 332 g/m<sup>2</sup> e valor médio de 77 g/m<sup>2</sup>. Vaze e Chiew (2002) encontrou para uma rua de um bairro residencial em Melbourne, Austrália, variação de 10 a 60 g/m<sup>2</sup>. Pode se concluir que as ruas amostradas no presente trabalho apresentam cargas de sedimento na mesma faixa de valores apresentado por Dotto (2006) e Gomes (2008) e cargas maiores do que encontrado por Vaze e Chiew (2002), o que pode ser influenciado pelo fato das ruas estudadas por Vaze e Chiew (2002) apresentavam limpeza periódica, enquanto as ruas aqui monitoradas não apresentavam nenhum processo de limpeza periódica, apenas retirada de resíduos domésticos.

As amostras de sedimentos secos, muitas vezes eram compostas também por material não particulado como lixo, vegetação, fibras ou cabelos, etc. Esse material encontrado junto com o sedimento foi também quantificado, sendo encontrado na primeira campanha uma massa de matéria orgânica em relação a massa total de sedimento de 1,09% para a rua Marquês do Herval e de 5,10% para a rua Rigoberto Duarte. Não foi quantificado lixo nesta campanha. Na segunda campanha os valores encontrados de matéria orgânica foram de 1,75% e 2,43% para a Rua Marquês do Herval e rua Rigoberto Duarte, respectivamente. Enquanto os valores de lixo encontrados nas ruas Marquês do Herval e Rigoberto Duarte foram de 2,57% e 0,43%, respectivamente. Na terceira campanha os valores de matéria orgânica e de lixo encontrados na rua Marquês do Herval foram de 2,15% e 0,82% respectivamente.

Esses valores são semelhantes às porcentagens encontradas por Dotto (2006), que encontrou em média 3% de material não particulado nas mesmas ruas deste estudo, e por Butler e Clark (1995, *apud* DOTTO, 2006) que em seus estudos em Lambeth na Inglaterra apresentaram valores de 2% e 10% para a média e para valor máximo em área muito urbanizada, respectivamente.

As Figuras 6.9, 6.10 e 6.11 e a tabela 6.2 apresentam os gráficos e valores da carga de sedimentos nas faixas granulométrica  $>500\mu\text{m}$ ,  $500-250\mu\text{m}$ ,  $250-63\mu\text{m}$ ,  $<63\mu\text{m}$  e a carga de matéria orgânica (MO) e lixo (LX) encontrado nas duas ruas estudadas na primeira e segunda campanha de amostragem. O lixo não foi quantificado na primeira campanha.

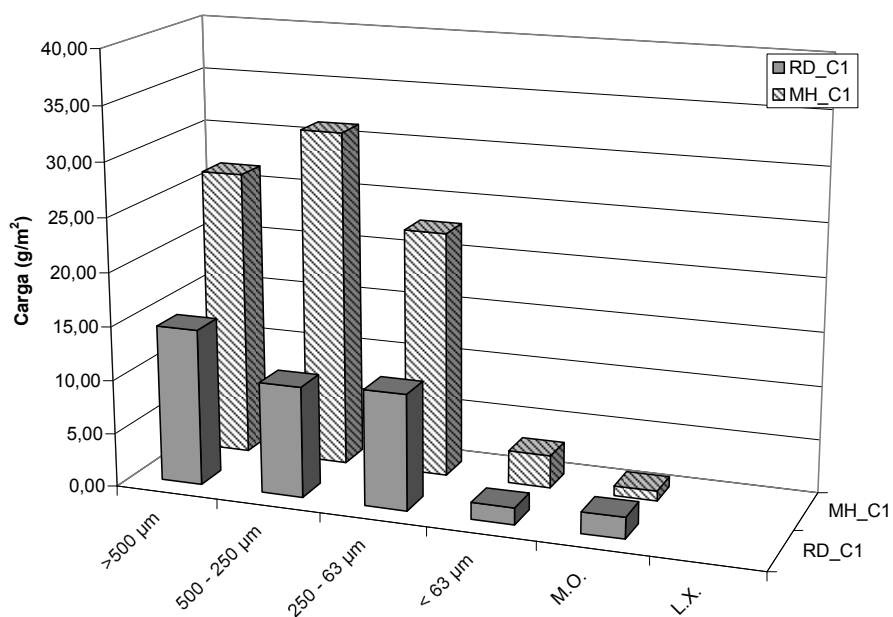


Figura 6. 9 – Carga de sedimentos nas granulometrias e matéria orgânica (MO) encontradas nas duas ruas na primeira campanha de amostragem.

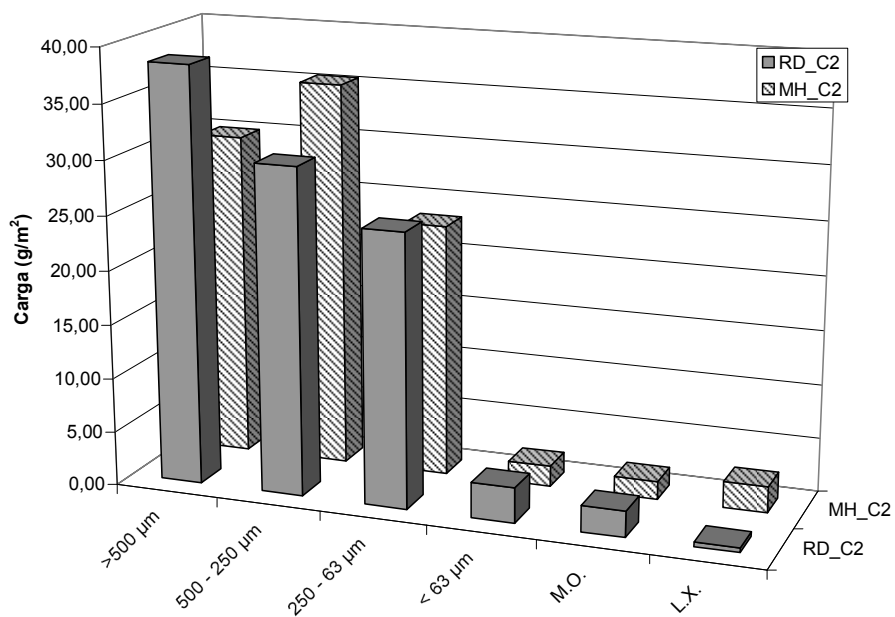


Figura 6. 10 – Carga de sedimentos em cada granulometria, matéria orgânica (MO) e lixo (LX) encontrado nas duas ruas durante a segunda campanha de amostragem.

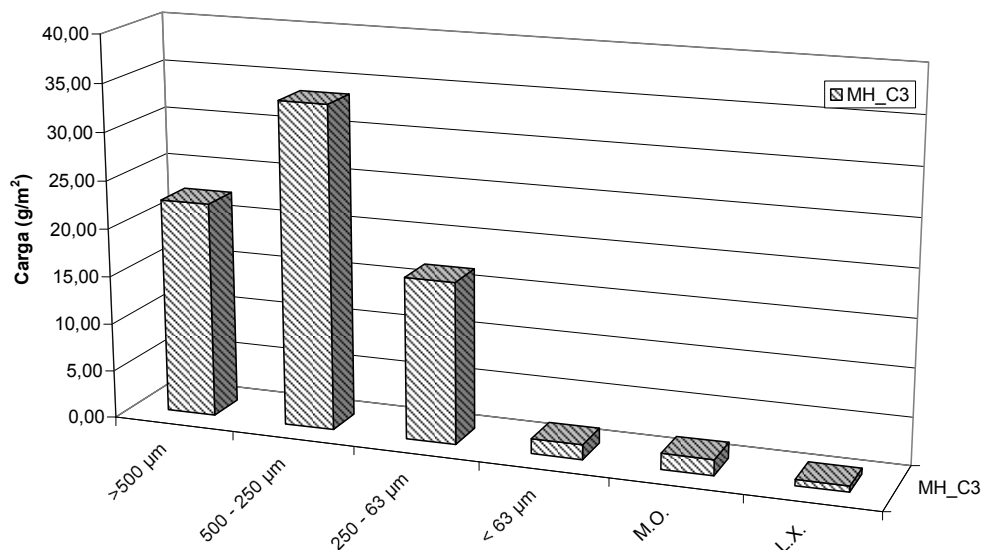


Figura 6. 11 – Carga de sedimentos em cada granulometria, matéria orgânica (MO) e lixo (LX) encontrado na rua Marquês do Herval durante a terceira campanha de amostragem.

Tabela 6. 2 – Carga de sedimentos coletadas nas ruas Marquês do Herval (M.H.) e Rigoberto Duarte (R.D.) nas três campanhas

Granulometria	Campanha 1				Campanha 2				Campanha 3	
	M.H.		R.D.		M.H.		R.D.		M.H.	
	(g/m <sup>2</sup> )	(%)	(g/m <sup>2</sup> )	(%)	(g/m <sup>2</sup> )	(%)	(g/m <sup>2</sup> )	(%)	(g/m <sup>2</sup> )	(%)
>500µm	26,67	31,5	14,56	37,1	29,97	31,6	38,40	38,5	22,47	29,2
500 – 250µm	31,28	36,9	10,34	26,4	35,48	37,5	30,13	30,2	33,70	43,9
250 – 63µm	22,82	26,9	10,76	27,4	23,30	24,6	25,16	25,2	16,82	21,9
< 63µm	3,03	3,6	1,56	4,0	1,89	2,0	3,25	3,3	1,57	2,0
Matéria orgânica	0,93	1,1	2,00	5,1	1,66	1,7	2,42	2,4	1,65	2,2
Lixo					2,43	2,6	0,43	0,4	0,63	0,8

A rua Marquês do Herval apresentou maior carga de sedimento na faixa granulométrica de 500-250µm em todas as campanhas. A granulometria menor que 63µm representa em média 2,6% da carga total de sedimentos para a rua Marquês do Herval e 3,5% para a rua Rigoberto Duarte. A granulometria maior que 250µm representa em média 70% da carga de sedimentos em ambas as ruas.

### 6.2.3 Efeito da Velocidade do Vento nas cargas de sedimento

Os dados de velocidade do vento foram obtidos na Estação Meteorológica do Departamento de Fitotecnia, localizada no campus da Universidade Federal de Santa Maria. Foram utilizados os dados diários de velocidade registrados às 11h e às 14h a 10 metros de altura a fim de realizar uma análise do efeito da velocidade do vento na carga de sedimento presente nas superfícies. As figuras 6.12, 6.13 e 6.14 apresentam os valores diários da velocidade do vento e da carga total de sedimentos encontrados nas três campanhas de amostragem.

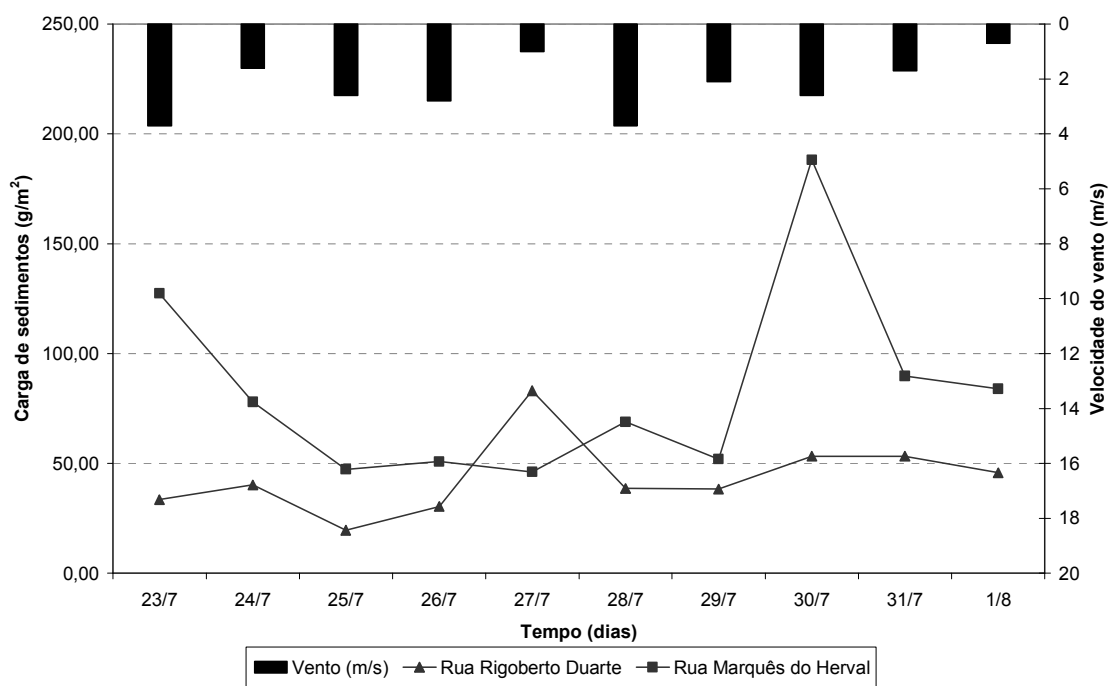


Figura 6. 12 – Efeito da velocidade do vento na carga total de sedimentos na superfície – primeira campanha de amostragem.

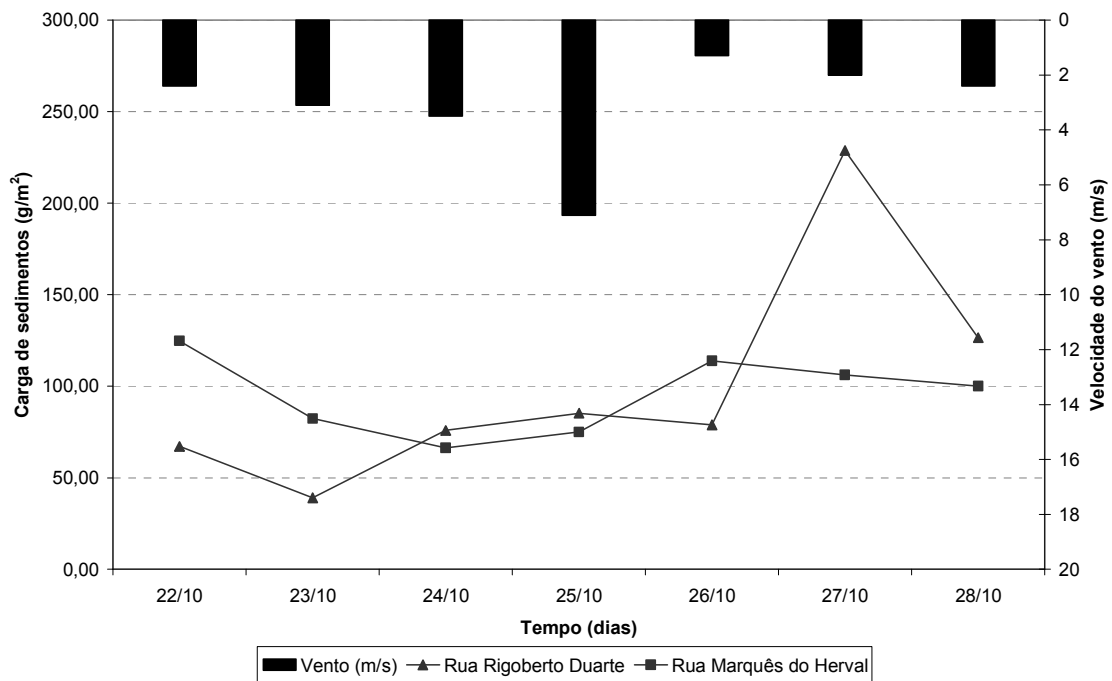


Figura 6. 13 – Efeito da velocidade do vento na carga total de sedimentos na superfície – segunda campanha de amostragem.

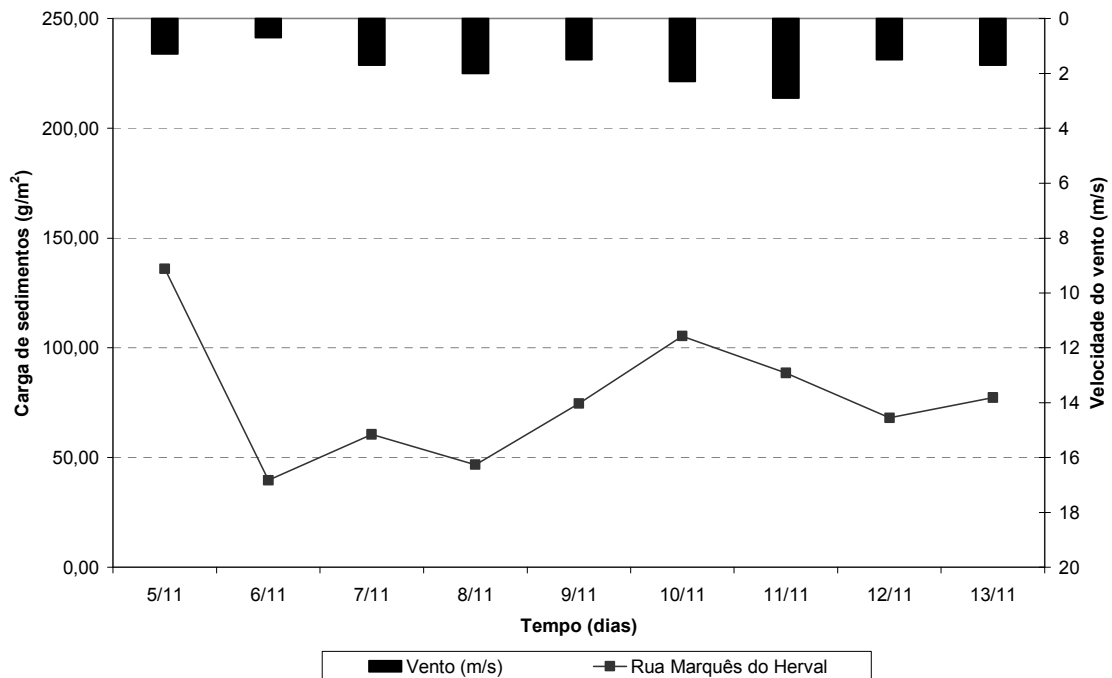


Figura 6. 14 – Efeito da velocidade do vento na carga total de sedimentos na superfície – terceira campanha de amostragem.



Na primeira campanha de amostragem, de 23/07 a 01/08, a velocidade do vento variou de 0,7 a 3,7 m/s e apresentou um valor médio de 2,5 m/s.

No dia 30/07, houve um acréscimo de sedimento acumulado na rua Marquês do Herval devido a um derramamento de areia por um caminhão.

Na segunda campanha de amostragem, de 22 a 28/10, a velocidade do vento variou de 1,3 a 7,1 m/s e apresentou um valor médio de 3,11 m/s.

No dia 27/10, ocorreu um acréscimo de sedimento acumulado, na rua Rigoberto Duarte, devido ao ponto de amostragem estar localizado perto de uma construção.

Na terceira campanha de amostragem, de 5 a 13/11, a velocidade do vento variou de 0,7 a 2,9m/s e apresentou um valor médio de 1,74 m/s.

A distância, de aproximadamente 10 km, da estação metereológica da área de monitoramento e a altura da observação, 10 metros,dificulta a análise da influência da velocidade do vento na distribuição de sedimentos nas ruas.

### **6.3 Avaliação da carga de poluição orgânica, de nutrientes e de metais pesados nas faixas granulométricas dos sedimentos secos**

As amostras de sedimento seco dos dias anteriores à precipitação foram separadas em quatro faixas granulométricas ( $\leq 63\mu\text{m}$ ,  $63 - 250\mu\text{m}$ ,  $250 - 500\mu\text{m}$ ,  $> 500\mu\text{m}$ ). Para cada faixa granulométrica foi avaliada a carga de poluição orgânica, de nutrientes e de metais pesados, através da determinação das concentrações dos seguintes parâmetros: demanda química de oxigênio, amônia, nitrito, nitrato, fosfato, sulfato, cloreto, fluoreto, cobre, níquel, zinco e chumbo. O apêndice B mostra os resultados destas análises.

A carga de poluição foi obtida através da multiplicação da concentração do parâmetro pelo volume de água usado na diluição e por a fração de massa do sedimento de cada granulometria e dividido pelo somatório das áreas amostradas.

### 6.3.1 Avaliação da carga de poluição orgânica

A Tabela 6.3 mostra a carga de DQO por metro quadrado nas ruas Rigoberto Duarte (RD) e Marquês do Herval (MH), na primeira campanha (C1), na segunda campanha (C2) e na terceira campanha (C3).

Tabela 6. 3 – Carga de DQO ( $\text{mg}/\text{m}^2$ ) nas 4 faixas granulométricas

Granulometria	RD C1	MH C1	RD C2	MH C2	MH C3
>500 $\mu\text{m}$	24,88	29,68	81,60	55,64	21,53
500-250 $\mu\text{m}$	17,76	22,40	56,87	54,56	16,07
250-63 $\mu\text{m}$	15,89	18,77	53,46	39,32	13,88
<63 $\mu\text{m}$	4,25	6,00	14,34	8,16	1,93

A carga de DQO foi maior na segunda campanha para ambas as ruas, devido a maior carga de sedimentos conforme mostrado no item 6.2.2. Nas demais campanhas ocorreram uma pequena variação da DQO, mantendo-se mais alta na granulometria maior que 500 $\mu\text{m}$ , conforme é ilustrado na figura 6.15.

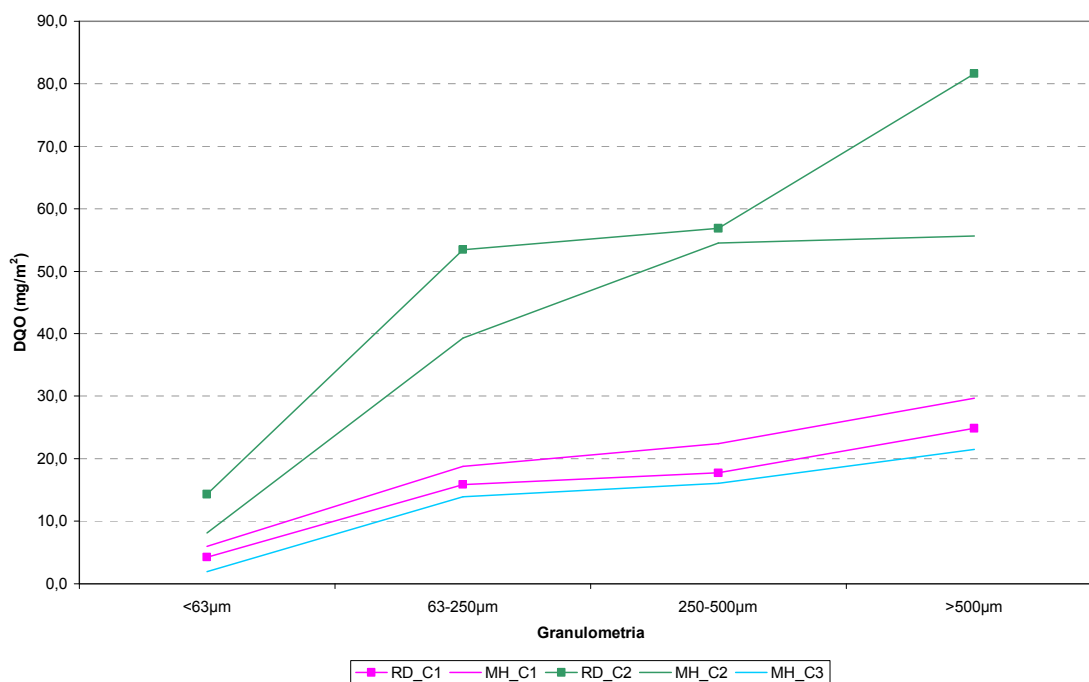


Figura 6. 15 – Carga de demanda química de oxigênio (DQO) nas ruas Marquês do Herval (MH) e Rigoberto Duarte (RD) nas três campanhas de amostragem.

### 6.3.2 Avaliação da carga de nutrientes

Como pode-se observar na figura 6.16, as cargas de amônia foram maiores na faixa granulométrica de 63-250 $\mu\text{m}$ , com exceção das amostras coletadas na rua Marquês do Herval na terceira campanha de amostragem, que obteve maior carga na faixa granulométrica de 250-500 $\mu\text{m}$ .

A rua Rigoberto Duarte apresentou uma maior carga de amônia na campanha 2, isto pode ser devido a uma maior carga de matéria orgânica (folhas, flores e excrementos de animais) encontrada nas amostras. Os valores encontrados para amônia nas amostras foram em média menores aos valores encontrados por Deletic e Orr (2005), exceto os valores da segunda campanha que se aproximaram da carga média encontrada pelos autores, de 0,83 mg/m<sup>2</sup>.

Não foi detectado nitrito em nenhuma das amostras.

A figura 6.17 mostra a carga de nitrato encontrada nas amostras dos sedimentos de rua das campanhas amostradas.

Na primeira e na terceira campanhas as maiores cargas de nitrato ocorreram na faixa granulométrica de 63-250 $\mu\text{m}$ , como observado para a amônia. Não foi detectado nitrato nas amostras com granulometria maior que 250 $\mu\text{m}$ .

Os valores encontrados para nitrato foram menores do que os encontrados por Deletic e Orr (2005) que encontraram uma carga média de 45,52 mg/m<sup>2</sup>.

A figura 6.18 mostra a carga de fosfato. As maiores cargas de fosfato foram detectadas na granulometria maior que 500 $\mu\text{m}$ , com exceção das amostras da segunda campanha da rua Rigoberto Duarte, que obteve maior carga na granulometria menor que 63 $\mu\text{m}$ , não sendo detectado nas granulometrias maiores. Não foi detectado fosfato na primeira campanha de amostragem.

