

**JOSÉ ARIMATHEA PEREIRA JUNIOR**

**ESTUDO DA ACUMULAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE SEDIMENTOS EM  
SARJETAS DE VIAS URBANAS**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL. Linha de Pesquisa Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Silveira

Co-orientador: Prof. Dr. Jorge Manuel Guieiro Pereira Isidoro

Poços de Caldas/MG

2014

Pereira Junior, José Arimathea.

Estudo da acumulação e caracterização de sedimentos em sarjetas de vias urbanas / José Arimathea Pereira Junior. – Poços de Caldas, 2014.

121 f. -

Orientador: Alexandre Silveira.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental) -  
Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2014.  
Bibliografia.

1. Acúmulo de sedimentos. 2. Poluição difusa. 3. Granulometria.  
4. Metais traço. I. Silveira, Alexandre. II. Título.

CDD: 628

**JOSÉ ARIMATHEA PEREIRA JUNIOR**

**ESTUDO DA ACUMULAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE  
SEDIMENTOS EM SARJETAS DE VIAS URBANAS**

A banca examinadora abaixo-assinada, aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciência e Engenharia Ambiental, pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Alfenas.

Área de Concentração: Ciência e Engenharia Ambiental.

Aprovada em: 10 de julho de 2014.



Prof. Dr. Alexandre Silveira

Instituição: Universidade Federal de Alfenas



Prof. Dr. Cristiano Poletto

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Sul



Prof. Dr. Flávio Aparecido Gonçalves

Instituição: Universidade Federal de Alfenas

*À minha esposa Valéria pelo  
incansável incentivo e à minha filha  
Ana Luiza por ser minha maior  
inspiração.*

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Alfenas pela sua existência centenária e tradição de excelência em ensino.

Ao Prof. Dr. Alexandre Silveira pela preciosa orientação desde muito antes desta pesquisa acontecer oficialmente, por ter acreditado em meu trabalho e pela amizade.

Ao amigo Francisco Augusto Schio pelo apoio.

Aos colegas Gabriel Alcântara, Matheus M. Lopes e Bruno Eduardo S. Macena pelo empenho e seriedade no processo de coleta de amostras.

A todos os Professores do programa de mestrado, em especial aos Profs. Antônio Donizetti Gonçalves de Souza, Gustavo do Amaral Valdiviesso e Flávio Aparecido Gonçalves pelos questionamentos oportunos.

Ao amigo Walter Scassiotti pela ajuda fundamental na análise de metais.

Aos colegas do programa de mestrado.

A todos, minha eterna gratidão.

## RESUMO

O processo de urbanização tem como consequências a introdução de novas fontes poluidoras e a alteração do ambiente natural com por áreas impermeáveis que acumulam poluentes nos períodos entre os eventos de chuva. Nesse processo destaca-se a poluição decorrente da lavagem de sedimentos acumulados sobre as sarjetas que serão carreados para os corpos hídricos através do sistema de drenagem de águas pluviais. Neste trabalho foram analisados sedimentos secos coletados nas sarjetas de um loteamento no Município de Poços de Caldas, MG durante o período de 21 de maio a 27 de agosto de 2013. O objetivo geral dessa pesquisa é investigar o processo de acumulação de sedimentos secos sobre superfícies impermeáveis, sua caracterização e a relação da ocupação urbana na produção de sedimentos secos. Especificamente objetivou-se quantificar a massa média de sedimentos acumulados; caracterizar a distribuição granulométrica dos sedimentos acumulados; identificar a ocorrência dos metais traço Zn, Cu, Ni, Cd, Cu e Pb presentes nas frações de diâmetro menor ou igual a  $63\mu\text{m}$ . Os sedimentos foram coletados através de varrição a seco em seções de  $1\text{m}^2$ . As amostras obtidas foram pesadas visando análises de massa acumulada e peneiradas em malhas de diâmetros  $63\mu\text{m}$ ;  $125\mu\text{m}$ ;  $250\mu\text{m}$ ;  $600\mu\text{m}$ ;  $1180\mu\text{m}$  e  $2000\mu\text{m}$  para análise granulométrica. As amostras da fração de diâmetro menor do que  $63\mu\text{m}$  foram submetidas a análises através de Espectrometria de Fluorescência de Raios X por Dispersão de Energia (EDXRF) e Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES) para o identificação dos metais traço. Foi verificado que massa de sedimentos acumulados varia no tempo e no espaço sendo influenciada especialmente pelas condições de ocupação das áreas de amostragem. Foi concluído que a aplicação do método de varrição a seco possibilitou a obtenção de amostras em condições de serem analisadas. Verificou-se que as zonas com maior área de lotes construídos apresentaram o maior acúmulo de sedimentos secos enquanto áreas sem ocupação apresentaram menor massa sedimentos acumulados. A análise das curvas granulométricas das amostras demonstrou que a granulometria média (d50) encontra-se na faixa granulométrica de areia média. As análises de metais permitiram identificar a presença de metais traço presentes na área estudada: Cr ( $735,2\mu\text{g.m}^{-2}$ ), Cd ( $137,9\mu\text{g.m}^{-2}$ ); Pb ( $3676\mu\text{g.m}^{-2}$ ); Zn ( $2297,5\mu\text{g.m}^{-2}$ ); Ni ( $1072,5\mu\text{g.m}^{-2}$ ) Cu ( $495\mu\text{g.m}^{-2}$ ); As ( $2722,5\mu\text{g.m}^{-2}$ ) e Sn ( $825\mu\text{g.m}^{-2}$ ).