Os valores encontrados para fosfato neste estudo foram semelhantes aos valores encontrados por Deletic e Orr (2005) que detectaram valores médios de 0,419 mg/m<sup>2</sup>.

As figuras 6.19, 6.20 e 6.21 mostram a carga de sulfato, cloreto e fluoreto, respectivamente, para cada faixa granulométrica das amostras coletadas nas ruas Marquês do Herval (MH) e Rigoberto Duarte (RD).

O sulfato obteve menor carga na granulometria menor que 63  $\mu\text{m}$  e maior carga na granulometria maior que 250 $\mu\text{m}$ .

Foram detectados maiores concentrações de cloreto na granulometria maior que 500 $\mu\text{m}$  e menores concentrações na granulometria menor que 63 $\mu\text{m}$ .

Não foi detectado fluoreto nas amostras da terceira campanha da rua Marquês do Herval. De forma geral apresenta maior carga na granulometria menor que 63 $\mu\text{m}$ . A carga de fluoreto na segunda campanha de amostragem da rua Rigoberto Duarte apresentaram valores semelhantes aos valores médios encontrados por Deletic e Orr (2005), que foi de 0,125 mg/m<sup>2</sup>.

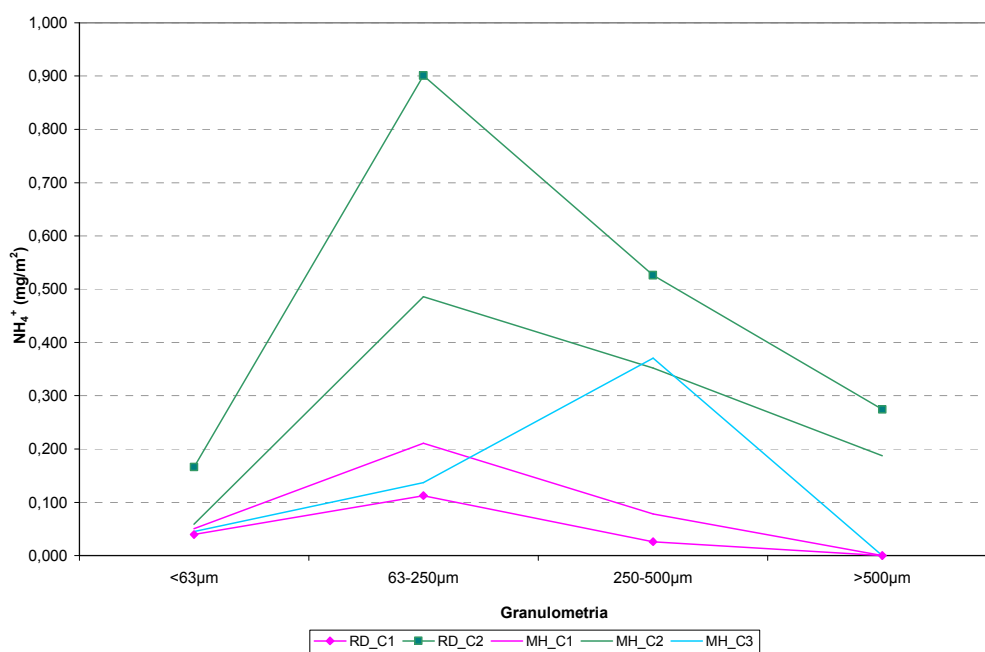


Figura 6. 16 – Carga de amônia ( $\text{NH}_4^+$ ) nas ruas Marquês do Herval (MH) e Rigoberto Duarte (RD) nas três campanhas de amostragem.

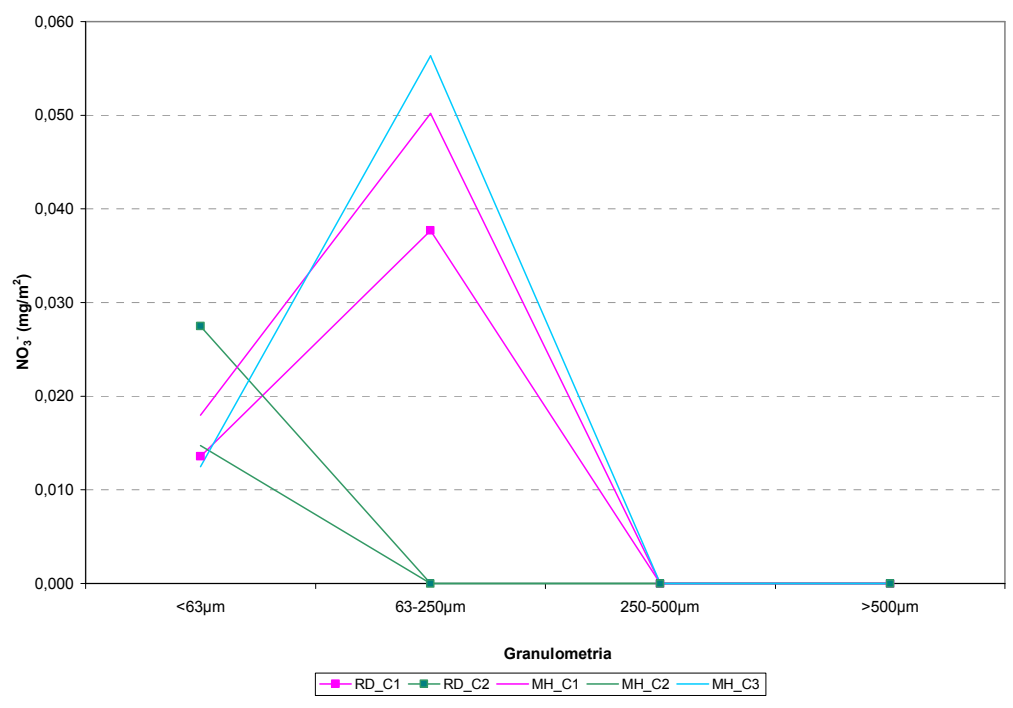


Figura 6. 17 – Carga de nitrato ( $\text{NH}_3^-$ ) nas ruas Marquês do Herval (MH) e Rigoberto Duarte (RD) nas três campanhas de amostragem.

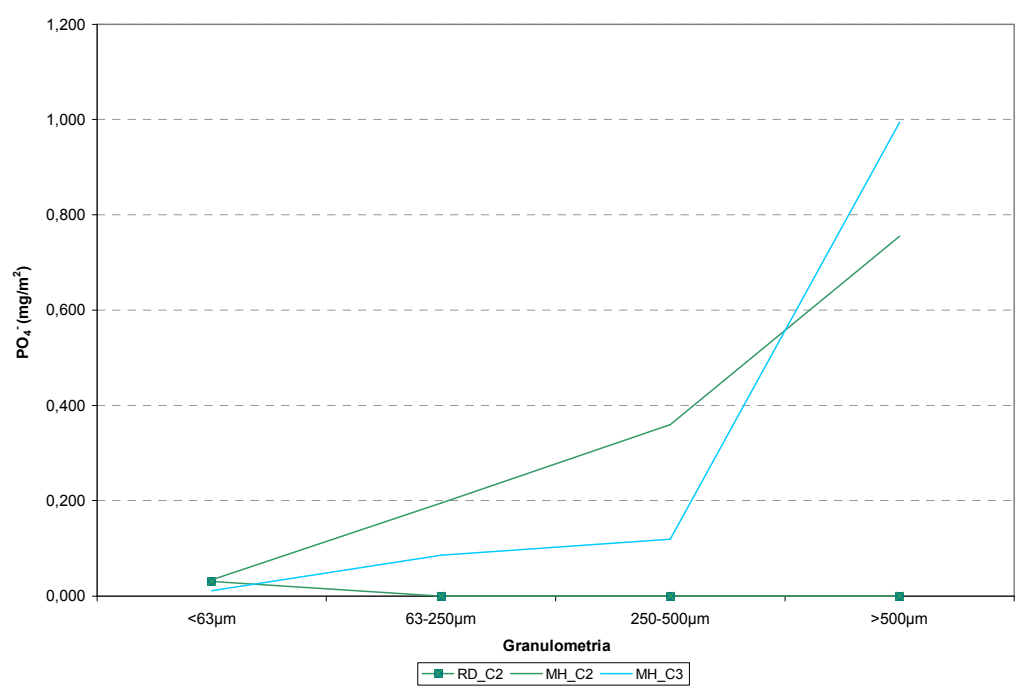


Figura 6. 18 – Carga de fosfato ( $\text{PO}_4^-$ ) nas ruas Marquês do Herval (MH) e Rigoberto Duarte (RD) nas três campanhas de amostragem.

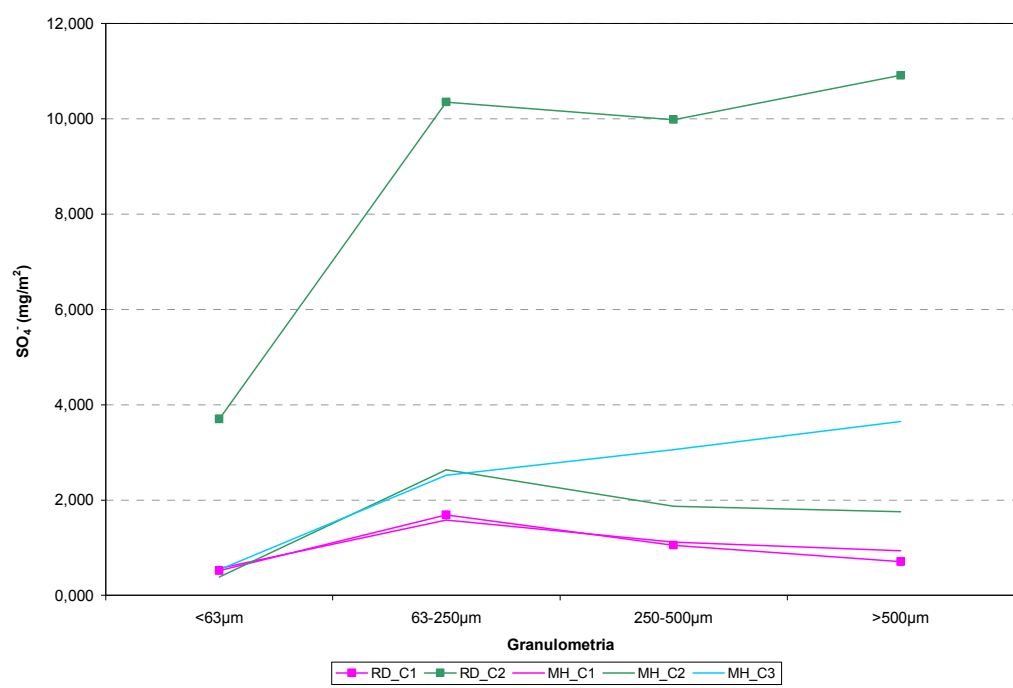


Figura 6. 19 – Carga de sulfato ( $SO_4$ ) nas ruas Marquês do Herval (MH) e Rigoberto Duarte (RD) nas três campanhas de amostragem.

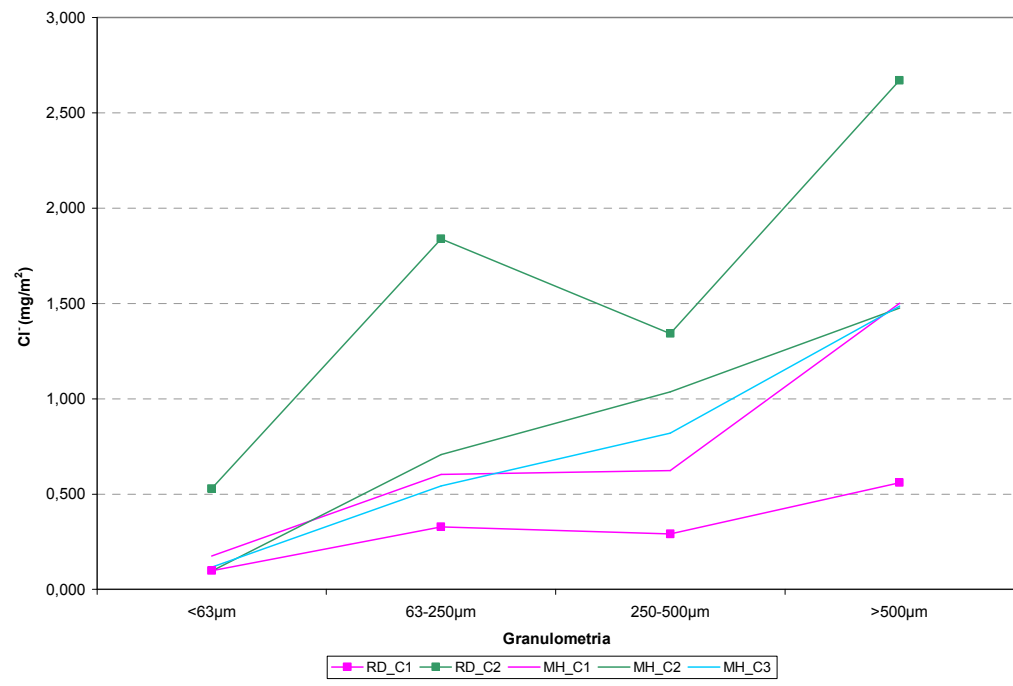


Figura 6. 20 – Carga de cloreto ( $Cl^-$ ) nas ruas Marquês do Herval (MH) e Rigoberto Duarte (RD) nas três campanhas de amostragem.

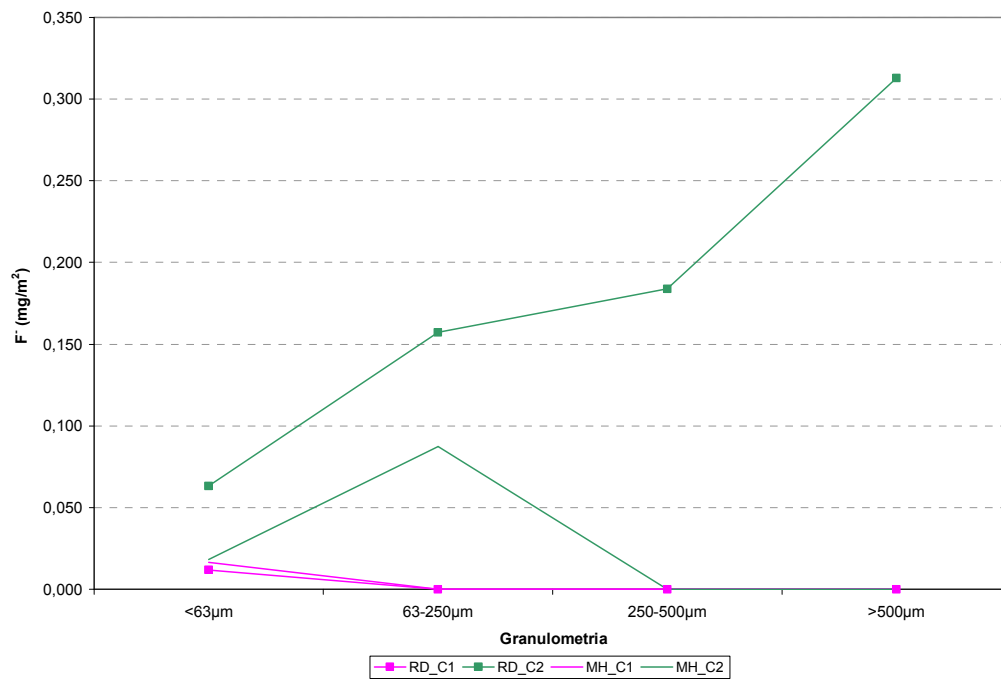


Figura 6. 21 – Carga de fluoreto ( $F^-$ ) nas ruas Marquês do Herval (MH) e Rigoberto Duarte (RD) nas três campanhas de amostragem.

A tabela 6.4 mostra as cargas de nutrientes nas amostras coletadas nas ruas Rigoberto Duarte (RD) e Marquês do Herval (MH), na primeira campanha (C1), na segunda campanha (C2) e na terceira campanha (C3) de amostragem.

Tabela 6. 4 – Carga de nutrientes (mg/m<sup>2</sup>) nas 4 faixas granulométricas

Nutrientes	Granulometria	Concentrações (mg/m <sup>2</sup> )				
		RD C1	MH C1	RD C2	MH C2	MH C3
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	>500µm	n.d	n.d	0,275	0,187	n.d
	500-250µm	0,026	0,078	0,526	0,351	0,371
	250-63µm	0,112	0,211	0,901	0,486	0,137
	<63µm	0,039	0,051	0,166	0,059	0,045
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	>500µm	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
	500-250µm	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
	250-63µm	0,038	n.d	n.d	n.d	0,056
	<63µm	0,014	0,018	0,027	0,015	0,012
PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	>500µm	n.d	n.d	n.d	0,755	0,994
	500-250µm	n.d	n.d	n.d	0,360	0,120
	250-63µm	n.d	n.d	n.d	0,195	0,086
	<63µm	n.d	n.d	0,030	0,034	0,011
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	>500µm	0,706	0,936	10,908	1,752	3,645
	500-250µm	1,054	1,117	9,978	1,868	3,059
	250-63µm	1,688	1,583	10,351	2,635	2,521
	<63µm	0,521	0,562	3,701	0,383	0,544
Cl <sup>-</sup>	>500µm	0,560	1,500	2,671	1,476	1,485
	500-250µm	0,290	0,623	1,341	1,036	0,819
	250-63µm	0,328	0,602	1,839	0,707	0,542
	<63µm	0,098	0,174	0,528	0,095	0,116
F <sup>-</sup>	>500µm	n.d	n.d	0,313	n.d	n.d
	500-250µm	n.d	n.d	0,184	n.d	n.d
	250-63µm	n.d	n.d	0,157	0,087	n.d
	<63µm	0,012	0,016	0,063	0,018	n.d

n.d. = não detectado, teor abaixo do limite de quantificação do método (LOD). LOD = 0,05 mg L<sup>-1</sup> para todos os parâmetros.

### 6.3.3 Avaliação da carga de metais pesados

As figuras 6.22 a 6.25 apresentam as cargas de cobre, zinco, níquel e chumbo detectados nas amostras de sedimento seco coletados nas ruas Marquês do Herval e Rigoberto Duarte nas três campanhas de amostragem.



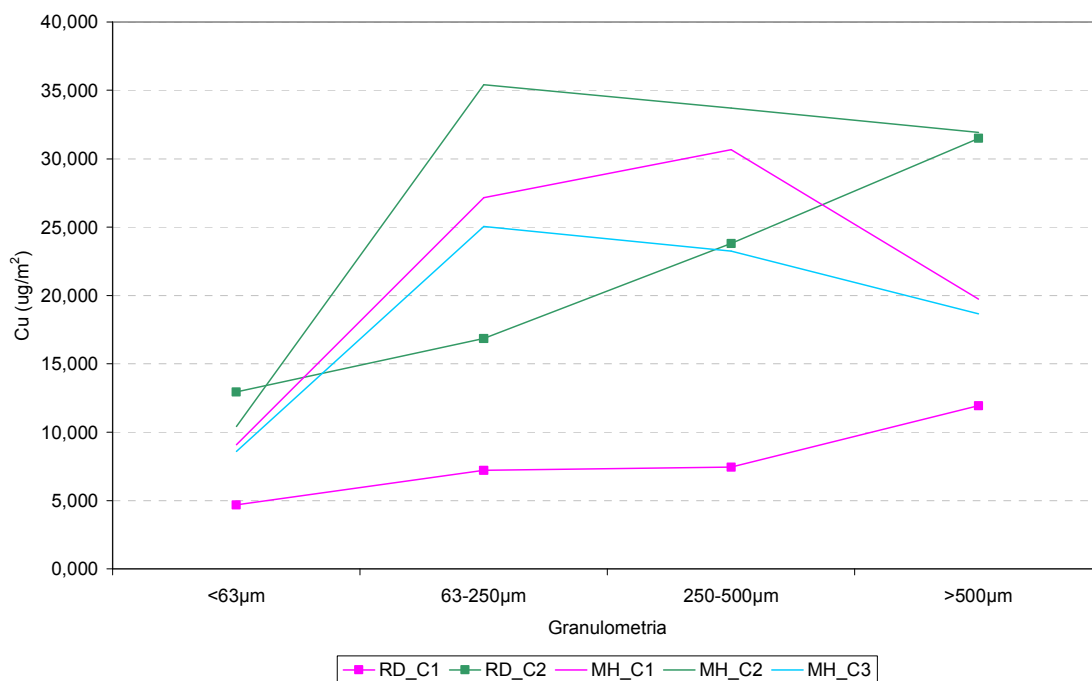


Figura 6. 22 – Carga de cobre (Cu) nas ruas Marquês do Herval (MH) e Rigoberto Duarte (RD) nas três campanhas de amostragem.

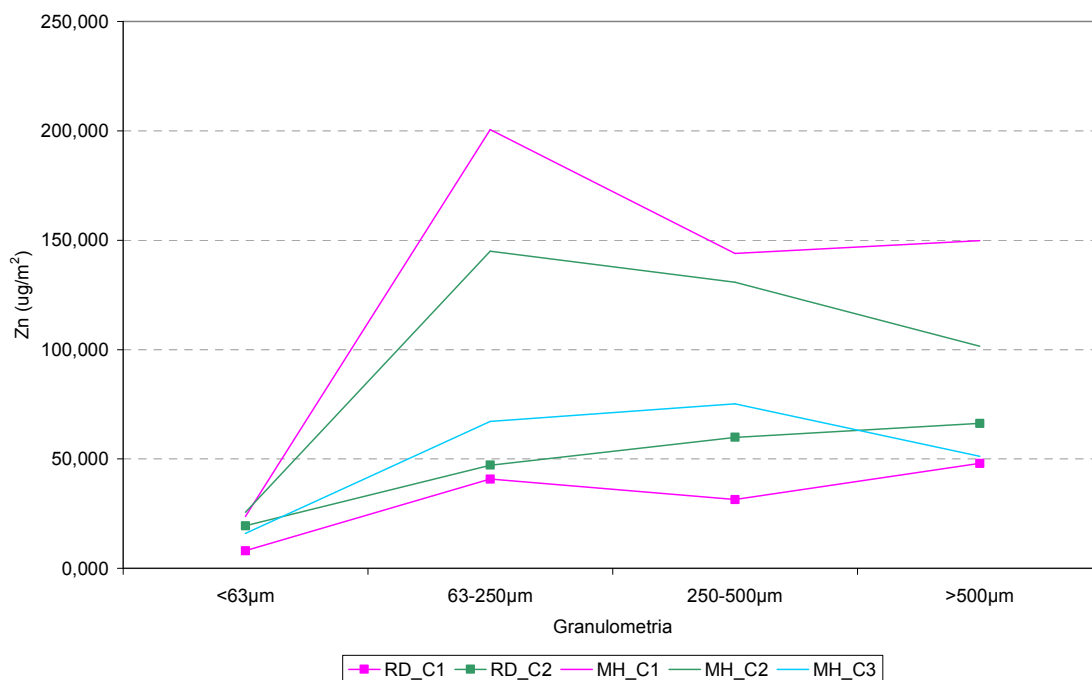


Figura 6. 23 – Carga de zinco (Zn) nas ruas Marquês do Herval (MH) e Rigoberto Duarte (RD) nas três campanhas de amostragem.

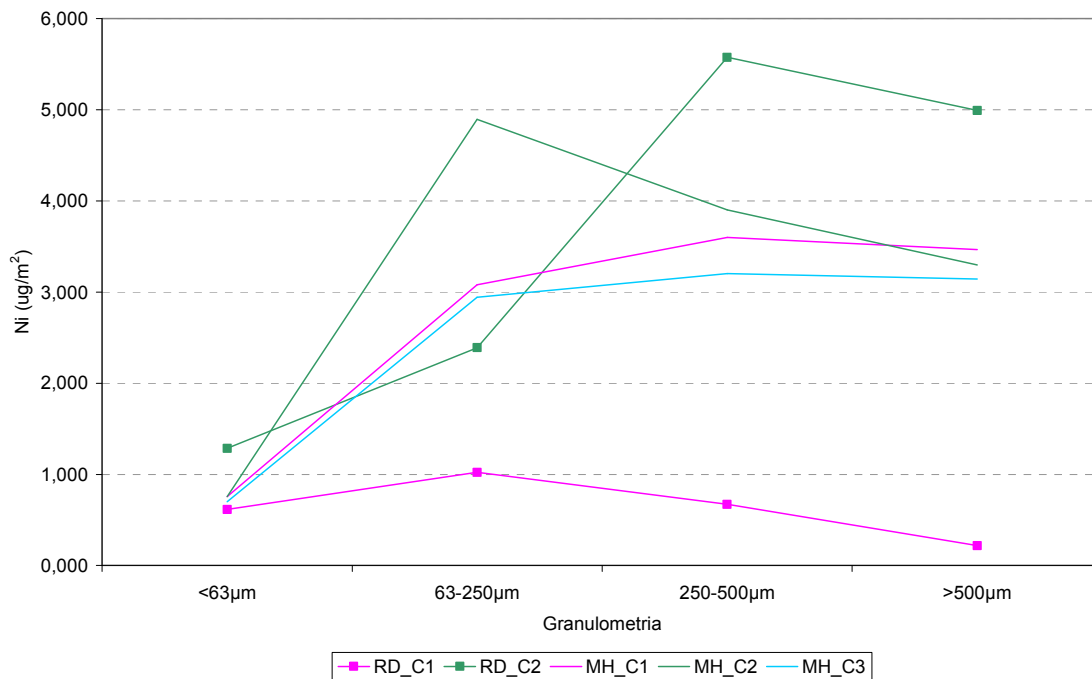


Figura 6. 24 – Carga de níquel (Ni) nas ruas Marquês do Herval (MH) e Rigoberto Duarte (RD) nas três campanhas de amostragem.

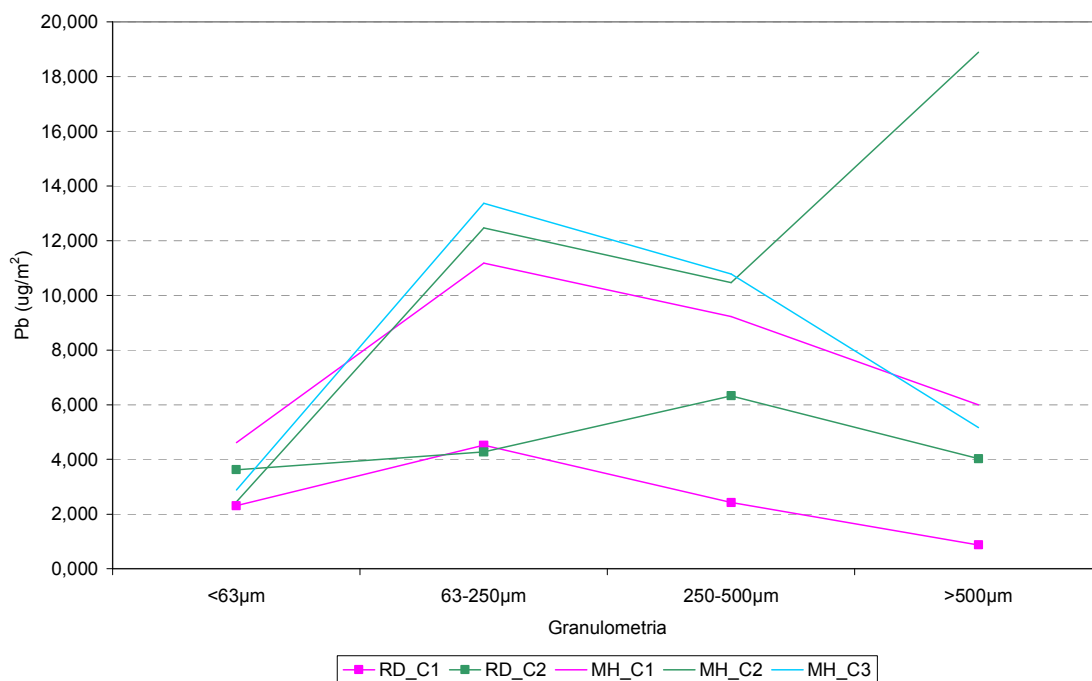


Figura 6. 25 – Carga de chumbo (Pb) nas ruas Marquês do Herval (MH) e Rigoberto Duarte (RD) nas três campanhas de amostragem.

A tabela 6.5 mostra a quantidade de metais pesados encontrada nas amostras de sedimento por área de amostragem, nas ruas Rigoberto Duarte (RD) e Marquês do Herval (MH), na primeira campanha (C1), na segunda campanha (C2) e na terceira campanha (C3) de amostragem.

A rua Marquês do Herval apresentou maior carga de cobre, zinco e chumbo comparada a Rua Rigoberto Duarte. Isto pode ser explicado pelo maior acúmulo de sedimentos da rua Marquês do Herval, mínimo de 39,61g/m<sup>2</sup> e máximo de 188,28 g/m<sup>2</sup>, respectivamente nas campanhas 3 e 1. Na rua Rigoberto Duarte, o mínimo foi de 19,55 g/m<sup>2</sup> e o máximo de 228g/m<sup>2</sup>, nas campanhas 1 e 2 respectivamente. Este maior acúmulo de sedimentos se deve ao fato da primeira rua possuir uma declividade média de 0,0531 m/m, inferior a segunda, cuja declividade média é de 0,0986 m/m.

A granulometria <63µm apresentou menores cargas de metais, devido a menor carga de sedimentos nesta faixa granulométrica.

Tabela 6. 5 – Carga de metais pesados (µg/m<sup>2</sup>) nas 4 faixas granulométricas

Metais	Granulometria	Carga (µg/m <sup>2</sup> )				
		RD C1	MH C1	RD C2	MH C2	MH C3
Cu	>500µm	11,943	19,736	31,489	31,922	18,646
	500-250µm	7,444	30,657	23,804	33,709	23,255
	250-63µm	7,212	27,152	16,856	35,418	25,056
	<63µm	4,688	9,092	12,950	10,425	8,600
Zn	>500µm	48,063	149,886	66,243	101,611	51,333
	500-250µm	31,481	144,057	59,963	130,755	75,159
	250-63µm	40,902	200,560	47,170	145,051	67,181
	<63µm	8,143	23,660	19,458	25,646	16,046
Ni	>500µm	0,218	3,467	4,992	3,297	3,145
	500-250µm	0,672	3,598	5,574	3,903	3,202
	250-63µm	1,023	3,080	2,390	4,893	2,943
	<63µm	0,616	0,756	1,285	0,757	0,699
Pb	>500µm	0,874	6,001	4,032	18,884	5,167
	500-250µm	2,430	9,228	6,328	10,468	10,785
	250-63µm	4,521	11,180	4,277	12,466	13,369
	<63µm	2,309	4,614	3,628	2,450	2,890

Os valores encontrados para a carga de metais pesados foram bem menores dos encontrados por Deletic e Orr (2005), que encontraram cargas de 49,7, 34,3 e 47,6 mg/m<sup>2</sup>, para zinco, cobre e chumbo respectivamente.

#### 6.3.4 Avaliação da concentração de metais pesados

A tabela 6.6 mostra a quantidade de metais pesados por quantidade de sedimentos encontrados nas ruas Rigoberto Duarte (RD) e Marquês do Herval (MH), na primeira campanha (C1), na segunda campanha (C2) e na terceira campanha (C3) de amostragem.

As figuras 6.26 a 6.29 apresentam as concentrações de cobre, zinco, níquel e chumbo detectados nas amostras de sedimento seco coletados nas ruas Marquês do Herval e Rigoberto Duarte nas três campanhas de amostragem.

Os metais apresentaram todos o mesmo comportamento, isto é, apresentaram maiores concentrações na granulometria menor que 63µm, comprovando estudos anteriores (ELLIS E REVITT, 1982; DELETIC E ORR, 2005; ADACHI E TAINOSHO, 2005; POLETO *et al.*, 2008) que afirmam que os metais aderem-se as menores partículas. O comportamento da carga, conforme item 6.3.3 difere do comportamento da concentração, porque a carga de metais depende da carga de sedimentos, e a concentração independe.

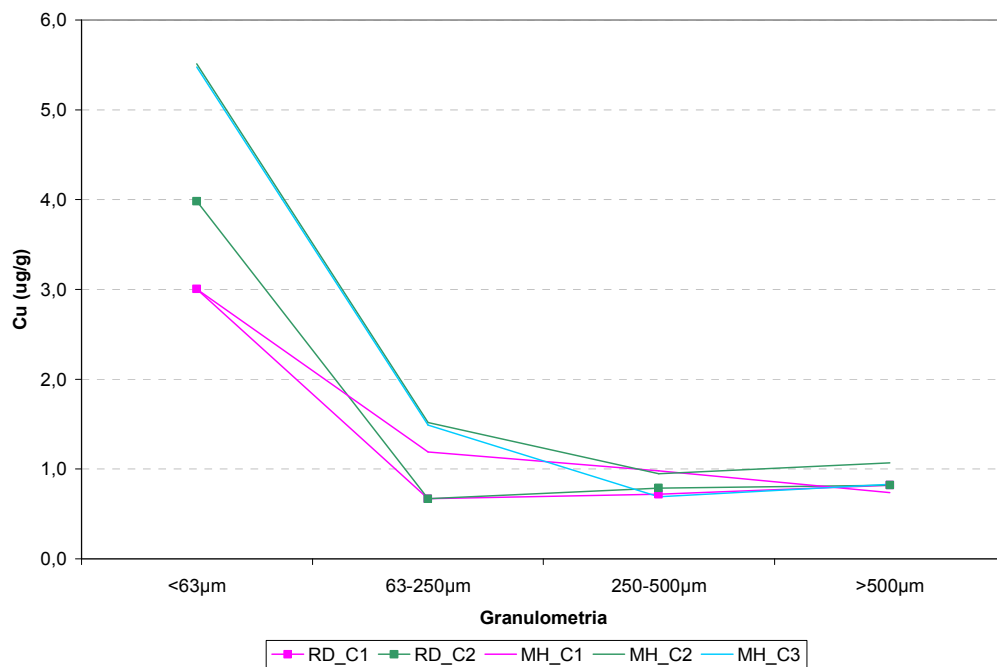


Figura 6. 26 – Concentração de cobre (Cu) nas ruas Marquês do Herval (MH) e Rigoberto Duarte (RD) nas três campanhas de amostragem.

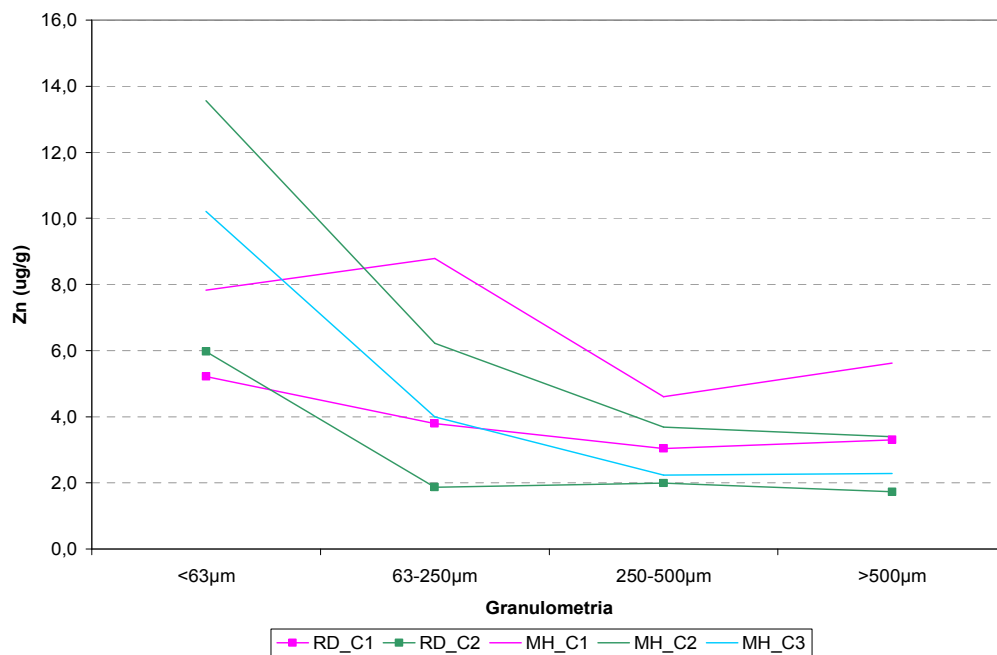


Figura 6. 27 – Concentração de zinco (Zn) nas ruas Marquês do Herval (MH) e Rigoberto Duarte (RD) nas três campanhas de amostragem.

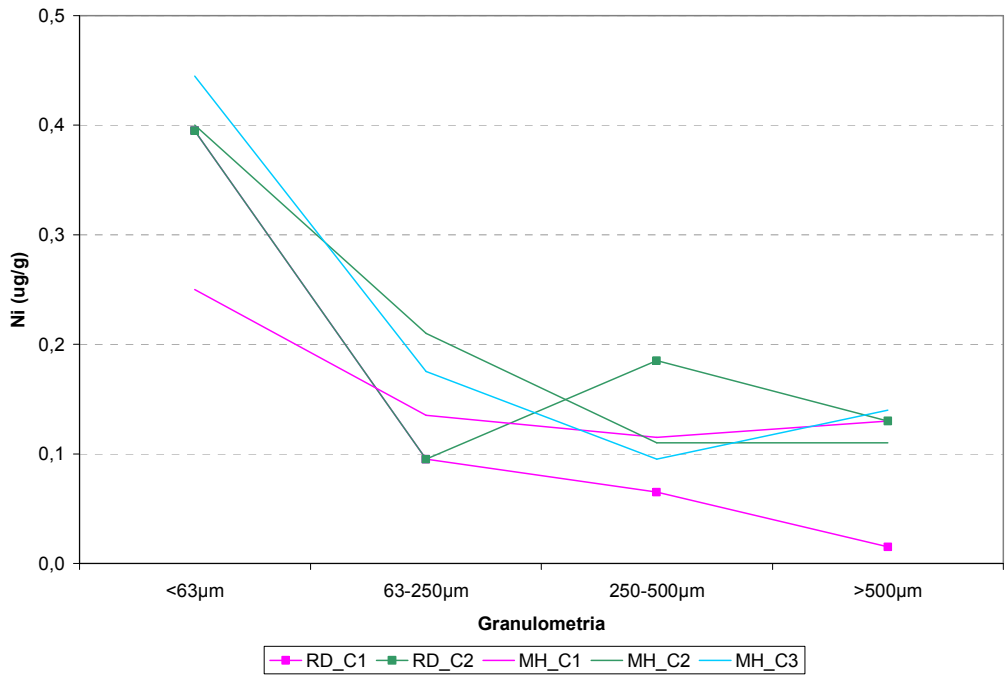


Figura 6. 28 – Concentração de níquel (Ni) nas ruas Marquês do Herval (MH) e Rigoberto Duarte (RD) nas três campanhas de amostragem.

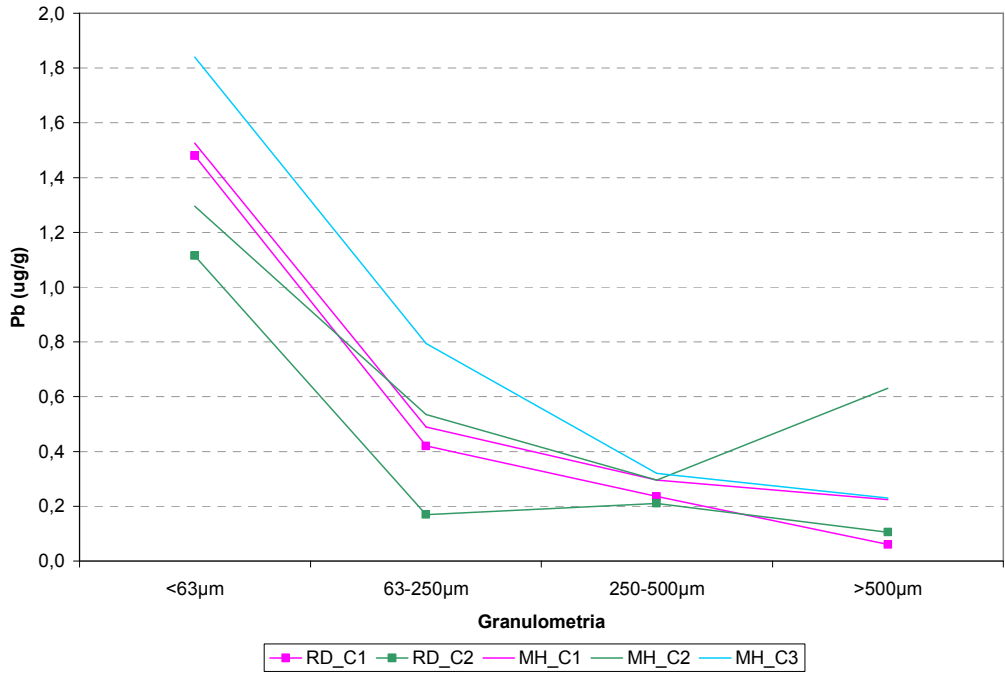


Figura 6. 29 – Concentração de chumbo (Pb) nas ruas Marquês do Herval (MH) e Rigoberto Duarte (RD) nas três campanhas de amostragem.

Tabela 6. 6 – Concentrações de metais pesados ( $\mu\text{g/g}$ ) nas 4 faixas granulométricas

Metais	Granulometria	Concentrações ( $\mu\text{g/g}$ )				
		RD C1	MH C1	RD C2	MH C2	MH C3
Cu	>500 $\mu\text{m}$	0,820	0,740	0,820	1,065	0,830
	500-250 $\mu\text{m}$	0,720	0,980	0,790	0,950	0,690
	250-63 $\mu\text{m}$	0,670	1,190	0,670	1,520	1,490
	<63 $\mu\text{m}$	3,005	3,005	3,980	5,510	5,475
Zn	>500 $\mu\text{m}$	3,300	5,620	1,725	3,390	2,285
	500-250 $\mu\text{m}$	3,045	4,605	1,990	3,685	2,230
	250-63 $\mu\text{m}$	3,800	8,790	1,875	6,225	3,995
	<63 $\mu\text{m}$	5,220	7,820	5,980	13,555	10,215
Ni	>500 $\mu\text{m}$	0,015	0,130	0,130	0,110	0,140
	500-250 $\mu\text{m}$	0,065	0,115	0,185	0,110	0,095
	250-63 $\mu\text{m}$	0,095	0,135	0,095	0,210	0,175
	<63 $\mu\text{m}$	0,395	0,250	0,395	0,400	0,445
Pb	>500 $\mu\text{m}$	0,060	0,225	0,105	0,630	0,230
	500-250 $\mu\text{m}$	0,235	0,295	0,210	0,295	0,320
	250-63 $\mu\text{m}$	0,420	0,490	0,170	0,535	0,795
	<63 $\mu\text{m}$	1,480	1,525	1,115	1,295	1,840

Os valores encontrados para as concentrações de metais pesados foram bem menores que os valores encontrados na literatura (ELLIS E REVITT, 1982; DELETIC E ORR, 2005). Ellis e Revitt (1982) determinaram concentrações de 280, 695 e 1826 $\mu\text{g/g}$  para cobre, zinco e chumbo respectivamente, na granulometria menor que 250 $\mu\text{m}$  e concentrações de 110, 245 e 723 $\mu\text{g/g}$  para a granulometria maior que 250 $\mu\text{m}$ . Deletic e Orr (2005) encontraram concentrações de cobre, zinco e chumbo, de 530, 1100 e 1900 $\mu\text{g/g}$  para a granulometria menor que 63 $\mu\text{m}$ .

Esta diferença de valores encontrados para as concentrações de metais pesados pode ser devido às ruas amostradas neste estudo possuírem menor tráfego de veículos do que as ruas de outros trabalhos e também por serem ruas de ocupação residencial.

As maiores concentrações de zinco foram detectadas nas amostras de sedimento da rua Marquês do Herval, isto pode ser pelo fato de existir uma oficina mecânica neste local.

O zinco foi o metal pesado com maior concentração encontrada nas amostras, seguido por cobre e chumbo, essa tendência também foi observada por Push *et al.* (2007).

#### 6.4 Sedimento em suspensão da microdrenagem

Conforme descrito no item 5.1.2, foram realizadas coletas de sedimento em suspensão na saída da canalização coletora das águas pluviais provenientes da rua Marquês do Herval, nos eventos ocorridos nos dias 02/08, 29/10 e 13 e 14/11 de 2007

A figura 6.30 apresenta o hidrograma do evento ocorrido no dia 02 de agosto. O evento teve duração de 1 hora e 21 minutos, um total precipitado de 4,88 mm e a vazão média de 8,89 L/s. Neste evento foram coletadas 24 garrafas em um intervalo de 1 minuto. O tempo seco antecedente a este evento foi de 10 dias. Foi amostrado um volume 24827 litros de um volume total do evento de 43760 litros

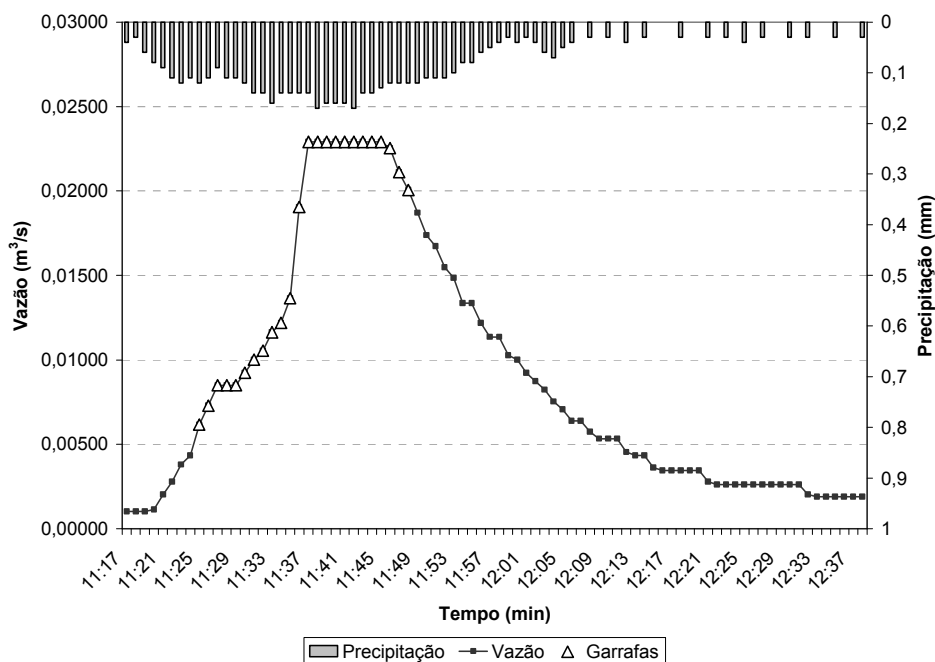


Figura 6. 30 – Hidrograma do evento ocorrido no dia 02 de agosto de 2007.



Foi coletado um menor número de garrafas nos eventos de chuva ocorridos nos dias 29 de outubro e do dia 13 e 14 de novembro, devido a esses eventos terem ocorrido à noite, como não era possível chegar ao local do amostrador a noite e este não possui sensor de nível, ele era programado em função de intervalos de tempo, contribuindo para a dificuldade de amostrar durante toda a duração da chuva.

A figura 6.31 apresenta o hidrograma do evento ocorrido no dia 29 de outubro. O amostrador foi programado para coletar 24 garrafas em um intervalo de 20 minutos, porém coletou apenas 5 garrafas. O evento teve duração de 14 horas e 16 minutos, um total precipitado de 62,81 mm e a vazão média de 12,59 L/s. O tempo seco antecedente a este evento foi de 7 dias. Foi amostrado um volume 189214 litros de um volume total do evento de 646761 litros.

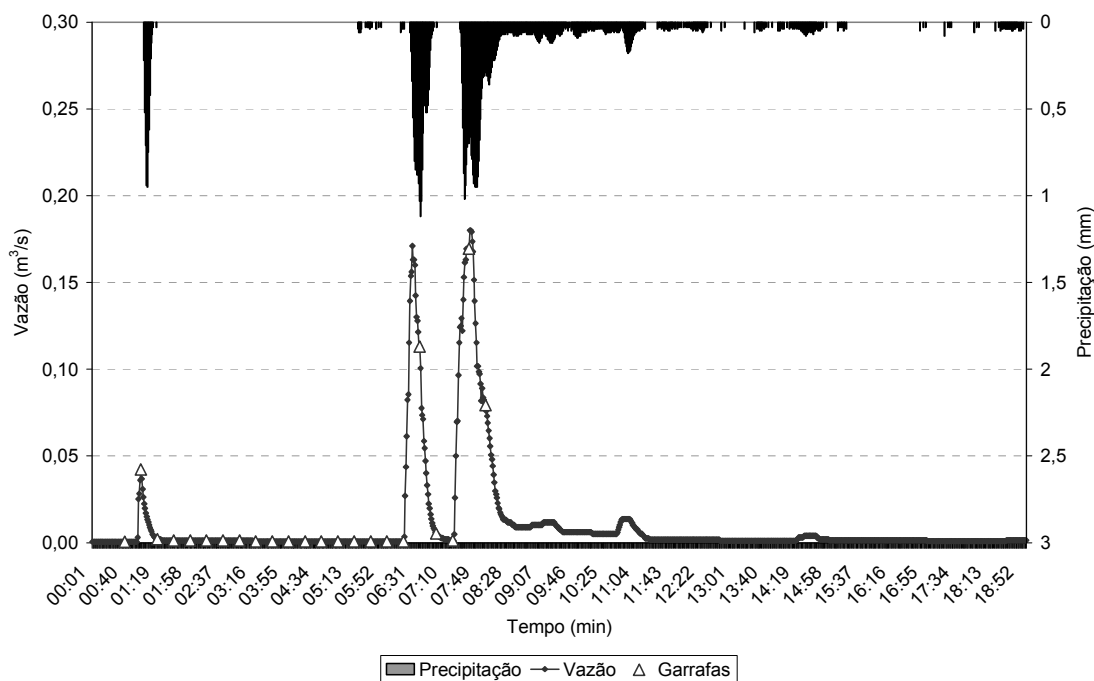


Figura 6. 31 – Hidrograma do evento ocorrido no dia 29 de outubro de 2007.

A figura 6.32 mostra o hidrograma do evento ocorrido nos dias 13 e 14 de novembro. O amostrador foi programado para coletar 24 garrafas em um intervalo de 20 minutos, porém coletou apenas 9 garrafas. O evento teve duração de 5 horas e 31 minutos, um total precipitado de 15,750 mm e a vazão média de 3,37 L/s. O

tempo seco antecedente a este evento foi de 9 dias. Foi amostrado um volume 19814,6 litros de um volume total do evento de 66 867 litros.

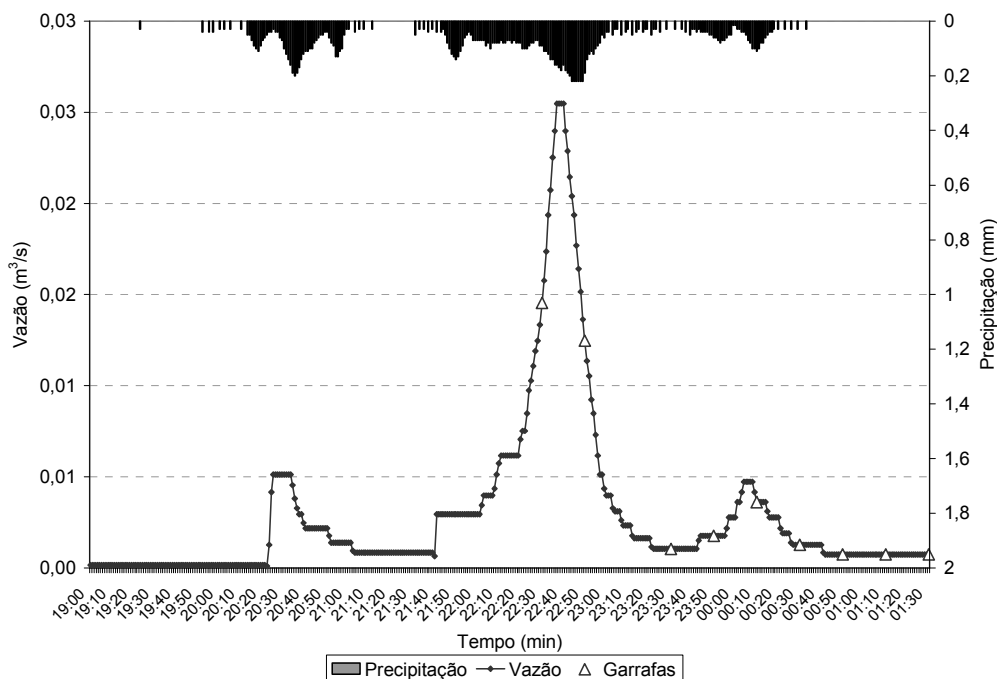


Figura 6. 32 – Hidrograma do evento ocorrido nos dias 13 e 14 de novembro de 2007.

#### 6.4.1 Avaliação da carga de poluição orgânica, de nutrientes e de metais pesados nas faixas granulométricas na microdrenagem

As amostras de sedimento ligado ao escoamento superficial, durante a precipitação, foram separadas em quatro faixas granulométricas ( $\leq 63\mu\text{m}$ , 63-250 $\mu\text{m}$ , 250-500 $\mu\text{m}$ ,  $> 500\mu\text{m}$ ). Para cada faixa granulométrica foram avaliadas as cargas de poluição orgânica, de nutrientes e de metais pesados, através da determinação das concentrações dos seguintes parâmetros: sólidos totais, sólidos suspensos, turbidez, demanda química de oxigênio, amônia, nitrito, nitrato, fosfato, sulfato, cloreto, fluoreto, cobre, níquel, zinco e chumbo. No apêndice C são mostrados os resultados destas análises.

A carga de poluição foi obtida através da multiplicação da concentração do parâmetro pelo volume amostrado e dividido pela área de contribuição da microdrenagem.

#### 6.4.2 Avaliação da carga de poluição orgânica

As figuras 6.33 e 6.34 apresentam as concentrações de sólidos totais e sólidos suspensos encontrados nas amostras do escoamento superficial nas três campanhas de amostragem.

A grande diferença de concentrações de sólidos totais e sólidos suspensos na segunda campanha em relação às concentrações encontradas na primeira e terceira campanha deu-se em razão a uma obra realizada na rede de microdrenagem e pela maior precipitação e elevada vazão média do evento, obtendo maior força para carrear os sedimentos para a rede de drenagem.

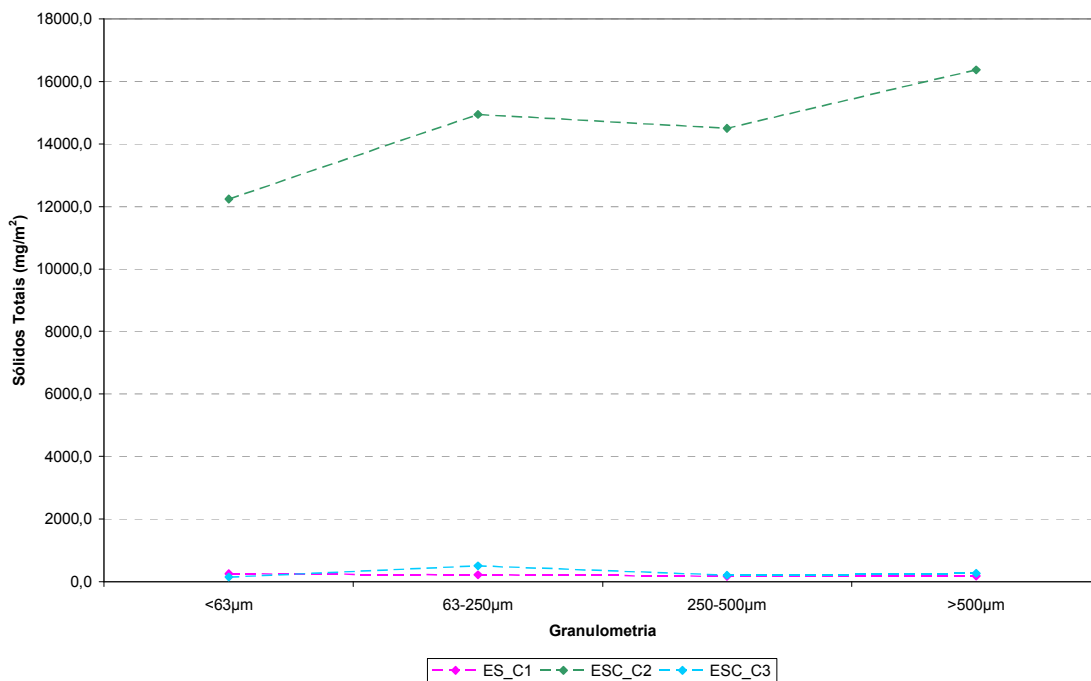


Figura 6. 33 – Carga de sólidos totais (ST) encontrada no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem.

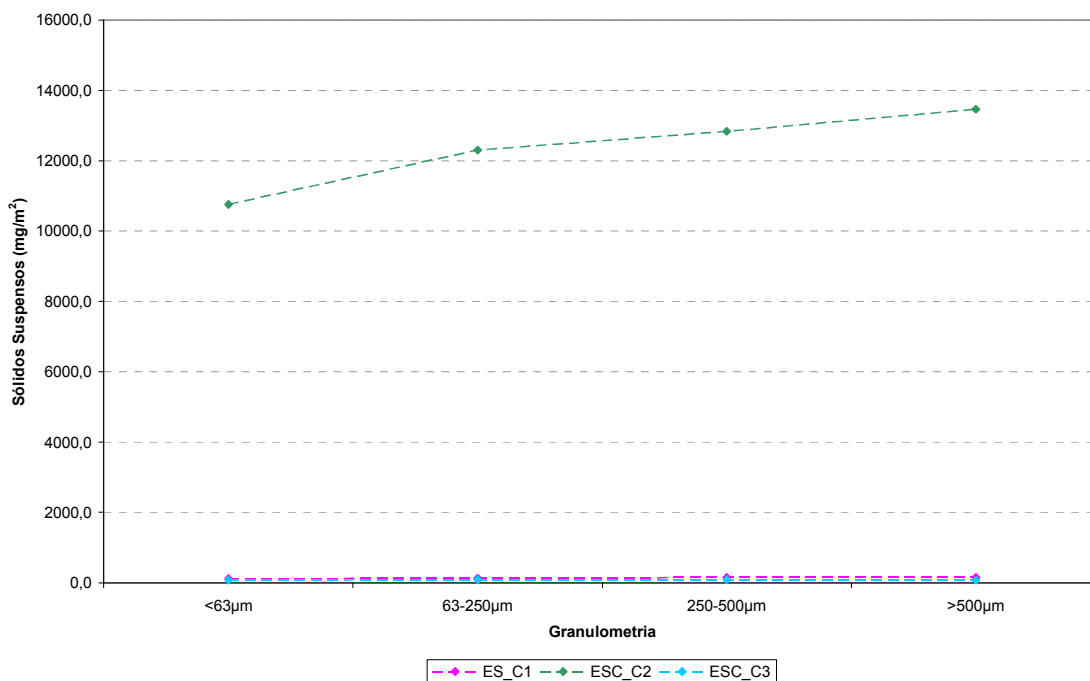


Figura 6. 34 – Carga de sólidos suspensos (SS) no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem.

As figuras 6.35 e 6.36 apresentam as cargas da demanda química de oxigênio e a turbidez encontradas nas amostras do escoamento superficial nas três campanhas de amostragem.

Como a turbidez é determinada pela concentração de sólidos suspensos, as amostras da segunda campanha obtiveram um alto valor de turbidez, como pode ser visto na figura 6.9. A DQO também sofreu a influência da concentração de sólidos.

Os sólidos totais, sólidos suspensos e DQO obtiveram menores cargas na granulometria menor que 63µm na maioria das campanhas, com exceção da primeira campanha para sólidos totais que obteve menor carga na faixa granulométrica de 250 - 500µm.

As maiores cargas de sólidos suspensos e DQO foram detectadas na granulometria maior que 500µm nas amostras da primeira e da segunda campanha e também na carga de sólidos totais da segunda campanha.

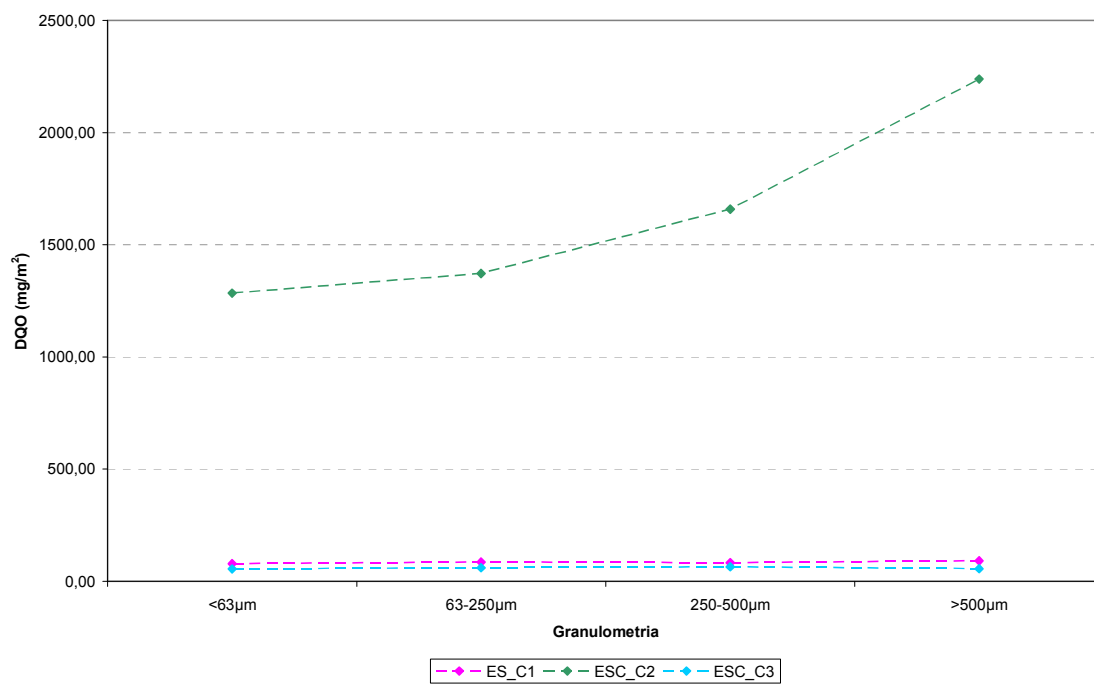


Figura 6. 35 – Carga de demanda química de oxigênio (DQO) no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem.

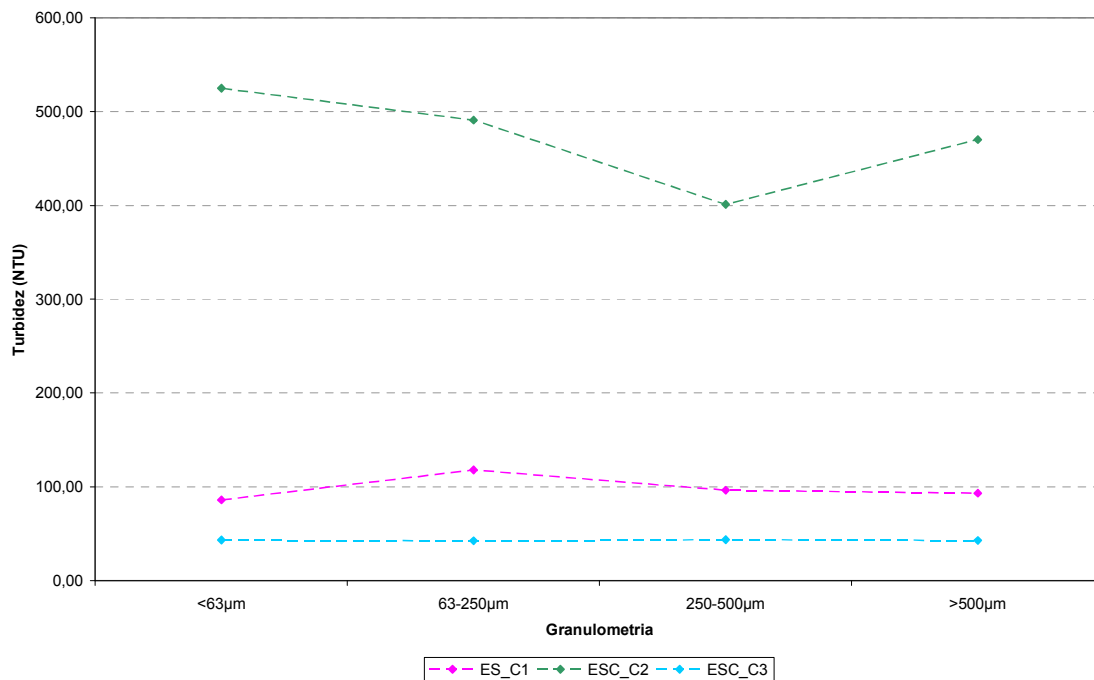


Figura 6. 36 – Turbidez encontrada no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem.

A tabela 6.7 mostra as concentrações de demanda química de oxigênio, turbidez, sólidos totais e sólidos suspensos para as quatro faixas granulométricas das amostras do escoamento pluvial (ES) coletadas na primeira campanha (C1), segunda campanha (C2) e terceira campanha (C3).

Tabela 6. 7 – Carga de DQO, sólidos totais e sólidos suspensos ( $\text{mg}/\text{m}^2$ ) e turbidez (NTU) nas 4 faixas granulométricas

	Granulometria	ES C1	ES C2	ES C3
DQO ( $\text{mg}/\text{m}^2$ )	>500 $\mu\text{m}$	91	2239	57
	500-250 $\mu\text{m}$	84	1659	66
	250-63 $\mu\text{m}$	86	1372	62
	<63 $\mu\text{m}$	79	1284	56
Turbidez (NTU)	>500 $\mu\text{m}$	93	470	43
	500-250 $\mu\text{m}$	96	401	44
	250-63 $\mu\text{m}$	118	491	43
	<63 $\mu\text{m}$	86	525	43
ST ( $\text{mg}/\text{m}^2$ )	>500 $\mu\text{m}$	182	16367	258
	500-250 $\mu\text{m}$	166	14506	208
	250-63 $\mu\text{m}$	219	14948	503
	<63 $\mu\text{m}$	252	12236	149
SS ( $\text{mg}/\text{m}^2$ )	>500 $\mu\text{m}$	154	13466	74
	500-250 $\mu\text{m}$	147	12835	81
	250-63 $\mu\text{m}$	127	12299	84
	<63 $\mu\text{m}$	118	10754	73

#### 6.4.3 Avaliação da carga de nutrientes

As figuras 6.37 a 6.42 ilustram as cargas de amônia, nitrato, fosfato, sulfato, cloreto e fluoreto detectados nas quatro faixas granulométricas das amostras do escoamento superficial nas três campanhas realizadas.

As amostras do escoamento superficial realizado na segunda campanha obtiveram maiores concentrações de nutrientes, isto pode ter ocorrido por causa da elevada carga de sólidos totais.

Não foi detectado fluoreto na terceira campanha de amostragem e nem fosfato nas amostras da primeira campanha.

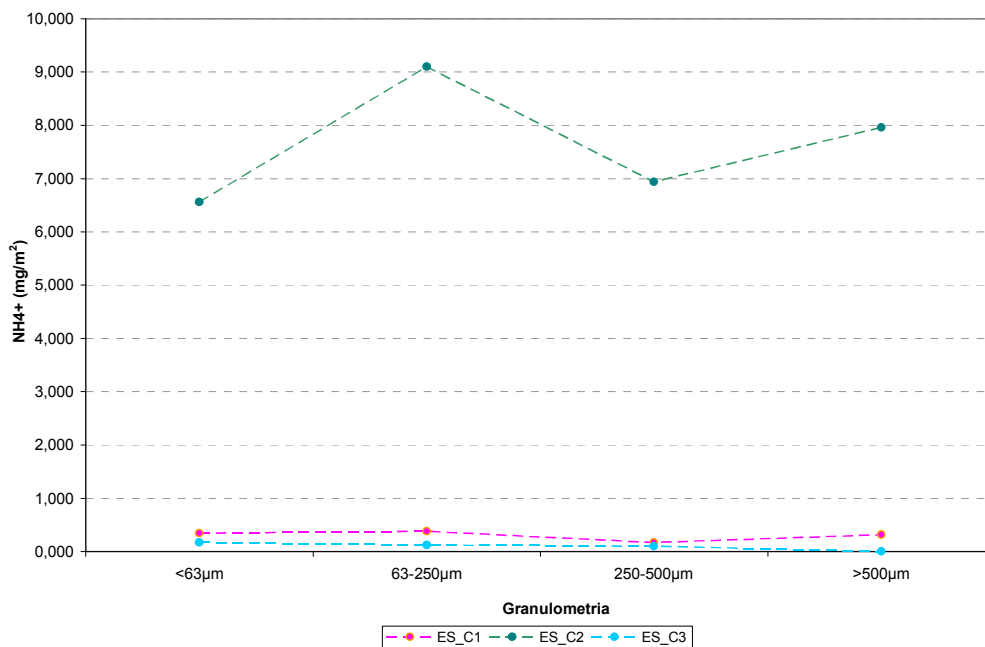


Figura 6. 37 – Carga de amônia ( $\text{NH}_4^+$ ) no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem.

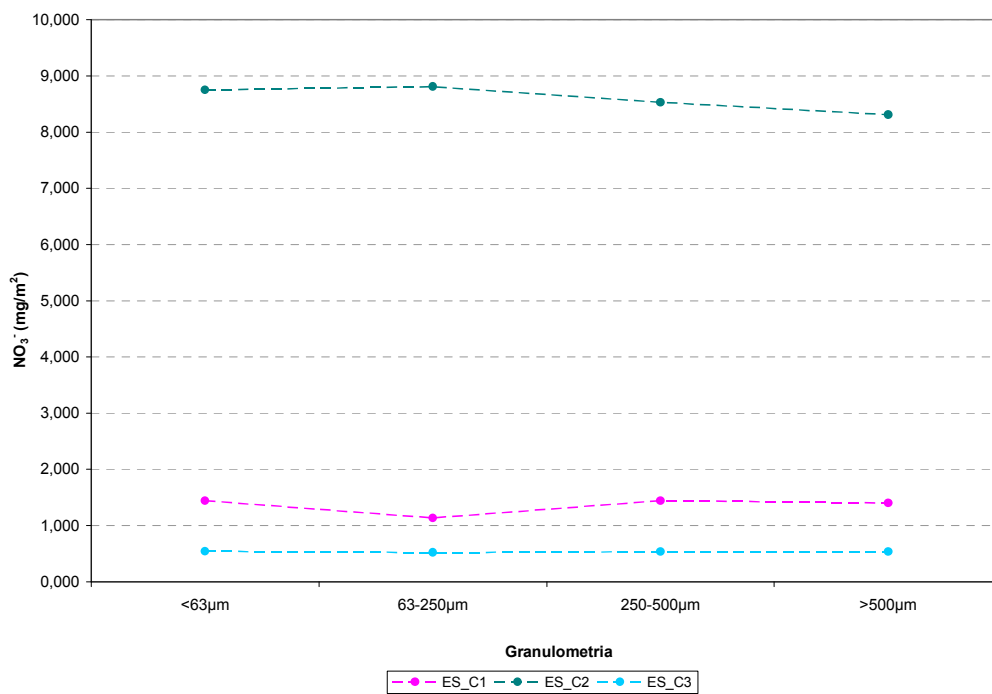


Figura 6. 38 – Carga nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem.

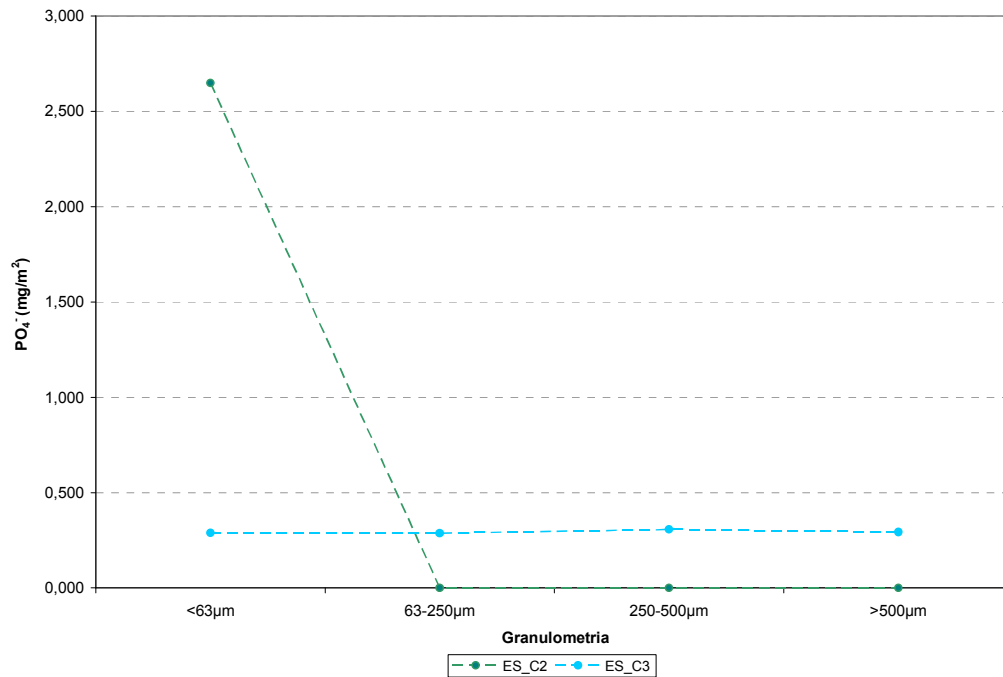


Figura 6. 39 – Carga de fosfato ( $PO_4^{3-}$ ) no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem.

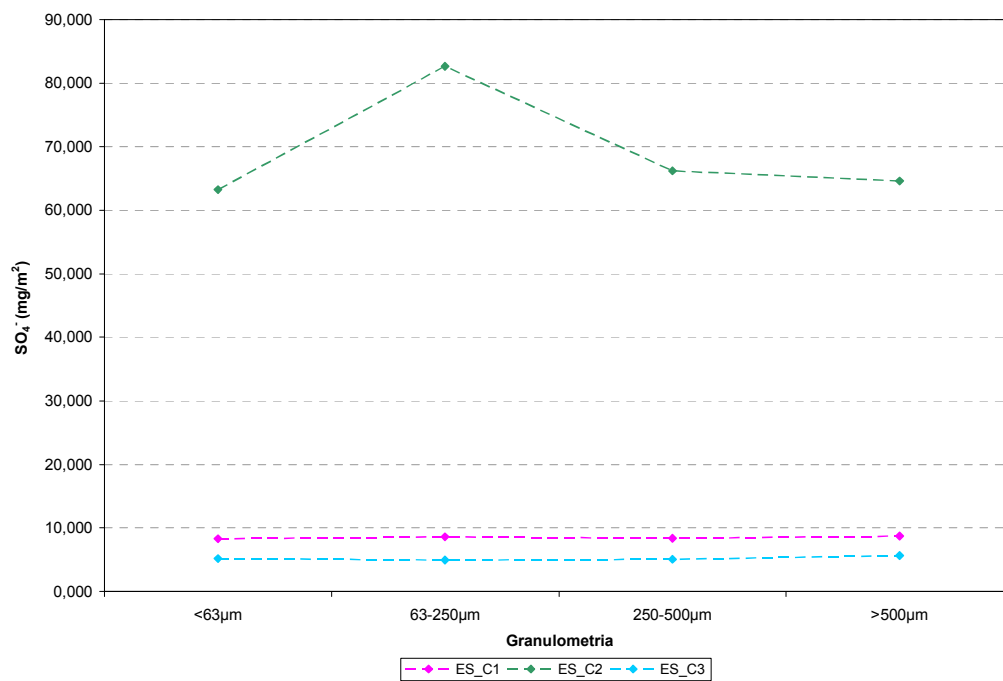


Figura 6. 40 – Carga sulfato ( $SO_4^{2-}$ ) no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem.



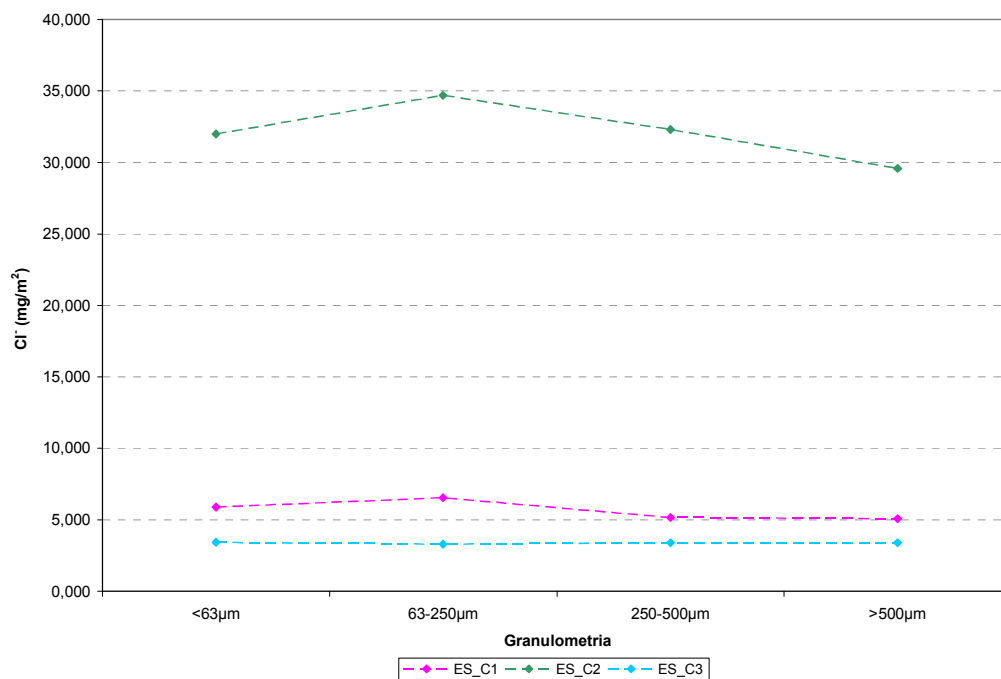


Figura 6. 41 – Carga de cloreto (Cl-) no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem.

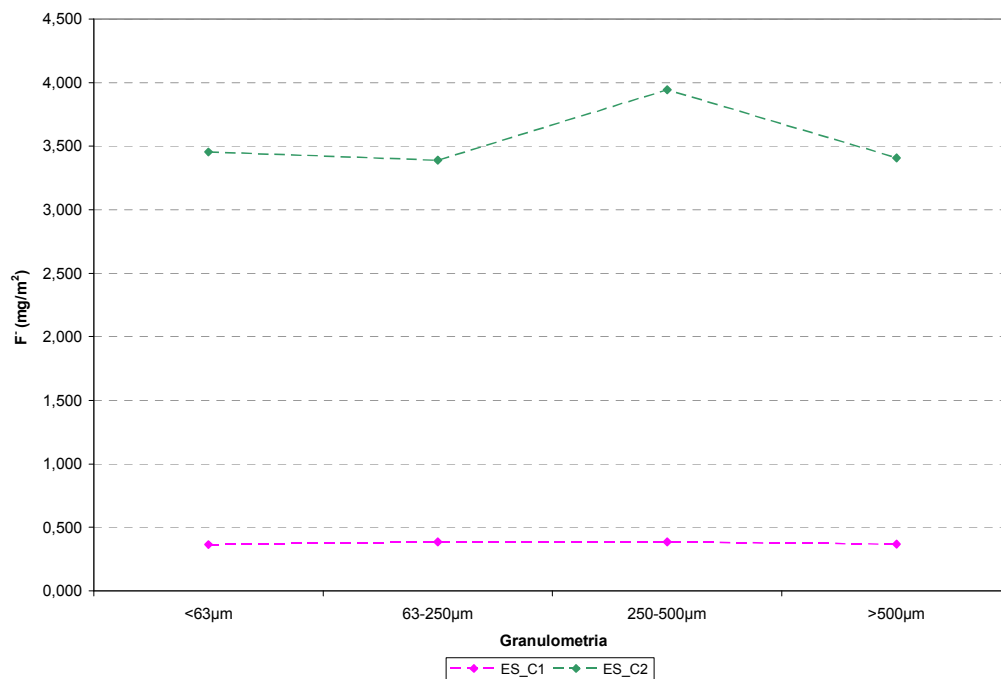


Figura 6. 42 – Carga de fluoreto (F-) no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem.

As cargas de nutrientes apresentaram pouca variabilidade nas diferentes faixas granulométricas analisadas, na primeira e na segunda campanha de amostragem.

A amônia e o sulfato apresentaram picos na faixa granulométrica de 63 – 250 $\mu$ m, comportamento semelhante ao obtido nas amostras de sedimento seco.

O fosfato, nas amostras de sedimento em suspensão, apresentou comportamento oposto aos da amostra de sedimento seco, ou seja, maior carga na granulometria menor que 63 $\mu$ m.

O cloreto obteve maior carga na faixa granulométrica de 63-250 $\mu$ m na primeira e na segunda campanha, já na terceira campanha apresentou maior carga na granulometria menor que 63 $\mu$ m, porém a variabilidade de carga foi pequena de uma granulometria para outra. O fluoreto apresentou maior carga na faixa granulométrica de 250 – 500 $\mu$ m.

A tabela 6.8 mostra as cargas de nutrientes determinadas para as quatro faixas granulométricas das amostras do escoamento pluvial (ES) coletadas na primeira campanha (C1), segunda campanha (C2) e terceira campanha (C3). As concentrações de nutrientes nas amostras, com exceção da amônia, não apresentaram grande variação entre suas faixas granulométricas.

Tabela 6. 8 – Carga de nutrientes (mg/m<sup>2</sup>) nas 4 faixas granulométricas

Nutrientes	Granulometria	Carga (mg/m <sup>2</sup> )		
		ES C1	ES C2	ES C3
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	>500µm	0,317	7,963	n.d
	500-250µm	0,168	6,938	0,101
	250-63µm	0,377	9,098	0,117
	<63µm	0,346	6,559	0,169
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	>500µm	1,405	8,310	0,536
	500-250µm	1,444	8,530	0,536
	250-63µm	1,136	8,814	0,522
	<63µm	1,444	8,751	0,544
PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	>500µm	n.d	n.d	0,293
	500-250µm	n.d	n.d	0,306
	250-63µm	n.d	n.d	0,286
	<63µm	n.d	2,649	0,289
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	>500µm	8,708	64,601	5,650
	500-250µm	8,363	66,162	5,091
	250-63µm	8,588	82,639	4,952
	<63µm	8,336	63,229	5,212
Cl <sup>-</sup>	>500µm	5,075	29,565	3,409
	500-250µm	5,164	32,308	3,411
	250-63µm	6,544	34,689	3,305
	<63µm	5,903	31,993	3,419
F <sup>-</sup>	>500µm	0,368	3,406	n.d
	500-250µm	0,385	3,942	n.d
	250-63µm	0,385	3,390	n.d
	<63µm	0,366	3,453	n.d

n.d. = não detectado, teor abaixo do limite de quantificação do método (LOD). LOD = 0,05 mg L<sup>-1</sup> para todos os parâmetros.

#### 6.4.4 Avaliação da carga de metais pesados

As figuras 6.43 a 6.46 ilustram as cargas de cobre, zinco, níquel e chumbo detectados nas quatro faixas granulométricas das amostras do escoamento superficial nas três campanhas realizadas.

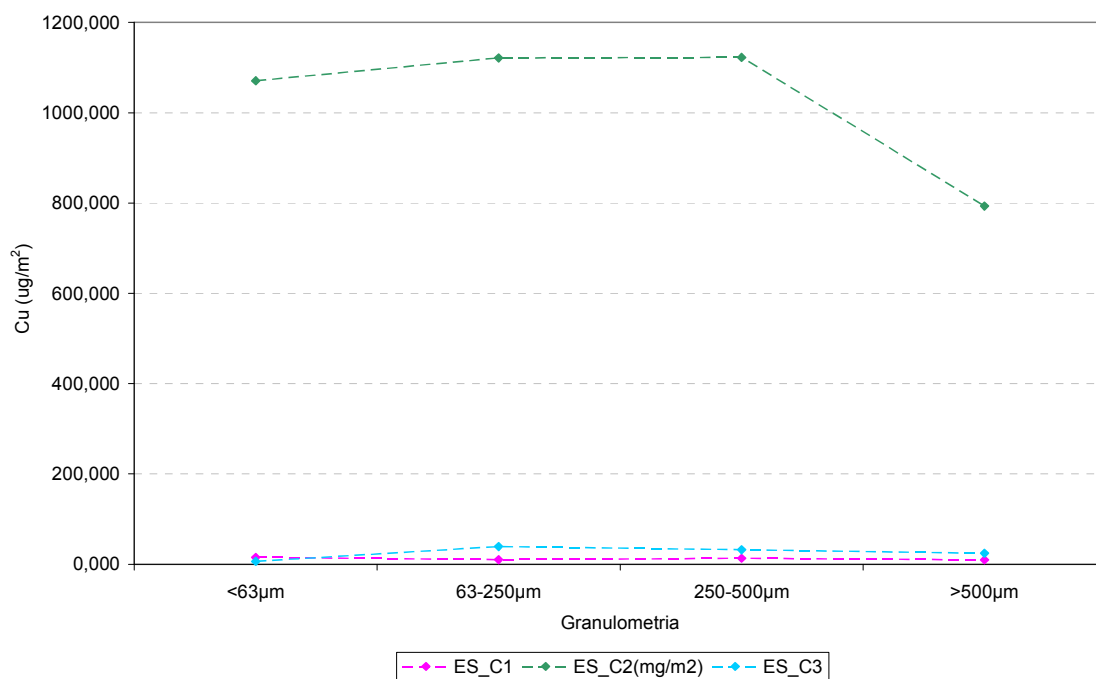


Figura 6. 43 – Carga de cobre (Cu) no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem.

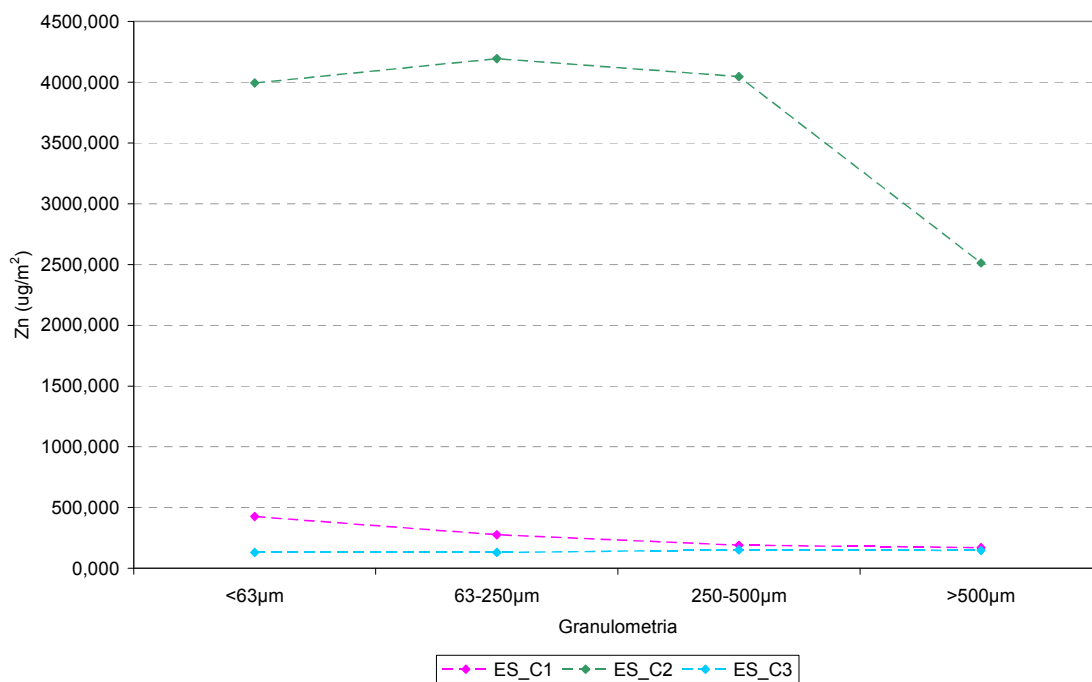


Figura 6. 44 – Carga de zinco (Zn) no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem.

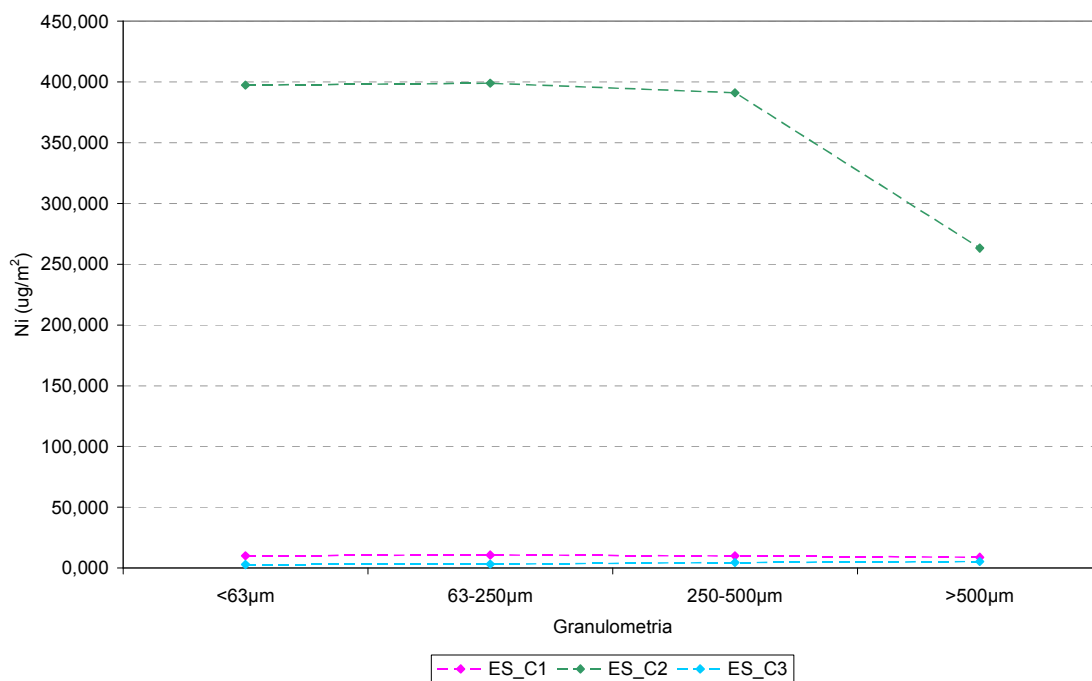


Figura 6. 45 – Carga de níquel (Ni) no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem.

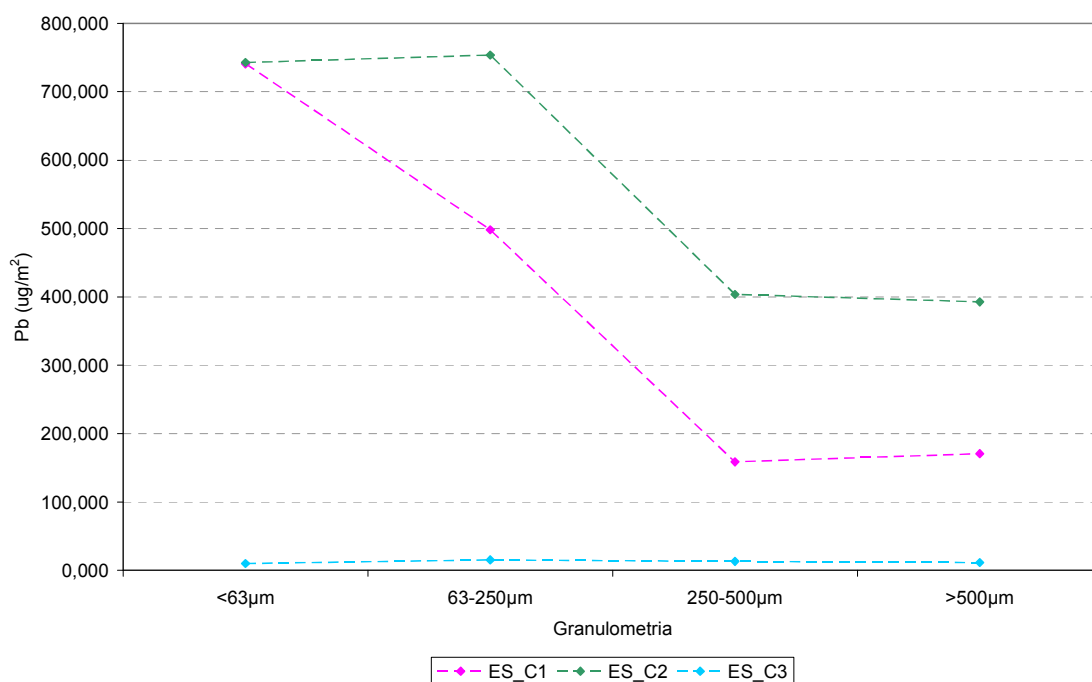


Figura 6. 46 – Carga de chumbo (Pb) no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem.

A tabela 6.9 mostra as concentrações de metais pesados encontrados nas quatro faixas granulométricas das amostras de escoamento superficial da primeira campanha (C1), segunda campanha (C2) e terceira campanha (C2).

Tabela 6. 9 – Carga de metais pesados ( $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ) nas 4 faixas granulométricas

Metais	Granulometria	Carga ( $\mu\text{g}/\text{m}^2$ )		
		ES C1	ES C2	ES C3
Cu	>500 $\mu\text{m}$	10,138	793,122	24,471
	500-250 $\mu\text{m}$	13,448	1122,670	32,408
	250-63 $\mu\text{m}$	10,552	1121,093	39,353
	<63 $\mu\text{m}$	15,310	1070,636	6,614
Zn	>500 $\mu\text{m}$	171,309	2511,817	148,316
	500-250 $\mu\text{m}$	190,964	4046,027	152,615
	250-63 $\mu\text{m}$	277,860	4194,245	130,293
	<63 $\mu\text{m}$	426,617	3993,993	131,120
Ni	>500 $\mu\text{m}$	8,896	263,323	5,456
	500-250 $\mu\text{m}$	9,931	391,042	4,630
	250-63 $\mu\text{m}$	10,759	398,926	3,307
	<63 $\mu\text{m}$	10,138	397,350	2,976
Pb	>500 $\mu\text{m}$	170,895	392,619	11,574
	500-250 $\mu\text{m}$	158,688	403,657	13,062
	250-63 $\mu\text{m}$	497,996	753,703	15,212
	<63 $\mu\text{m}$	740,890	742,665	10,252

As amostras do escoamento superficial na primeira campanha apresentaram maiores cargas de cobre, chumbo e zinco na granulometria menor que 63 $\mu\text{m}$ , comportamento oposto as amostras de sedimento seco, que apresentaram maiores carga de chumbo e zinco na faixa granulométrica de 250-63 $\mu\text{m}$ . Este comportamento se explica por que a carga de poluentes está correlacionada com a quantidade de sólidos encontrada nas amostras. A primeira campanha apresentou maior carga de sólidos totais na menor granulometria influenciando assim a carga de metais pesados.

As menores cargas de cobre, zinco e níquel foram obtidas na granulometria maior que 500 $\mu\text{m}$  nas amostras da primeira e da segunda campanha.

#### 6.4.5 Avaliação da concentração de metais pesados

As figuras 6.47 a 6.50 ilustram as concentrações (massa de metais pesados por massa de sedimento) de cobre, zinco, níquel e chumbo detectados nas quatro faixas granulométricas das amostras do escoamento superficial nas três campanhas realizadas.

As maiores concentrações de zinco, níquel e chumbo foram detectadas nas amostras da primeira campanha, mostrando que as concentrações de metais não possuem correlação com a carga de sólidos totais como pode-se notar nas cargas de nutrientes e metais pesados que, na sua maioria, apresenta valores maiores nas granulometrias que apresentam maior carga de sólidos.

Para o zinco e chumbo, as maiores concentrações foram obtidas nas amostras de granulometria menor que 63 $\mu$ m.

As concentrações de cobre e níquel não apresentaram comportamento semelhante aos outros metais pesados avaliados, as maiores concentrações foram detectadas na faixa granulométrica de 250-500 $\mu$ m.

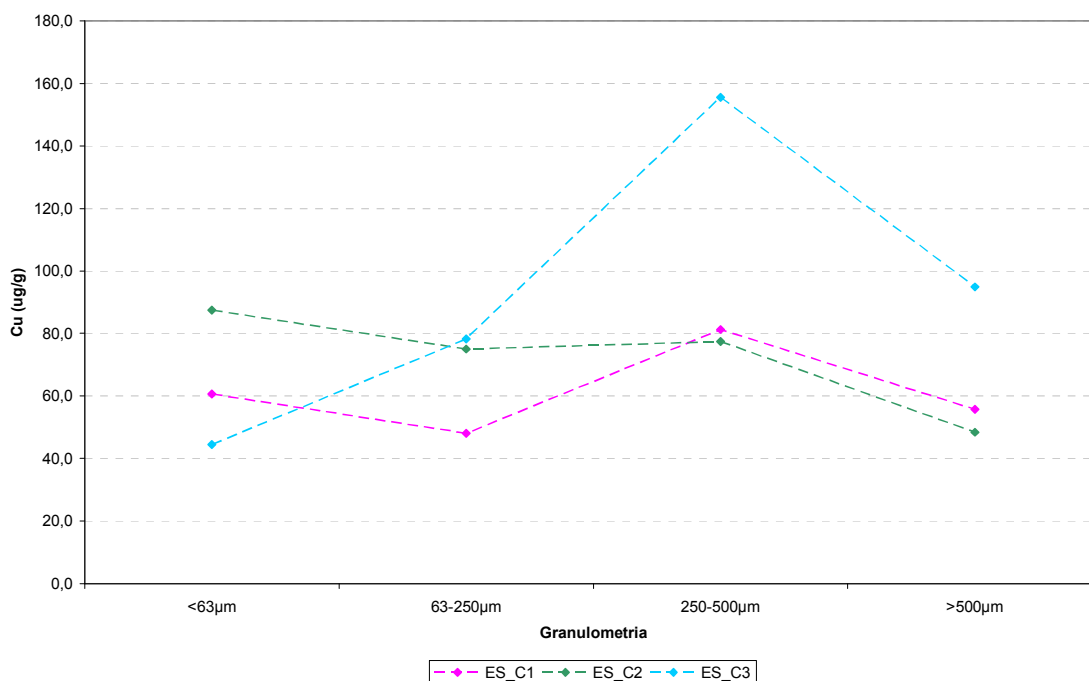


Figura 6. 47 – Concentração de cobre (Cu) no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem.

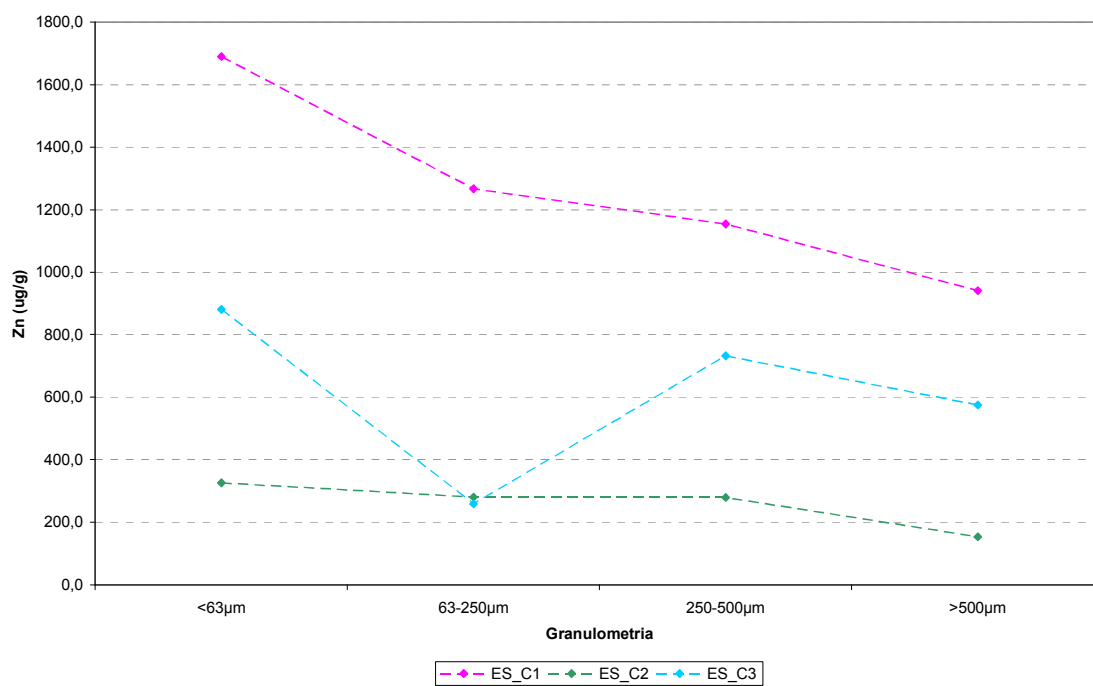


Figura 6. 48 – Concentração de zinco (Zn) no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem.

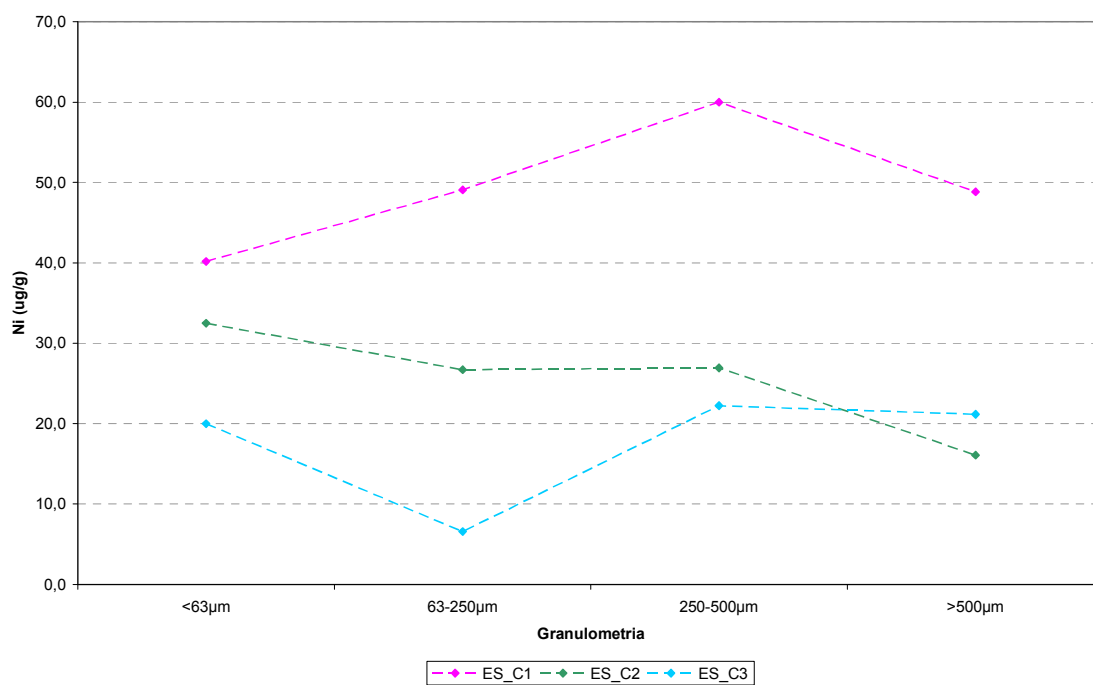


Figura 6. 49 – Concentração de níquel (Ni) no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem.



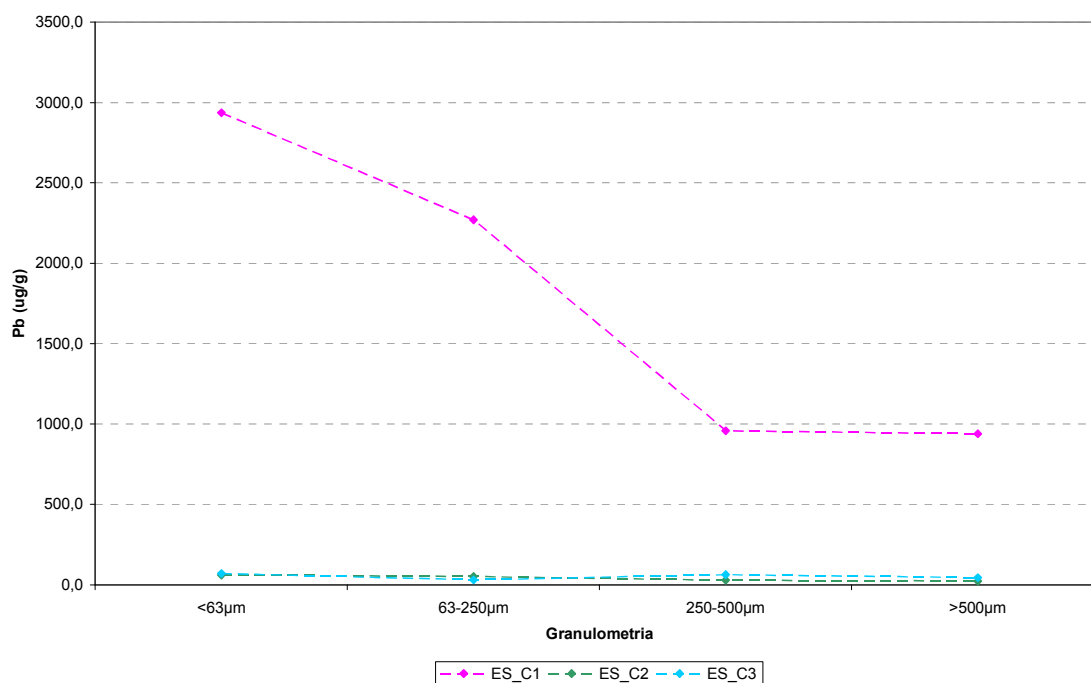


Figura 6. 50 – Concentração de chumbo (Pb) no escoamento superficial (ES) nas três campanhas de amostragem.

A tabela 6.10 mostra as concentrações de metais pesados encontrados nas quatro faixas granulométricas das amostras de escoamento superficial da primeira campanha (C1), segunda campanha (C2) e terceira campanha (C2).

Tabela 6. 10 – Concentrações de metais pesados ( $\mu\text{g/g}$ ) nas 4 faixas granulométricas

Metais	Granulometria	Concentrações ( $\mu\text{g/g}$ )		
		ES C1	ES C2	ES C3
Cu	>500 $\mu\text{m}$	55,682	48,459	94,872
	500-250 $\mu\text{m}$	81,250	77,391	155,556
	250-63 $\mu\text{m}$	48,113	75,000	78,289
	<63 $\mu\text{m}$	60,656	87,500	44,444
Zn	>500 $\mu\text{m}$	940,909	153,468	575,000
	500-250 $\mu\text{m}$	1153,750	278,913	732,540
	250-63 $\mu\text{m}$	1266,981	280,591	259,211
	<63 $\mu\text{m}$	1690,164	326,418	881,111
Ni	>500 $\mu\text{m}$	48,864	16,089	21,154
	500-250 $\mu\text{m}$	60,000	26,957	22,222
	250-63 $\mu\text{m}$	49,057	26,688	6,579
	<63 $\mu\text{m}$	40,164	32,474	20,000
Pb	>500 $\mu\text{m}$	938,636	23,988	44,872
	500-250 $\mu\text{m}$	958,750	27,826	62,698
	250-63 $\mu\text{m}$	2270,755	50,422	30,263
	<63 $\mu\text{m}$	2935,246	60,696	68,889

### 6.5 Estimativa da carga média anual de poluentes nas amostras secas e nas amostras do escoamento pluvial

Esta estimativa foi feita para comparar a quantidade de poluentes encontrada nas amostras de sedimento seco coletados na rua Marquês do Herval e a quantidade de poluentes encontrada nas amostras do escoamento pluvial proveniente da microdrenagem. Para a estimativa da carga média de poluentes por área e ano usou-se a equação (1) proposta por Push *et al.* (2007), que esta descrita no item 5.4.

Os dados de três campanhas de coletas não seriam suficientes para fazer esta estimativa, porém a variação da carga de sedimentos coletados na rua Marquês do Herval, 39 a 188  $\text{g/m}^2$ , está de acordo com estudos realizados anteriormente por Dotto (2006) e Gomes (2008) que acharam variação de 4 a 350  $\text{g/m}^2$  e 13 a 332  $\text{g/m}^2$  para esta mesma rua em períodos diferentes.

As figuras 6.51 e 6.52 ilustram a carga de nutrientes e a carga de metais pesados, respectivamente, para os poluentes encontrados na rua Marquês do Herval e das amostras do escoamento superficial.

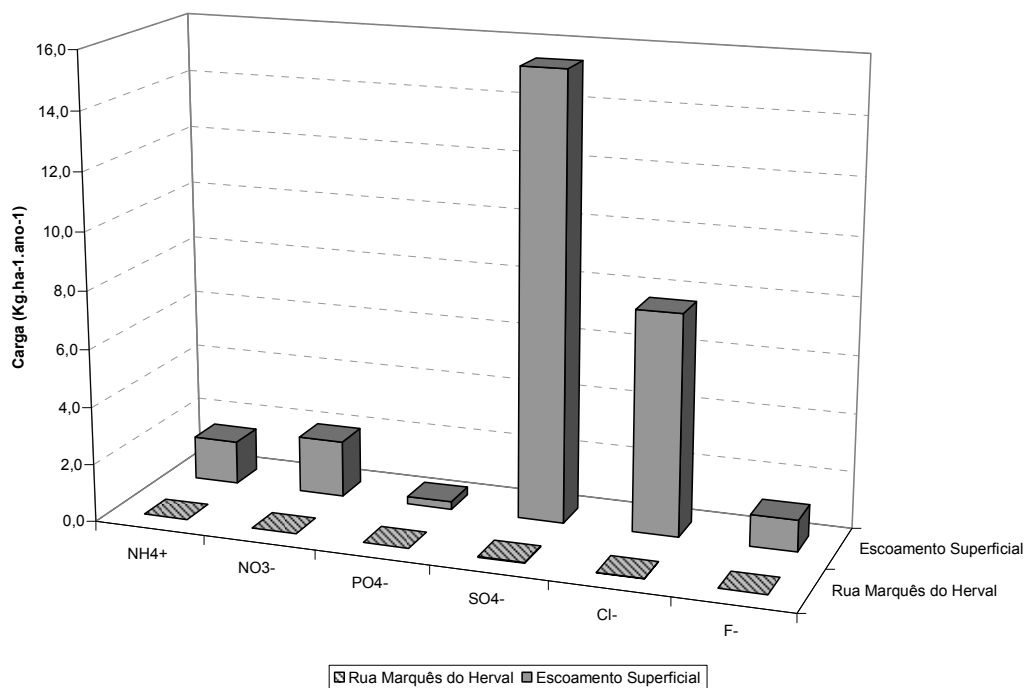


Figura 6. 51 – Carga anual nutrientes encontrados nos sedimentos coletados na rua Marquês do Herval e do sedimento em suspensão encontrado no escoamento superficial (ES).

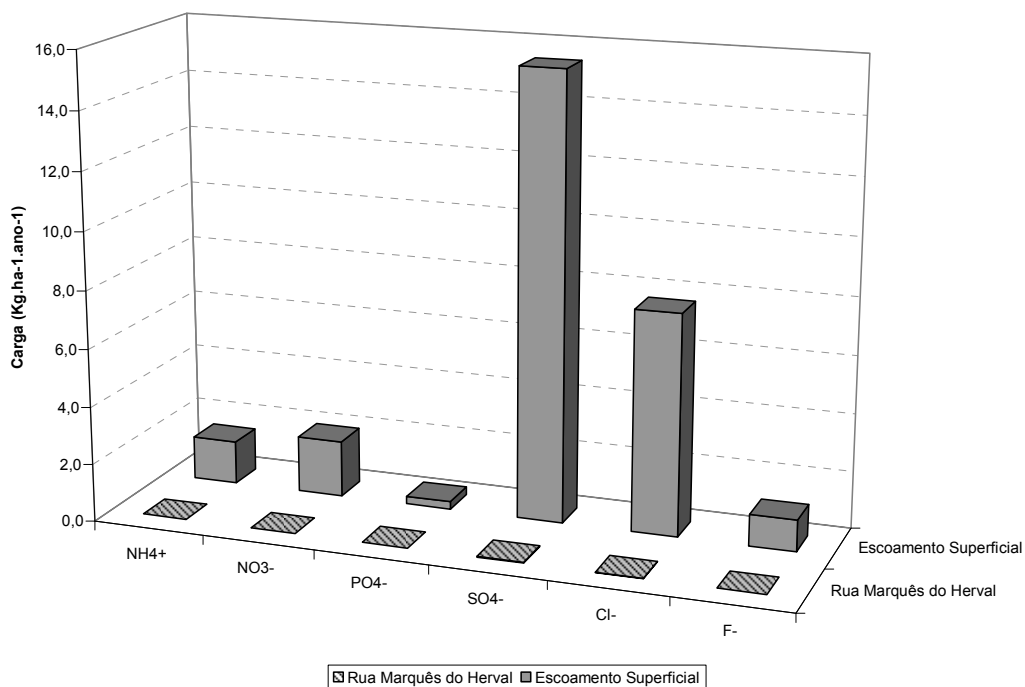


Figura 6. 52 – Carga anual de metais pesados encontrados nos sedimentos coletados na rua Marquês do Herval e do sedimento em suspensão encontrado no escoamento superficial (ES).

Pode-se notar que a carga média anual estimada para o escoamento superficial é bem maior do que a carga média anual estimada para o sedimento depositado na rua, sendo até 3400 vezes maior para nitrato e 1030 para chumbo. Os valores encontrados para a carga anual dos metais pesados encontrados na superfície de rua, para Cu, Pb e Zn de 0,000477, 0,000176 e 0,0015 são menores do que os encontrados por Push *et al.* (2007), que encontrou para Cu, Pb e Zn valores de 0,106, 0,128 e 3,34 Kg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, respectivamente.

A tabela 6.11 mostra a carga média anual estimada para o sedimento depositado na rua Marquês do Herval (M.H) e também para o escoamento superficial (ES).

Tabela 6. 11 – Carga média anual de poluentes estimada para rua Marquês do Herval (MH) e para o escoamento superficial (ES)

Parâmetro	Carga (Kg.ha-1.ano-1)	
	M.H	ES
Cu	4,77E-04	1,98E-01
Zn	1,50E-03	7,62E-01
Ni	4,75E-05	7,01E-02
Pb	1,76E-04	1,82E-01
DQO	5,78E-01	3,32E+02
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	2,87E-03	1,50E+00
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	5,71E-04	1,95E+00
PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	3,50E-03	2,67E-01
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	3,12E-02	1,54E+01
Cl <sup>-</sup>	1,08E-02	7,66E+00
F <sup>-</sup>	5,34E-04	1,09E+00

É difícil dizer que os poluentes encontrados no escoamento superficial sejam provenientes somente do material depositado na rua Marquês do Herval uma vez que o escoamento superficial carrega poluentes provenientes de ruas adjacentes e também pelo fato de que há ligações clandestinas de esgoto doméstico na canalização pluvial.

Os valores encontrados para metais pesados são significativos uma vez em que esses elementos não são biodegradáveis, além de serem bioacumulativos.

A tabela 6.12 apresenta o resumo das cargas médias de poluentes encontrados nas ruas Rigoberto Duarte e Marquês do Herval nas três campanhas de amostragem e também as cargas médias de poluentes encontrados nas amostras do escoamento superficial proveniente da microdrenagem nos três eventos amostrados.

Tabela 6. 12 – Resumo das cargas dos poluentes encontrados nos sedimentos secos das ruas Rigoberto Duarte (RD) e Marquês do Herval (MH) e das amostras do escoamento superficial (ES)

Granulometria Parâmetros Unidade	<63µm			63-250µm			250-500µm			>500µm		
	R.D.	M.H.	E.S.	R.D.	M.H.	E.S.	R.D.	M.H.	E.S.	R.D.	M.H.	E.S.
sedimento	g/m <sup>2</sup>	2,41	2,16	17,96	20,98	5,22	20,24	33,49	4,96	26,48	26,37	5,60
ST	g/m <sup>2</sup>					4,21			4,96			5,60
SS	g/m <sup>2</sup>					3,65			4,35			4,56
Turbidez	NTU					218			180			201
DQO	mg/m <sup>2</sup>	9,	5	35	24	473	37	31	603	53	36	796
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/m <sup>2</sup>	0,103	0,052	0,507	0,278	2,358	0,276	0,267	2,402	0,137	0,062	2,760
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/m <sup>2</sup>	0,021	0,015	0,019	0,036	3,580	0,000	0,000	3,503	0,000	0,000	3,417
PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	mg/m <sup>2</sup>	0,030	0,023	0,000	0,140	1,469	0,000	0,240	0,153	0,000	0,875	0,146
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	mg/m <sup>2</sup>	2,111	0,497	6,020	2,247	25,592	5,516	2,015	26,539	5,807	2,111	26,320
Cl <sup>-</sup>	mg/m <sup>2</sup>	0,313	0,129	1,083	0,617	13,772	0,815	0,826	13,628	1,615	1,487	12,683
F <sup>-</sup>	mg/m <sup>2</sup>	0,038	0,017	0,079	0,044	1,910	0,092	0,000	2,163	0,156	0,000	1,887
Cu	µg/m <sup>2</sup>	8,82	9,37	12,03	29,21	364,19	15,62	29,21	389,51	21,72	23,43	275,91
Zn	µg/m <sup>2</sup>	13,80	21,78	44,04	137,60	1517,24	45,72	116,66	1463,20	57,15	100,94	943,81
Ni	µg/m <sup>2</sup>	0,95	0,74	1,71	3,64	136,82	3,12	3,57	135,20	2,61	3,30	92,56
Pb	µg/m <sup>2</sup>	2,97	3,32	4,40	12,34	497,94	4,38	10,16	191,80	2,45	10,02	191,70

## 7 CONCLUSÕES

Esta pesquisa teve como objetivo quantificar os poluentes ligados aos diversos tamanhos de sedimentos em superfícies impermeáveis em três campanhas de amostragem. Foram realizadas coletas de sedimento seco nas ruas Marquês do Herval e Rigoberto Duarte, ambas localizadas na bacia do arroio Cancela, no município de Santa Maria-RS; e monitoramento hidrossedimentológico na saída da canalização da rua Marquês do Herval. O enfoque foi a quantificação e a comparação dos poluentes encontrados nos sedimentos secos de ruas com intensidade de urbanização semelhante, porém com intensidade de tráfego e declividades diferentes, a avaliação da carga de poluentes agregado ao sedimento proveniente da microdrenagem.

Os trabalhos de campo e laboratório ocorreram durante o período de julho a novembro de 2007. As coletas de sedimento na sarjeta foram realizadas durante três períodos distintos de amostragem com duração média de 9 dias. As coletas de amostras do escoamento superficial urbano ocorreram durante três eventos de precipitação.

A rua Marquês do Herval apresentou uma maior carga de sedimentos e maior quantidade de material fino comparado com a rua Rigoberto Duarte, isto pode ser devido a rua Marquês do Herval possuir uma menor inclinação embora com menor fluxo médio de veículos, 1630 veículos por dia em relação a rua Rigoberto Duarte que apresentou fluxo médio de 2533 veículos por dia.

A distância, de aproximadamente 10 km, da estação meteorológica da área de monitoramento e a altura da observação, 10 metros, dificulta a análise da influência da velocidade do vento na distribuição de sedimentos nas ruas.

As amostras de sedimento seco dos dias anteriores à precipitação, assim como as amostras coletadas durante a precipitação, foram separadas em quatro faixas granulométricas ( $\leq 63\mu\text{m}$ ,  $63\text{-}250\mu\text{m}$ ,  $250\text{-}500\mu\text{m}$ ,  $> 500\mu\text{m}$ ). Para cada faixa granulométrica foi avaliada a carga de poluição orgânica, de nutrientes e de metais pesados, através da determinação das concentrações dos seguintes parâmetros: demanda química de oxigênio, amônia, nitrito, nitrato, fosfato, sulfato, cloreto, fluoreto, cobre, níquel, zinco e chumbo.

A rua Marquês do Herval apresentou maior carga de sedimento na faixa granulométrica de 500-250 $\mu$ m em todas as campanhas. A granulometria menor que 63 $\mu$ m representa em média 2,6% da carga total de sedimentos para a rua Marquês do Herval e 3,5% para a rua Rigoberto Duarte. A granulometria maior que 250 $\mu$ m representa em média 70% da carga de sedimentos em ambas as ruas.

Nas amostras de sedimento seco, as maiores cargas de DQO, sulfato, fosfato e cloreto foram encontradas na granulometria maior que 500 $\mu$ m. A amônia e o nitrato, chumbo e zinco estão associados a faixa granulométrica de 63-250 $\mu$ m.

As amostras de sedimento seco coletados na rua Marquês do Herval apresentaram maior carga de cobre, zinco e chumbo em todas as campanhas.

As concentrações de metais pesados apresentaram o mesmo comportamento, isto é, maiores concentrações na granulometria menor que 63 $\mu$ m, comprovando estudos realizados por Deletic e Orr (2005) e Egitawatta e Goonetilleke (2006) que constataram que os metais aderem-se as menores partículas.

As amostras coletadas no escoamento superficial, apresentaram grandes diferenças de cargas de sólidos totais e sólidos suspensos na segunda campanha em relação às cargas encontradas na primeira e terceira campanha, isto aconteceu em razão a uma obra realizada na rede de microdrenagem e também pela precipitação e vazão média do evento serem mais elevadas, obtendo maior força para carrear os sedimentos para a rede de drenagem.

As cargas de nutrientes apresentaram pouca variabilidade nas diferentes faixas granulométricas analisadas, na primeira e na segunda campanha de amostragem do escoamento superficial. A amônia e o sulfato apresentaram picos na faixa granulométrica de 63-250 $\mu$ m, comportamento semelhante ao obtido nas amostras de sedimento seco.

As maiores concentrações de zinco, níquel e chumbo foram detectadas nas amostras da primeira campanha, mostrando que as concentrações de metais não possuem correlação com a carga de sólidos totais como pode-se notar com os nutrientes, apresentaram valores maiores nas granulometrias que apresentam maior carga de sólidos.

Foram estimadas cargas de poluentes para comparar a quantidade de poluentes encontrada nas amostras de sedimento seco coletados na rua Marquês do Herval e a quantidade de poluentes encontradas nas amostras do escoamento



pluvial proveniente da microdrenagem. Constatou-se que a carga média anual estimada para o escoamento superficial é bem maior do que a carga média anual estimada para o sedimento depositado na rua, porém é difícil dizer que os poluentes encontrados no escoamento superficial sejam provenientes somente do material depositado na rua Marquês do Herval uma vez que o escoamento superficial carrega poluentes provenientes de ruas adjacentes e também pelo fato de que há ligações clandestinas de esgoto doméstico na canalização pluvial.

As cargas médias anual de metais pesados estimado para os sedimentos secos são significativas uma vez em que esses elementos não são biodegradáveis, além de serem bioacumulativos.

A presente pesquisa é uma ferramenta importante para o conhecimento da quantidade de poluentes ligada aos diversos tamanhos dos sedimentos, para que o projeto de estruturas de tratamento possa remover a maioria dos tamanhos dos sedimentos poluídos.

No presente trabalho foram realizadas três campanhas com três eventos distintos. Recomenda-se para trabalhos futuros a realização de mais campanhas ao longo de todo o ano, para a verificação da influência das estações do ano no acúmulo de poluentes em superfícies impermeáveis e transporte desses para o sistema de drenagem urbana.

## REFERÊNCIAS

ADACHI, K.; TAINOSHO, Y. Single particle characterization of size-fractionated road sediments. **Applied Geochemistry**. v. 20. p. 849-859, 2005.

APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20a ed. **Public Health Association Inc.**, New York, 1998.

BRITES, A. P. Z.; GASTALDINI, M. C. C. Avaliação da Carga Difusa da Drenagem Pluvial Urbana na Bacia Hidrográfica Cancela. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. Rio de Janeiro: ABES. 2005. v. 1, p. 1-8.

BUTLER, D.; THEDCHANAMOORTHY, S.; PAYNE, J.A. Aspects of surface sediment characteristics on an urban catchment in London. *Water Science Technology*.v. 25, n. 8, p. 13-19, 1992.

CARVALHO, N.O. Guia de praticas sedimentométricas. Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de estudos e informações hidrológicas, p. 154, 2000.

CETESB. <[www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis](http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis)>. Acesso: 05 dez. 2007

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA (Brasil). Ministério do Meio Ambiente. Resolução n. 375, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2007.

DELETIC, A.; ASHLEY, R.; REST, D. Modelling input of fine granular sediment into drainage systems via gully-pots. *Water Research*. v. 34, n. 15, p. 3836-3844, 2000.

DELETIC, A.; ORR, D. W. Pollution buildup on road surfaces. *Journal of Environmental Engineering- ASCE*. v.131, n.1, p.391-396, 2005.

DOTTO, C. B. S. **Acumulação e balanço de sedimentos em superfícies asfálticas em área urbana de Santa Maria – RS**. 2006. 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

DOTTO, C. B. S.; PAIVA, E. M. C. D.; SILVA, L. F. Acumulação e balanço de sedimentos em superfícies asfálticas em área urbana de Santa Maria – RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.12, p. 1-11, 2007.

EGODAWATA, P.; GOONETILLEKE, A. Characteristics off pollutants built-up on residential road surface. In: **Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on HydroScience and Engineering**, Philadelphia, USA, 2006.

ELLIS, J. B.; REVITT, D. M. Incidence of heavy metals in street surface sediments: solubility and grain size studies. **Water, Air and Soil Pollution**. v. 17, p.87-100, 1982.

FERRARI, C. **Curso de planejamento municipal integrado**. 7. Ed. São Paulo: Pioneira, 1991.

GOMES, V. M.; CAMPANA, N. A.; BERNARDES, R. S. Aspectos relativos a concentração média do evento - CME de poluentes encontrados em água de drenagem pluvial em área urbana. 2004

GOMES, A. P. **Acumulação e transporte de sedimentos na microdrenagem: monitoramento e modelagem**. 2008. 146f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

GROMAIRE-MERTZ, M. C.; GARNAUD, S.; GONZALES, A.; CHEBBO, G. Characterisation of urban runoff pollution in Paris. **Elsevier Science**. v. 39,2, p.1-8, 1999.

MACIEL, H. M. Comunicação pessoal em 15 de dez. 2007.

MENEZES, F. L.; ROSSO, T. C. A. Avaliação da qualidade de águas de drenagem urbana correlacionada aos poluentes originados pelo tráfego de veículos automotores. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. 2007.

MUTHUKARUPPAN, M.; CHIEW, F. H. S.; WONG, T. (2002) Size distribution and partitioning of urban pollutants. **Global Solutions for Urban Drainage**, 2002. (CD-ROM).

PAZ, M. F.; GASTALDINI, M. C. C.; JORGE, M. P. Avaliação da qualidade do escoamento superficial da bacia alto da colina. In: XI SILUBESA – SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA, 11., 2004, Natal. 2004.

PHILIPPI, A. JR; ROMERO M. A.; BRUNA, G. C. **Curso de gestão ambiental**. Barueri: Manole, 2004.

PHILIPPI, A. JR; MALHEIROS, T. F. Controle de qualidade do ar. In: PHILIPPI, A. JR. **Saneamento, saúde e ambiente**: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri: Manole, 2005.

POLETO, C; MERTEN, G. H. Urban street pollutants. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DIFFUSE POLLUTION, 11<sup>th</sup>., 2007, Belo Horizonte. 2007.

POLETO, C; CASTILHOS, Z. C. Impacto por poluição difusa de sedimentos em bacias urbanas. In: POLETO, C. **Ambiente e sedimento**. Porto Alegre: ABRH, 2008. p 192-227.

PORTO, M. F. A. Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. **Drenagem urbana**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ABRH, 1995. v. 5, p. 387-414.

PUSH, P. B.; GUIMARÃES, J. R.; GRASSI, M. T. Estimativa de cargas de metais a partir de fontes difusas de poluição urbana. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. 2007.

REVITT, D. M.; ELLIS, J. B. Rain water leachates of heavy metals in road surface sediments. **Water Resources Research**. v. 14, p.1403-1407, 1980.

SILVA, A. L. **A utilização do modelo WinHSPF no estudo das cargas difusas de poluição da Bacia Ribeirão da Estiva**. 2003. 179f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 452 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 1).

TUCCI, C. E. M.; COLLISCHONN, W. Drenagem urbana e controle de erosão. In: VI SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 6., 1998, Presidente Prudente. 1998. Disponível em :<[www.iph.ufrgs.br/corpodocente/tucci/publicacoes/SED.PDF](http://www.iph.ufrgs.br/corpodocente/tucci/publicacoes/SED.PDF)>. Acesso em: 18 nov. 2008.

TUCCI, C. E. M. Inundações urbanas. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. **Drenagem urbana**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ABRH, 1995. v.5, p.15-36.

TUCCI, C. E. M. Impactos da urbanização. In: TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas**. Porto Alegre: Ed. ABRH/RHAMA, 2007. p.104-121.

VAZE, J.; CHIEW, F. H. S. Experimental study of pollutant accumulation on an urban road surface. **Urban Water**, v. 4, n. 4, p. 379-389, 2002.

VAZE, J.; CHIEW, F. H. S. Study of pollutant washoff from small impervious experimental plots. **Water Resources Research**., v. 39, n. 6, 2003.

VAZE, J.; CHIEW, F. H. S. Nutrient loads associated with different sediments sizes in urban stormwater and surface pollutants. **Journal of Environmental Engineering-ASCE**, v. 130, n. 4, p.391-396, 2004.

VIEIRA, A. R.; OLIVEIRA, R. M.; MATOS, J. S.; BARBOSA, A.E. Controlo da Poluição de Escorrências Pluviais de Vias Rápidas em Portugal. In: CONGRESSO DA ÁGUA, 6., 2002, Porto. Porto: APRH, 2002.

## **APÊNDICES**

**APÊNDICE A – DETALHAMENTO DA CONTAGEM DE VEÍCULOS**  
 Tabela A1 – Planilha de detalhamento do tráfego – Rua Marquês do Herval – 17/04/2007

Período	Veículos					
	carros	ônibus	caminhão	moto	bicicleta	veíc. equiv.
07:00-07:15	9	1	0	1	1	13,08
07:15-07:30	49	0	0	2	0	50,5
07:30-07:45	52	0	0	10	1	59,83
07:45-08:00	25	0	1	9	3	34,49
08:00-08:15	24	0	0	13	2	34,41
08:15-08:30	26	1	0	6	1	33,83
08:30-08:45	35	0	0	5	0	38,75
08:45-09:00	19	0	0	9	2	26,41
09:00-09:15	19	0	0	12	0	28
09:15-09:30	13	0	0	6	0	17,5
09:30-09:45	20	0	0	7	1	25,58
09:45-10:00	21	0	2	9	1	31,58
10:00-10:15	23	0	2	15	0	37,75
10:15-10:30	34	0	2	15	1	49,08
10:30-10:45	20	0	0	16	0	32
10:45-11:00	26	0	0	15	1	37,58
11:00-11:15	30	0	1	17	1	44,83
11:15-11:30	13	0	1	4	0	17,75
11:30-11:45	17	0	0	11	0	25,25
11:45-12:00	40	0	1	12	0	50,75
12:00-12:15	32	0	1	11	2	42,66
12:15-12:30	25	0	1	8	0	32,75
12:30-12:45	8	0	0	6	1	12,83
12:45-13:00	20	0	2	8	0	29,5
13:00-13:15	40	0	0	6	0	44,5
13:15-13:30	67	0	0	12	0	76
13:30-13:45	30	0	1	14	3	43,24
13:45-14:00	33	0	0	12	1	42,33
14:00-14:15	22	0	1	14	2	34,91
14:15-14:30	31	0	0	15	0	42,25
14:30-14:45	23	0	2	9	0	33,25
14:45-15:00	19	0	2	10	1	30,33
15:00-15:15	29	0	0	10	1	36,83
15:15-15:30	26	0	1	13	0	37,5
15:30-15:45	19	0	1	7	2	26,66
15:45-16:00	24	0	0	13	0	33,75
16:00-16:15	31	0	2	9	0	41,25
16:15-16:30	24	0	0	8	1	30,33
16:30-16:45	24	0	0	9	1	31,08
16:45-17:00	34	0	0	17	5	48,4
17:00-17:15	20	0	1	18	0	35,25
17:15-17:30	50	0	0	21	3	66,74
17:30-17:45	65	0	1	10	3	75,24
17:45-18:00	40	0	0	13	7	52,06
18:00-18:15	29	0	0	12	3	38,99
18:15-18:30	41	0	0	7	0	46,25
18:30-18:45	45	0	0	11	0	53,25
18:45-19:00	10	0	0	7	0	15,25
					<b>Total</b>	<b>1822,33</b>

Tabela A2 – Planilha de detalhamento do tráfego – Rua Marquês do Herval – 18/04/2007

Período	Veículos					
	carros	ônibus	caminhão	moto	bicicleta	veíc. equiv.
07:00-07:15	18	0	0	3	1	20,58
07:15-07:30	31	0	0	3	0	33,25
07:30-07:45	54	0	0	6	0	58,5
07:45-08:00	37	0	0	7	0	42,25
08:00-08:15	22	0	0	7	0	27,25
08:15-08:30	21	0	0	11	0	29,25
08:30-08:45	19	0	0	10	5	28,15
08:45-09:00	13	0	0	0	2	13,66
09:00-09:15	29	0	1	5	0	34,5
09:15-09:30	35	0	2	8	1	44,83
09:30-09:45	22	0	2	6	0	30
09:45-10:00	19	0	0	13	1	29,08
10:00-10:15	21	0	2	7	6	31,73
10:15-10:30	25	0	1	10	2	34,91
10:30-10:45	28	0	2	14	2	42,66
10:45-11:00	25	0	1	14	2	37,91
11:00-11:15	39	0	1	7	1	46,33
11:15-11:30	28	0	0	12	1	37,33
11:30-11:45	27	0	0	13	0	36,75
11:45-12:00	34	0	4	15	2	52,91
12:00-12:15	40	0	2	10	2	51,66
12:15-12:30	24	1	0	2	0	28,5
12:30-12:45	20	0	2	7	0	28,75
12:45-13:00	18	0	0	8	0	24
13:00-13:15	37	0	0	7	0	42,25
13:15-13:30	62	0	0	13	0	71,75
13:30-13:45	35	0	0	12	0	44
13:45-14:00	31	0	1	9	1	39,83
14:00-14:15	27	0	4	19	5	49,9
14:15-14:30	28	0	4	17	1	48,08
14:30-14:45	27	0	0	12	1	36,33
14:45-15:00	28	0	0	13	0	37,75
15:00-15:15	18	0	0	8	1	24,33
15:15-15:30	17	0	0	9	2	24,41
15:30-15:45	17	0	0	13	2	27,41
15:45-16:00	17	0	0	5	0	20,75
16:00-16:15	22	0	0	5	0	25,75
16:15-16:30	21	0	1	11	0	31
16:30-16:45	19	0	1	5	0	24,5
16:45-17:00	16	0	1	10	0	25,25
17:00-17:15	23	0	2	8	2	33,16
17:15-17:30	29	0	1	7	3	36,99
17:30-17:45	44	0	1	10	0	53,25
17:45-18:00	36	0	0	9	1	43,08
18:00-18:15	25	0	3	6	1	35,08
18:15-18:30	42	0	1	9	0	50,5
18:30-18:45	22	0	0	9	1	29,08
18:45-19:00	37	0	0	7	1	42,58
					Total	1741,75

Tabela A3 – Planilha de detalhamento do tráfego – Rua Marquês do Herval – 19/04/2007

Período	Veículos					
	carros	ônibus	caminhão	moto	bicicleta	veíc. equiv.
07:00-07:15	21	0	0	4	0	24
07:15-07:30	47	1	0	1	0	50,75
07:30-07:45	52	0	0	11	1	60,58
07:45-08:00	24	0	0	5	4	29,07
08:00-08:15	17	0	3	13	1	32,33
08:15-08:30	26	0	0	6	1	30,83
08:30-08:45	19	0	1	10	2	28,91
08:45-09:00	19	0	3	12	1	33,58
09:00-09:15	10	0	0	6	0	14,5
09:15-09:30	34	0	2	20	1	52,83
09:30-09:45	22	0	1	16	1	36,08
09:45-10:00	31	0	3	8	3	43,24
10:00-10:15	24	0	2	9	0	34,25
10:15-10:30	29	0	1	15	1	42,33
10:30-10:45	31	0	2	14	1	45,33
10:45-11:00	25	0	2	22	2	45,66
11:00-11:15	31	0	0	8	1	37,33
11:15-11:30	32	0	0	7	1	37,58
11:30-11:45	24	0	2	11	0	35,75
11:45-12:00	50	0	0	14	1	60,83
12:00-12:15	40	0	1	9	0	48,5
12:15-12:30	15	1	1	11	0	28
12:30-12:45	4	1	0	2	0	8,5
12:45-13:00	21	0	0	6	1	25,83
13:00-13:15	29	0	0	5	0	32,75
13:15-13:30	67	0	0	13	0	76,75
13:30-13:45	38	0	1	9	0	46,5
13:45-14:00	28	0	3	9	1	40,33
14:00-14:15	21	0	0	8	1	27,33
14:15-14:30	28	0	2	7	0	36,75
14:30-14:45	25	0	0	7	0	30,25
14:45-15:00	24	0	0	17	0	36,75
15:00-15:15	34	0	2	11	1	46,08
15:15-15:30	28	0	3	15	0	44,5
15:30-15:45	32	0	2	6	0	40
15:45-16:00	28	0	1	6	0	34,25
16:00-16:15	13	0	0	4	0	16
16:15-16:30	22	0	0	7	0	27,25
16:30-16:45	20	0	0	7	2	25,91
16:45-17:00	21	0	1	11	1	31,33
17:00-17:15	25	0	1	3	2	29,66
17:15-17:30	42	0	5	7	2	56,66
17:30-17:45	60	0	2	11	2	72,41
17:45-18:00	33	0	0	12	0	42
18:00-18:15	28	0	1	8	1	36,08
18:15-18:30	50	0	2	12	2	63,16
18:30-18:45	29	0	1	14	0	41,25
18:45-19:00	21	0	0	4	0	24
					Total	1844,54



Tabela A4 – Planilha de detalhamento do tráfego – Rua Marquês do Herval – 20/04/2007

Período	Veículos					
	carros	ônibus	caminhão	moto	bicicleta	veic. equiv.
07:00-07:15	26	0	0	4	1	29,33
07:15-07:30	34	1	0	4	3	40,99
07:30-07:45	42	0	0	7	1	47,58
07:45-08:00	35	0	0	14	0	45,5
08:00-08:15	20	0	1	10	1	29,58
08:15-08:30	25	0	0	13	0	34,75
08:30-08:45	22	0	0	7	0	27,25
08:45-09:00	15	0	2	8	2	25,16
09:00-09:15	23	0	0	8	0	29
09:15-09:30	21	0	0	14	0	31,5
09:30-09:45	19	0	1	13	3	31,49
09:45-10:00	22	0	2	13	1	35,58
10:00-10:15	22	0	0	13	1	32,08
10:15-10:30	28	0	0	22	1	44,83
10:30-10:45	25	0	1	9	1	33,83
10:45-11:00	27	0	1	12	0	37,75
11:00-11:15	25	0	2	14	0	39
11:15-11:30	16	0	1	10	0	25,25
11:30-11:45	26	0	2	10	0	37
11:45-12:00	33	0	1	10	0	42,25
12:00-12:15	48	0	0	12	0	57
12:15-12:30	25	1	0	5	0	31,75
12:30-12:45	20	1	0	6	1	27,83
12:45-13:00	19	0	0	6	0	23,5
13:00-13:15	25	0	0	5	1	29,08
13:15-13:30	81	0	0	10	0	88,5
13:30-13:45	50	0	1	5	2	56,16
13:45-14:00	27	0	0	12	2	36,66
14:00-14:15	36	0	0	17	0	48,75
14:15-14:30	37	0	0	12	0	46
14:30-14:45	32	0	1	11	0	42
14:45-15:00	27	0	0	23	0	44,25
15:00-15:15	38	0	2	7	0	46,75
15:15-15:30	31	0	0	17	0	43,75
15:30-15:45	25	0	0	8	0	31
15:45-16:00	32	0	0	8	0	38
16:00-16:15	21	0	2	6	0	29
16:15-16:30	40	0	2	11	0	51,75
16:30-16:45	23	0	3	10	0	35,75
16:45-17:00	23	0	1	8	0	30,75
17:00-17:15	32	0	0	12	0	41
17:15-17:30	37	0	0	11	2	45,91
17:30-17:45	60	0	1	14	1	72,58
17:45-18:00	36	0	0	13	0	45,75
18:00-18:15	42	0	0	17	2	55,41
18:15-18:30	45	0	1	8	3	53,74
18:30-18:45	56	0	0	13	1	66,08
18:45-19:00	31	0	0	8	0	37
					Total	1955,4

Tabela A5 – Planilha de detalhamento do tráfego – Rua Marquês do Herval – 21/04/2007

Período	Veículos					
	carros	ônibus	caminhão	moto	bicicleta	veic. equiv.
07:00-07:15	3	0	0	0	1	3,33
07:15-07:30	6	0	0	1	0	6,75
07:30-07:45	4	0	0	4	0	7
07:45-08:00	11	0	0	3	0	13,25
08:00-08:15	10	0	0	0	0	10
08:15-08:30	17	0	1	4	0	21,75
08:30-08:45	16	0	0	8	2	22,66
08:45-09:00	12	0	0	4	0	15
09:00-09:15	12	0	2	3	1	18,08
09:15-09:30	12	0	0	1	0	12,75
09:30-09:45	13	0	0	5	1	17,08
09:45-10:00	12	0	1	8	0	19,75
10:00-10:15	14	0	2	0	0	17,5
10:15-10:30	14	0	1	8	0	21,75
10:30-10:45	20	0	0	6	0	24,5
10:45-11:00	21	0	0	3	0	23,25
11:00-11:15	22	0	0	5	0	25,75
11:15-11:30	10	0	1	6	0	16,25
11:30-11:45	20	0	0	8	1	26,33
11:45-12:00	17	0	0	12	0	26
12:00-12:15	19	0	0	4	1	22,33
12:15-12:30	11	0	0	4	1	14,33
12:30-12:45	7	0	0	7	2	12,91
12:45-13:00	6	0	0	1	0	6,75
13:00-13:15	4	0	0	2	0	5,5
13:15-13:30	0	0	0	2	0	1,5
13:30-13:45	5	0	0	2	0	6,5
13:45-14:00	2	0	0	2	0	3,5
14:00-14:15	6	0	0	1	1	7,08
14:15-14:30	4	0	0	6	0	8,5
14:30-14:45	1	0	0	3	0	3,25
14:45-15:00	7	0	1	2	0	10,25
15:00-15:15	23	0	0	1	2	24,41
15:15-15:30	12	0	0	3	1	14,58
15:30-15:45	17	0	0	4	0	20
15:45-16:00	7	0	1	4	0	11,75
16:00-16:15	17	0	0	2	0	18,5
16:15-16:30	16	0	1	4	2	21,41
16:30-16:45	14	0	0	2	0	15,5
16:45-17:00	20	0	0	4	0	23
17:00-17:15	16	0	0	1	0	16,75
17:15-17:30	14	0	1	9	2	23,16
17:30-17:45	14	0	0	3	1	16,58
17:45-18:00	10	0	0	8	2	16,66
18:00-18:15	16	0	0	3	2	18,91
18:15-18:30	19	0	0	4	3	22,99
18:30-18:45	9	0	0	2	0	10,5
18:45-19:00	17	0	0	3	0	19,25
					<u>Total</u>	745,08

Tabela A6 – Planilha de detalhamento do tráfego – Rua Marquês do Herval – 22/04/2007

Período	Veículos					
	carros	ônibus	caminhão	moto	bicicleta	veic. equiv.
07:00-07:15	3	0	0	0	0	3
07:15-07:30	5	0	0	0	0	5
07:30-07:45	6	0	0	2	0	7,5
07:45-08:00	5	0	0	1	0	5,75
08:00-08:15	3	0	0	1	0	3,75
08:15-08:30	2	0	0	1	0	2,75
08:30-08:45	3	0	0	0	0	3
08:45-09:00	9	0	0	1	0	9,75
09:00-09:15	2	0	0	0	0	2
09:15-09:30	9	0	0	1	0	9,75
09:30-09:45	11	0	0	1	0	11,75
09:45-10:00	9	0	0	0	0	9
10:00-10:15	15	0	0	2	1	16,83
10:15-10:30	12	0	0	5	0	15,75
10:30-10:45	16	0	0	6	0	20,5
10:45-11:00	12	0	0	3	0	14,25
11:00-11:15	23	0	0	4	2	26,66
11:15-11:30	12	0	0	7	0	17,25
11:30-11:45	24	0	0	11	1	32,58
11:45-12:00	12	0	1	9	2	21,16
12:00-12:15	19	0	0	4	1	22,33
12:15-12:30	13	0	0	0	0	13
12:30-12:45	8	0	0	0	2	8,66
12:45-13:00	5	0	0	1	0	5,75
13:00-13:15	6	0	0	2	1	7,83
13:15-13:30	3	0	0	3	0	5,25
13:30-13:45	5	0	0	5	0	8,75
13:45-14:00	7	0	0	2	2	9,16
14:00-14:15	2	0	0	6	0	6,5
14:15-14:30	9	0	0	1	0	9,75
14:30-14:45	2	0	2	3	0	7,75
14:45-15:00	6	0	0	0	4	7,32
15:00-15:15	19	0	0	0	1	19,33
15:15-15:30	13	0	0	1	3	14,74
15:30-15:45	10	0	0	5	0	13,75
15:45-16:00	17	0	0	3	0	19,25
16:00-16:15	10	0	0	0	0	10
16:15-16:30	16	0	0	4	5	20,65
16:30-16:45	9	0	0	0	0	9
16:45-17:00	18	0	0	1	0	18,75
17:00-17:15	12	0	0	5	4	17,07
17:15-17:30	17	0	0	4	1	20,33
17:30-17:45	12	0	0	3	2	14,91
17:45-18:00	10	0	0	4	1	13,33
18:00-18:15	19	0	0	4	1	22,33
18:15-18:30	23	0	0	7	0	28,25
18:30-18:45	26	0	0	1	0	26,75
18:45-19:00	14	0	0	4	0	17
					Total	635,47

Tabela A7 – Planilha de detalhamento do tráfego – Rua Marquês do Herval – 23/04/2007

Período	Veículos					
	carros	ônibus	caminhão	moto	bicicleta	veic. equiv.
07:00-07:15	11	0	0	0	0	11,00
07:15-07:30	41	0	0	3	1	43,58
07:30-07:45	49	0	0	9	1	56,08
07:45-08:00	26	0	1	16	0	39,75
08:00-08:15	24	0	1	11	0	34,00
08:15-08:30	15	0	0	6	0	19,50
08:30-08:45	27	0	1	6	0	33,25
08:45-09:00	20	0	2	8	3	30,49
09:00-09:15	22	0	1	9	1	30,83
09:15-09:30	19	0	0	1	1	20,08
09:30-09:45	24	0	2	8	0	33,50
09:45-10:00	19	0	0	11	0	27,25
10:00-10:15	19	0	3	8	1	30,58
10:15-10:30	13	0	0	4	0	16,00
10:30-10:45	20	0	0	10	1	27,83
10:45-11:00	23	0	0	9	0	29,75
11:00-11:15	28	0	1	9	1	36,65
11:15-11:30	19	0	1	8	0	25,24
11:30-11:45	23	0	1	11	0	32,28
11:45-12:00	31	0	1	12	1	42,32
12:00-12:15	33	0	1	8	1	40,75
12:15-12:30	19	1	0	5	0	24,72
12:30-12:45	11	0	0	5	1	16,58
12:45-13:00	15	0	0	5	0	19,22
13:00-13:15	24	0	0	5	0	26,99
13:15-13:30	47	0	0	9	0	53,29
13:30-13:45	27	0	1	8	1	34,19
13:45-14:00	21	0	1	8	1	28,64
14:00-14:15	19	0	1	11	2	29,08
14:15-14:30	23	0	1	10	0	31,89
14:30-14:45	18	0	1	8	0	25,47
14:45-15:00	19	0	1	11	1	27,78
15:00-15:15	26	0	1	8	1	34,08
15:15-15:30	21	0	0	19	2	35,91
15:30-15:45	24	0	1	11	2	34,66
15:45-16:00	24	0	0	10	0	31,50
16:00-16:15	35	0	0	10	0	42,50
16:15-16:30	21	0	1	14	0	33,25
16:30-16:45	26	0	1	9	0	34,50
16:45-17:00	25	0	0	8	1	31,33
17:00-17:15	36	0	0	11	0	44,25
17:15-17:30	28	0	1	18	2	43,91
17:30-17:45	69	0	0	14	1	79,83
17:45-18:00	30	0	1	14	0	42,25
18:00-18:15	33	0	0	18	0	46,50
18:15-18:30	47	0	0	11	1	55,58
18:30-18:45	39	0	0	6	0	43,50
18:45-19:00	12	0	0	4	0	15,00
					Total	1627,09

Tabela A8 – Planilha de detalhamento do tráfego – Rua Rigoberto Duarte – 17/04/2007

Período	Veículos					
	carros	ônibus	caminhão	moto	bicicleta	veic. equiv.
07:00-07:15						0
07:15-07:30	44	0	1	3	1	48,33
07:30-07:45	38	0	1	7	0	45
07:45-08:00	52	1	0	7	0	60,25
08:00-08:15	37	1	0	6	0	44,5
08:15-08:30	43	1	1	9	0	54,5
08:30-08:45	33	0	0	10	0	40,5
08:45-09:00	40	0	2	10	0	51
09:00-09:15	26	0	0	7	0	31,25
09:15-09:30	32	2	0	3	2	40,91
09:30-09:45	30	1	0	4	0	36
09:45-10:00	39	0	1	7	1	46,33
10:00-10:15	29	0	2	7	1	38,08
10:15-10:30	22	0	3	10	2	35,41
10:30-10:45	31	0	1	9	0	39,5
10:45-11:00	25	1	2	7	0	36,75
11:00-11:15	35	0	1	14	0	47,25
11:15-11:30	50	0	1	15	0	63
11:30-11:45	60	0	0	14	0	70,5
11:45-12:00	62	1	1	15	0	78
12:00-12:15	84	0	0	12	0	93
12:15-12:30	70	1	0	8	1	79,33
12:30-12:45	34	1	1	9	0	45,5
12:45-13:00	29	0	1	14	0	41,25
13:00-13:15	59	1	0	5	0	65,75
13:15-13:30	73	1	3	13	0	91
13:30-13:45	77	2	0	12	0	92
13:45-14:00	51	0	0	10	1	58,83
14:00-14:15	45	3	1	13	0	65,5
14:15-14:30	43	0	1	13	1	54,83
14:30-14:45	31	0	1	9	0	39,5
14:45-15:00	32	0	0	9	0	38,75
15:00-15:15	51	0	0	7	1	56,58
15:15-15:30	56	1	1	7	0	66
15:30-15:45	47	1	1	9	0	58,5
15:45-16:00	45	0	1	7	0	52
16:00-16:15	50	2	1	18	1	71,58
16:15-16:30	51	0	1	10	1	60,58
16:30-16:45	49	0	1	7	1	56,33
16:45-17:00	34	0	1	5	0	39,5
17:00-17:15	34	1	2	11	1	49,08
17:15-17:30	57	0	0	11	0	65,25
17:30-17:45	90	1	0	5	1	97,08
17:45-18:00	65	0	2	16	0	80,5
18:00-18:15	54	0	2	16	2	70,16
18:15-18:30	56	0	0	19	1	70,58
18:30-18:45	85	1	0	12	0	97
18:45-19:00	53	1	0	11	0	64,25
					Total	2727,27

Tabela A9 – Planilha de detalhamento do tráfego – Rua Rigoberto Duarte – 18/04/2007

Período	Veículos					
	carros	ônibus	caminhão	moto	bicicleta	veíc. equiv.
07:00-07:15	14	1	1	5	1	22,83
07:15-07:30	53	0	0	6	0	57,5
07:30-07:45	33	0	1	4	3	38,74
07:45-08:00	48	1	0	3	1	53,58
08:00-08:15	38	1	1	9	0	49,5
08:15-08:30	35	1	1	7	0	45
08:30-08:45	39	1	1	6	0	48,25
08:45-09:00	35	0	2	7	0	43,75
09:00-09:15	35	0	1	11	0	45
09:15-09:30	25	2	0	5	0	34,75
09:30-09:45	31	1	2	6	2	42,66
09:45-10:00	35	0	1	9	0	43,5
10:00-10:15	34	0	2	7	1	43,08
10:15-10:30	33	0	1	7	0	40
10:30-10:45	32	0	6	12	0	51,5
10:45-11:00	46	0	3	6	0	55,75
11:00-11:15	36	1	2	9	0	49,25
11:15-11:30	41	1	0	9	0	50,75
11:30-11:45	47	1	1	9	1	58,83
11:45-12:00	55	1	2	19	1	76,08
12:00-12:15	92	0	0	10	0	99,5
12:15-12:30	56	1	0	13	0	68,75
12:30-12:45	37	1	0	4	0	43
12:45-13:00	35	0	0	11	0	43,25
13:00-13:15	51	1	0	9	1	61,08
13:15-13:30	73	1	1	9	0	84,5
13:30-13:45	62	1	0	14	0	75,5
13:45-14:00	59	1	0	18	0	75,5
14:00-14:15	59	1	2	7	2	71,41
14:15-14:30	40	0	1	7	0	47
14:30-14:45	48	0	0	23	0	65,25
14:45-15:00	43	0	1	12	0	53,75
15:00-15:15	37	0	1	10	0	46,25
15:15-15:30	34	1	0	11	0	45,25
15:30-15:45	24	1	2	3	2	33,41
15:45-16:00	32	0	0	4	1	35,33
16:00-16:15	27	0	1	3	0	31
16:15-16:30	34	1	0	4	0	40
16:30-16:45	27	0	1	1	0	29,5
16:45-17:00	41	0	2	6	1	49,33
17:00-17:15	37	0	0	4	0	40
17:15-17:30	33	0	0	3	0	35,25
17:30-17:45	49	0	1	10	1	58,58
17:45-18:00	46	0	0	9	1	53,08
18:00-18:15	43	0	1	6	1	49,58
18:15-18:30	30	0	1	12	0	40,75
18:30-18:45	50	1	0	4	1	56,33
18:45-19:00	38	0	0	5	0	41,75
					Total	2424,18

Tabela A10 – Planilha de detalhamento do tráfego – Rua Rigoberto Duarte – 19/04/2007

Período	Veículos					
	carros	ônibus	caminhão	moto	bicicleta	veíc. equiv.
07:00-07:15	10	0	1	2	0	13,25
07:15-07:30	56	0	0	1	0	56,75
07:30-07:45	44	1	0	4	0	50
07:45-08:00	52	0	0	8	0	58
08:00-08:15	37	1	1	8	1	48,08
08:15-08:30	28	1	1	9	2	40,16
08:30-08:45	30	0	2	7	0	38,75
08:45-09:00	22	0	0	6	0	26,5
09:00-09:15	32	0	1	7	0	39
09:15-09:30	29	2	1	8	0	42,75
09:30-09:45	35	1	1	10	0	47,25
09:45-10:00	24	0	1	6	0	30,25
10:00-10:15	47	0	1	8	1	55,08
10:15-10:30	39	0	0	8	0	45
10:30-10:45	29	0	1	4	2	34,41
10:45-11:00	30	1	2	10	0	44
11:00-11:15	44	0	0	7	0	49,25
11:15-11:30	36	1	0	5	0	42,75
11:30-11:45	47	1	0	10	0	57,5
11:45-12:00	59	0	0	12	0	68
12:00-12:15	91	1	0	17	0	106,75
12:15-12:30	56	1	0	12	1	68,33
12:30-12:45	30	1	0	3	0	35,25
12:45-13:00	32	1	1	12	0	45,75
13:00-13:15	38	0	1	10	1	47,58
13:15-13:30	89	1	0	8	0	98
13:30-13:45	68	1	0	4	0	74
13:45-14:00	50	0	2	11	1	62,08
14:00-14:15	37	1	0	10	1	47,83
14:15-14:30	19	0	1	13	0	30,5
14:30-14:45	30	0	0	7	0	35,25
14:45-15:00	21	0	1	8	0	28,75
15:00-15:15	27	0	0	4	1	30,33
15:15-15:30	23	0	1	7	0	30
15:30-15:45	30	0	0	5	0	33,75
15:45-16:00	24	0	2	4	0	30,5
16:00-16:15	24	0	0	7	0	29,25
16:15-16:30	33	0	3	10	2	46,41
16:30-16:45	34	0	0	3	0	36,25
16:45-17:00	46	0	0	8	0	52
17:00-17:15	44	0	0	6	1	48,83
17:15-17:30	44	0	0	9	1	51,08
17:30-17:45	46	0	0	4	0	49
17:45-18:00	46	0	1	8	0	53,75
18:00-18:15	47	0	0	10	0	54,5
18:15-18:30	43	0	1	9	1	51,83
18:30-18:45	53	4	0	10	1	72,83
18:45-19:00	45	0	0	5	0	48,75
					Total	2285,86

Tabela A11 – Planilha de detalhamento do tráfego – Rua Rigoberto Duarte – 20/04/2007

Período	Veículos					
	carros	ônibus	caminhão	moto	bicicleta	veic. equiv.
07:00-07:15	26	1	0	3	1	31,58
07:15-07:30	48	0	1	8	1	56,08
07:30-07:45	35	1	1	2	1	41,58
07:45-08:00	44	0	0	7	3	50,24
08:00-08:15	36	1	1	15	0	52
08:15-08:30	28	1	0	8	0	37
08:30-08:45	35	0	0	3	0	37,25
08:45-09:00	30	0	0	5	0	33,75
09:00-09:15	31	0	1	12	0	41,75
09:15-09:30	31	2	0	3	1	39,58
09:30-09:45	27	1	0	4	0	33
09:45-10:00	37	0	1	5	0	42,5
10:00-10:15	30	0	1	8	1	38,08
10:15-10:30	34	0	0	8	0	40
10:30-10:45	32	0	1	9	0	40,5
10:45-11:00	46	1	0	10	0	56,5
11:00-11:15	52	0	0	7	1	57,58
11:15-11:30	51	1	0	4	0	57
11:30-11:45	64	1	2	8	2	77,16
11:45-12:00	47	1	1	20	0	66,75
12:00-12:15	73	0	0	14	1	83,83
12:15-12:30	63	1	1	13	1	77,83
12:30-12:45	41	1	0	11	1	52,58
12:45-13:00	55	1	0	12	0	67
13:00-13:15	46	0	1	9	0	54,5
13:15-13:30	60	1	0	12	0	72
13:30-13:45	65	1	1	17	0	82,5
13:45-14:00	66	0	0	8	0	72
14:00-14:15	54	2	0	7	0	65,25
14:15-14:30	59	0	2	11	2	71,41
14:30-14:45	54	0	1	11	0	64
14:45-15:00	51	0	3	10	0	63,75
15:00-15:15	48	0	0	9	1	55,08
15:15-15:30	44	1	0	4	0	50
15:30-15:45	42	1	1	13	0	56,5
15:45-16:00	46	0	1	8	0	53,75
16:00-16:15	58	2	2	9	0	74,25
16:15-16:30	51	0	0	19	0	65,25
16:30-16:45	49	0	0	12	1	58,33
16:45-17:00	66	1	1	15	1	82,33
17:00-17:15	69	0	0	9	0	75,75
17:15-17:30	58	0	0	8	4	65,32
17:30-17:45	88	1	0	9	0	97,75
17:45-18:00	88	0	1	12	0	98,75
18:00-18:15	67	0	1	18	2	82,91
18:15-18:30	78	0	0	12	2	87,66
18:30-18:45	70	1	0	11	0	81,25
18:45-19:00	62	1	0	16	0	77
					Total	2918,41



Tabela A12– Planilha de detalhamento do tráfego – Rua Rigoberto Duarte– 21/04/2007

Período	Veículos					
	carros	ônibus	caminhão	moto	bicicleta	veic. equiv.
07:00-07:15	4	0	0	2	0	5,5
07:15-07:30	6	0	1	4	0	10,75
07:30-07:45	10	0	0	2	1	11,83
07:45-08:00	18	0	0	2	0	19,5
08:00-08:15	13	0	1	2	2	16,91
08:15-08:30	13	0	0	5	0	16,75
08:30-08:45	27	0	0	2	0	28,5
08:45-09:00	17	0	0	4	0	20
09:00-09:15	20	0	0	4	0	23
09:15-09:30	16	0	0	6	1	20,83
09:30-09:45	30	0	0	7	0	35,25
09:45-10:00	21	1	0	7	0	29,25
10:00-10:15	44	0	0	4	2	47,66
10:15-10:30	39	0	0	2	1	40,83
10:30-10:45	37	0	0	4	0	40
10:45-11:00	28	0	0	6	0	32,5
11:00-11:15	46	0	0	7	1	51,58
11:15-11:30	29	1	0	10	1	39,83
11:30-11:45	36	0	0	7	0	41,25
11:45-12:00	48	0	0	13	0	57,75
12:00-12:15	39	1	0	8	0	48
12:15-12:30	29	0	0	9	0	35,75
12:30-12:45	23	0	0	9	0	29,75
12:45-13:00	23	1	0	1	1	27,08
13:00-13:15	26	1	1	4	0	33,75
13:15-13:30	24	1	0	5	0	30,75
13:30-13:45	34	0	0	7	1	39,58
13:45-14:00	32	1	0	4	1	38,33
14:00-14:15	30	0	0	1	0	30,75
14:15-14:30	30	0	0	4	0	33
14:30-14:45	34	0	0	7	2	39,91
14:45-15:00	25	1	0	10	0	35,5
15:00-15:15	15	0	0	4	2	18,66
15:15-15:30	42	0	0	5	0	45,75
15:30-15:45	36	2	0	9	0	48,75
15:45-16:00	31	0	0	9	0	37,75
16:00-16:15	28	0	0	2	0	29,5
16:15-16:30	34	0	0	3	0	36,25
16:30-16:45	41	0	0	5	0	44,75
16:45-17:00	35	1	0	9	0	44,75
17:00-17:15	47	3	0	13	0	65,75
17:15-17:30	35	0	0	3	0	37,25
17:30-17:45	34	0	0	7	1	39,58
17:45-18:00	53	0	1	13	0	64,5
18:00-18:15	36	0	0	10	0	43,5
18:15-18:30	40	0	0	9	0	46,75
18:30-18:45	51	1	2	8	0	63,5
18:45-19:00	51	1	0	12	2	63,66
					Total	1742,27

Tabela A13 – Planilha de detalhamento do tráfego – Rua Rigoberto Duarte – 22/04/2007

Período	Veículos					
	carros	ônibus	caminhão	moto	bicicleta	veic. equiv.
07:00-07:15	3	0	0	0	0	3
07:15-07:30	4	0	0	1	0	4,75
07:30-07:45	9	0	0	1	0	9,75
07:45-08:00	8	0	0	2	1	9,83
08:00-08:15	4	0	0	3	0	6,25
08:15-08:30	9	0	0	4	0	12
08:30-08:45	8	0	0	0	0	8
08:45-09:00	7	0	0	0	0	7
09:00-09:15	8	0	0	2	0	9,5
09:15-09:30	11	0	0	2	0	12,5
09:30-09:45	17	0	0	5	0	20,75
09:45-10:00	20	0	0	0	1	20,33
10:00-10:15	22	1	0	0	0	25
10:15-10:30	20	0	0	3	0	22,25
10:30-10:45	30	0	0	3	1	32,58
10:45-11:00	25	0	0	2	0	26,5
11:00-11:15	32	0	0	9	0	38,75
11:15-11:30	42	1	0	5	0	48,75
11:30-11:45	34	0	0	6	1	38,83
11:45-12:00	24	0	0	6	1	28,83
12:00-12:15	42	1	0	4	0	48
12:15-12:30	25	0	0	2	0	26,5
12:30-12:45	23	0	0	1	0	23,75
12:45-13:00	19	1	0	8	0	28
13:00-13:15	17	0	0	3	0	19,25
13:15-13:30	24	0	0	7	0	29,25
13:30-13:45	12	0	1	6	0	18,25
13:45-14:00	20	0	0	3	0	22,25
14:00-14:15	24	0	0	3	0	26,25
14:15-14:30	17	0	0	2	0	18,5
14:30-14:45	18	0	0	5	0	21,75
14:45-15:00	19	1	0	3	0	24,25
15:00-15:15	31	0	0	6	0	35,5
15:15-15:30	29	0	0	3	0	31,25
15:30-15:45	34	2	0	2	0	41,5
15:45-16:00	27	0	0	3	0	29,25
16:00-16:15	27	0	0	3	0	29,25
16:15-16:30	30	0	0	7	1	35,58
16:30-16:45	24	0	0	1	0	24,75
16:45-17:00	22	2	0	3	0	30,25
17:00-17:15	32	1	0	5	0	38,75
17:15-17:30	40	0	0	5	0	43,75
17:30-17:45	39	0	0	12	0	48
17:45-18:00	35	0	0	4	0	38
18:00-18:15	36	0	0	3	1	38,58
18:15-18:30	47	1	0	6	0	54,5
18:30-18:45	51	1	0	7	0	59,25
18:45-19:00	54	1	0	5	0	60,75
					Total	1330,06

Tabela A14 – Planilha de detalhamento do tráfego – Rua Rigoberto Duarte – 23/04/2007

Período	Veículos					
	carros	ônibus	caminhão	moto	bicicleta	veic. equiv.
07:00-07:15	20	1	0	7	0	28,25
07:15-07:30	57	0	2	6	1	65,33
07:30-07:45	43	1	0	7	0	51,25
07:45-08:00	51	0	0	7	0	56,25
08:00-08:15	42	1	0	3	1	47,58
08:15-08:30	50	1	1	5	0	58,5
08:30-08:45	37	0	0	8	0	43
08:45-09:00	48	0	1	14	0	60,25
09:00-09:15	42	0	0	7	0	47,25
09:15-09:30	29	2	0	5	0	38,75
09:30-09:45	35	1	2	10	0	49
09:45-10:00	31	0	1	2	1	34,58
10:00-10:15	42	0	1	6	0	48,25
10:15-10:30	34	0	0	12	0	43
10:30-10:45	30	0	0	5	0	33,75
10:45-11:00	48	1	2	9	0	61,25
11:00-11:15	38	0	0	8	0	44
11:15-11:30	37	1	2	16	0	55,5
11:30-11:45	50	0	1	12	0	60,75
11:45-12:00	55	0	1	10	0	64,25
12:00-12:15	93	0	0	12	1	102,33
12:15-12:30	64	0	1	12	0	74,75
12:30-12:45	39	0	1	7	0	46
12:45-13:00	40	0	0	13	0	49,75
13:00-13:15	64	1	0	7	0	72,25
13:15-13:30	58	1	0	8	0	67
13:30-13:45	69	1	1	8	0	79,75
13:45-14:00	51	0	0	10	1	58,83
14:00-14:15	51	2	0	5	0	60,75
14:15-14:30	35	0	0	12	1	44,33
14:30-14:45	39	0	1	6	0	45,25
14:45-15:00	36	0	1	6	0	42,25
15:00-15:15						0
15:15-15:30	16	1	0	4	0	22
15:30-15:45	56	0	1	5	0	61,5
15:45-16:00	37	0	0	7	0	42,25
16:00-16:15	50	2	0	14	0	66,5
16:15-16:30	61	0	0	13	0	70,75
16:30-16:45	53	0	0	5	0	56,75
16:45-17:00	51	0	0	13	0	60,75
17:00-17:15	56	0	1	16	2	70,41
17:15-17:30	78	0	0	13	5	89,4
17:30-17:45	69	0	0	11	3	78,24
17:45-18:00	63	1	0	3	0	68,25
18:00-18:15	63	0	1	12	3	74,74
18:15-18:30	73	0	0	11	2	81,91
18:30-18:45	49	1	2	8	6	63,48
18:45-19:00	39	0	0	13	1	49,08
					Total	2689,99

**APÊNDICE B – RESULTADOS DAS ANÁLISES DOS POLUENTES ENCONTRADOS NAS AMOSTRAS DE SEDIMENTO SECO COLETADAS NAS RUAS RIGOBERTO DUARTE E MARQUÊS DO HERVAL**

Tabela B1 – Planilha das concentrações de metais pesados nas amostras de sedimento seco das ruas Rigoberto Duarte e Marquês do Herval nas três campanhas de amostragem.

Parâmetros - Campanha 1 (Rua Rigoberto Duarte)				
Granulometria	Cu (µg/L)	Zn (µg/L)	Ni (µg/L)	Pb (µg/L)
500µm	16,400	66,000	0,300	1,200
250µm	14,400	60,900	1,300	4,700
63µm	13,400	76,000	1,900	8,400
<63µm	60,100	104,400	7,900	29,600
Parâmetros - Campanha 2 (Rua Rigoberto Duarte)				
Granulometria	Cu (µg/L)	Zn (µg/L)	Ni (µg/L)	Pb (µg/L)
500µm	16,400	34,500	2,600	2,100
250µm	15,800	39,800	3,700	4,200
63µm	13,400	37,500	1,900	3,400
<63µm	79,600	119,600	7,900	22,300
Parâmetros - Campanha 1 (Rua Marquês do Herval)				
Granulometria	Cu (µg/L)	Zn (µg/L)	Ni (µg/L)	Pb (µg/L)
500µm	14,800	112,400	2,600	4,500
250µm	19,600	92,100	2,300	5,900
63µm	23,800	175,800	2,700	9,800
<63µm	60,100	156,400	5,000	30,500
Parâmetros - Campanha 2 (Rua Marquês do Herval)				
Granulometria	Cu (µg/L)	Zn (µg/L)	Ni (µg/L)	Pb (µg/L)
500µm	21,300	67,800	2,200	12,600
250µm	19,000	73,700	2,200	5,900
63µm	30,400	124,500	4,200	10,700
<63µm	110,200	271,100	8,000	25,900
Parâmetros - Campanha 3 (Rua Marquês do Herval)				
Granulometria	Cu (µg/L)	Zn (µg/L)	Ni (µg/L)	Pb (µg/L)
500µm	16,600	45,700	2,800	4,600
250µm	13,800	44,600	1,900	6,400
63µm	29,800	79,900	3,500	15,900
<63µm	109,500	204,300	8,900	36,800

Tabela B2 – Planilha das Concentrações de DQO e nutrientes nas amostras de sedimento seco das ruas Rigoberto Duarte e Marquês do Herval nas três campanhas de amostragem.

Parâmetros - Campanha 2 (Rua Rigoberto Duarte)								
Granulometria	DQO (mg/L)	NH4+ (mg/L)	NO2- (mg/L)	NO3- (mg/L)	PO4- (mg/L)	SO4- (mg/L)	Cl- (mg/L)	F- (mg/L)
500µm	42,50	0,143	n.d.	n.d.	n.d.	5,681	1,391	0,163
250µm	37,75	0,349	n.d.	n.d.	n.d.	6,623	0,890	0,122
63µm	42,50	0,716	n.d.	n.d.	n.d.	8,229	1,462	0,125
<63µm	88,13	1,019	n.d.	0,169	0,186	22,747	3,245	0,389
Parâmetros - Campanha 1 (Rua Marquês do Herval)								
Granulometria	DQO (mg/L)	NH4+ (mg/L)	NO2- (mg/L)	NO3- (mg/L)	PO4- (mg/L)	SO4- (mg/L)	Cl- (mg/L)	F- (mg/L)
500µm	22,26	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,702	1,125	n.d.
250µm	14,32	0,050	n.d.	n.d.	n.d.	0,714	0,398	n.d.
63µm	16,45	0,185	n.d.	0,044	n.d.	1,388	0,528	n.d.
<63µm	39,68	0,337	n.d.	0,119	n.d.	3,716	1,152	0,109
Parâmetros - Campanha 2 (Rua Marquês do Herval)								
Granulometria	DQO (mg/L)	NH4+ (mg/L)	NO2- (mg/L)	NO3- (mg/L)	PO4- (mg/L)	SO4- (mg/L)	Cl- (mg/L)	F- (mg/L)
500µm	37,13	0,125	n.d.	n.d.	0,504	1,169	0,985	n.d.
250µm	30,75	0,198	n.d.	n.d.	0,203	1,053	0,584	n.d.
63µm	33,75	0,417	n.d.	n.d.	0,167	2,262	0,607	0,075
<63µm	86,25	0,624	n.d.	0,156	0,356	4,052	1,009	0,193
Parâmetros - Campanha 3 (Rua Marquês do Herval)								
Granulometria	DQO (mg/L)	NH4+ (mg/L)	NO2- (mg/L)	NO3- (mg/L)	PO4- (mg/L)	SO4- (mg/L)	Cl- (mg/L)	F- (mg/L)
500µm	14,36	n.d.	n.d.	n.d.	0,885	3,245	1,322	n.d.
250µm	9,06	0,220	n.d.	n.d.	0,071	1,815	0,486	n.d.
63µm	11,92	0,163	n.d.	0,067	0,102	2,998	0,645	n.d.
<63µm	20,40	0,575	n.d.	0,159	0,145	6,928	1,481	n.d.

**APÊNDICE C – RESULTADOS DAS ANÁLISES DOS POLUENTES ENCONTRADOS NAS AMOSTRAS COLETADAS NA SAÍDA DA MICRODRENAGEM**

Tabela C1 – Planilha das concentrações de metais pesados nas amostras de sedimento seco coletadas do escoamento pluvial urbano

Parâmetros - Campanha 1 (escoamento pluvial)				
Granulometria	Cu (µg/L)	Zn (µg/L)	Ni (µg/L)	Pb (µg/L)
500µm	4,900	82,800	4,300	82,600
250µm	6,500	92,300	4,800	76,700
63µm	5,100	134,300	5,200	240,700
<63µm	7,400	206,200	4,900	358,100
Parâmetros - Campanha 2 (escoamento pluvial)				
Granulometria	Cu (µg/L)	Zn (µg/L)	Ni (µg/L)	Pb (µg/L)
500µm	50,300	159,300	16,700	24,900
250µm	71,200	256,600	24,800	25,600
63µm	71,100	266,000	25,300	47,800
<63µm	67,900	253,300	25,200	47,100
Parâmetros - Campanha 3 (escoamento pluvial)				
Granulometria	Cu (µg/L)	Zn (µg/L)	Ni (µg/L)	Pb (µg/L)
500µm	14,800	89,700	3,300	7,000
250µm	19,600	92,300	2,800	7,900
63µm	23,800	78,800	2,000	9,200
<63µm	4,000	79,300	1,800	6,200

Tabela C2 – Planilha das concentrações de DQO, turbidez, sólidos suspensos, sólidos totais e nutrientes encontrados nas amostras de escoamento pluvial urbano

Parâmetros - Campanha 1 (escoamento pluvial)													
Granulometria	DQO (mg/L)	Turbidez (NT)	NH4+ (mg/L)	NO2- (mg/L)	NO3- (mg/L)	PO4- (mg/L)	SO4- (mg/L)	Cl- (mg/L)	F- (mg/L)	ST (mg/L)	SS (mg/l)		
500µm	44,13	83,20	0,153	n.d.	0,679	n.d.	4,209	2,453	0,178	88	74,4		
250µm	40,58	86,40	0,081	n.d.	0,898	n.d.	4,042	2,496	0,188	80	71,2		
63µm	41,54	117,80	0,182	n.d.	0,549	n.d.	4,151	3,163	0,188	106	81,8		
<63µm	38,27	85,80	0,167	n.d.	0,898	n.d.	4,029	2,853	0,177	122	56,8		
Parâmetros - Campanha 2 (escoamento pluvial)													
Granulometria	DQO (mg/L)	Turbidez (NT)	NH4+ (mg/L)	NO2- (mg/L)	NO3- (mg/L)	PO4- (mg/L)	SO4- (mg/L)	Cl- (mg/L)	F- (mg/L)	ST (mg/L)	SS (mg/l)		
500µm	141,97	470,00	0,505	n.d.	0,527	n.d.	4,097	1,875	0,216	1038	854		
250µm	105,20	401,00	0,440	n.d.	0,541	n.d.	4,198	2,049	0,250	920	814		
63µm	87,04	491,00	0,577	n.d.	0,559	n.d.	5,241	2,200	0,215	948	780		
<63µm	81,46	525,00	0,416	n.d.	0,555	0,168	4,010	2,029	0,219	776	682		
Parâmetros - Campanha 3 (escoamento pluvial)													
Granulometria	DQO (mg/L)	Turbidez (NT)	NH4+ (mg/L)	NO2- (mg/L)	NO3- (mg/L)	PO4- (mg/L)	SO4- (mg/L)	Cl- (mg/L)	F- (mg/L)	ST (mg/L)	SS (mg/l)		
500µm	34,58	42,60	n.d.	n.d.	0,324	0,177	3,417	2,062	n.d.	166	45		
250µm	39,67	43,50	0,061	n.d.	0,324	0,185	3,079	2,063	n.d.	126	49		
63µm	37,32	42,50	0,071	n.d.	0,316	0,173	2,995	1,999	n.d.	304	51		
<63µm	33,80	43,20	0,102	n.d.	0,329	0,175	3,152	2,068	n.d.	90	44		