Palavras-Chave – Acúmulo de sedimentos. Poluição difusa. Granulometria. Metais traço.

## ABSTRACT

The urbanization process has consequences as the introduction of new sources of pollution and changes in the natural environment, as the increase of impervious areas that accumulate pollutants between rainfall events. The pollution caused by washing of accumulated sediment on the gutters which will be carried to water bodies through the stormwater drainage system, stands out in this process. In this study dried sediments collected in the gutters of a new housing development in the city of Poços de Caldas (state of Minas Gerais, Brazil) were analysed. Field work took place during the period of 21.05.2013 to 27.08.2013. Main goal of this study was to investigate the process of accumulation of dry sediments on impervious surfaces, characterize the sediments and find how this process relates with the urban occupation. More specific goals were to quantify the average mass and characterize the granulometric distribution of accumulated sediments and identify the occurrence of trace metals Zn, Cu, Ni, Cd, Cu and Pb in the fraction of sediments with diameter smaller or equal to 63 $\mu$ m. The sediments were collected by dry-sweeping in areas of 1m<sup>2</sup>. The samples were weighed to find the aggregate mass and then sieved through meshes of 63 $\mu$ m, 125 $\mu$ m, 250 $\mu$ m, 600 $\mu$ m, 1180 $\mu$ m, and 2000 $\mu$ m for the granulometric analysis. Samples of the sediment fraction smaller than 63mm of diameter were subjected to analysis by Energy Dispersive X-Ray Fluorescence (EDXRF) and Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) for the identification of trace metals. It was found that the aggregate mass of accumulated sediments varies in time and space and is particularly influenced by the land use of the sampling areas. It was concluded that the dry-sweeping method allowed to obtain samples which were able to be analysed. Areas with the largest area of construction showed to have the highest accumulation of dry sediments while unoccupied areas had the lower values. The granulometric curves showed that the average particle size (d50) is in the “average sand” particle size range. The metals analysis allowed to identify the presence of trace metals in the studied area: Cr (735.2  $\mu$ g.m<sup>-2</sup>), Cd (137.9  $\mu$ g.m<sup>-2</sup>); Pb (3676  $\mu$ g.m<sup>-2</sup>); Zn (2297.5  $\mu$ g.m<sup>-2</sup>); Ni (1072.5  $\mu$ g.m<sup>-2</sup>) Cu (495  $\mu$ g.m<sup>-2</sup>); As (2722.5  $\mu$ g.m<sup>-2</sup>) and Sn (825  $\mu$ g.m<sup>-2</sup>).

Keywords – Sediment accumulation. Diffuse pollution. Particle size. Trace metals.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo. ....	49
Figura 2 - Imagem em detalhe da área de estudo com delimitação do loteamento jardim Santa Tereza. ....	50
Figura 3 - Detalhe da condição das vias do loteamento. ....	51
Figura 4 - Detalhe da Bacia de Detenção. ....	51
Figura 5 – Distribuição espacial dos sedimentos ao longo da seção de uma rua. ....	55
Figura 6- Loteamento Jardim Santa Teresa com indicações das zonas e seções de amostragem. ....	56
Figura 7- Procedimento para demarcação das seções (A) e coleta de sedimentos por varrição a seco (B). ....	56
Figura 8- Diagrama representando a formação das amostras utilizadas para análise de acúmulo e granulometria de sedimentos por zona. ....	59
Figura 9- Diagrama de análise das amostras do bloco 2. ....	59
Figura 10 - Diagrama representando a formação das amostras utilizadas nas análises granulométricas do Bloco 1. ....	65
Figura 11 - Comparação entre as massas totais de sedimentos coletadas nas campanhas de 04/06 a 25/06 (gráfico em escala mono logarítmica). ....	70
Figura 12 - Comparação entre a acumulação de sedimentos em cada zona e seus respectivos usos e ocupação. ....	74
Figura 13- Comparação entre a acumulação de sedimentos da fração fina em cada zona e seus respectivos usos e ocupação. ....	77
Figura 14 – Curva granulométrica dos sedimentos Não Aderidos (NA) coletados nas seções nas campanhas do Bloco 1. ....	82
Figura 15 - Curva granulométrica dos sedimentos Aderidos (A) coletados nas seções nas campanhas do Bloco 1. ....	83
Figura 16 – Curvas granulométricas de sedimentos Aderidos nas zonas – campanhas do Bloco 1. ....	86
Figura 17 - Curvas granulométricas de sedimentos Não Aderidos nas zonas – campanhas do Bloco 1. ....	87
Figura 18 – Curvas granulométricas obtidas com as amostras totais de sedimentos (NA+A) das campanhas do Bloco 1. ....	91
Figura 19 – Curvas granulométricas das amostras compostas das campanhas do Bloco 1. ....	93
Figura 20 - Curvas granulométricas das amostras compostas das campanhas do Bloco 2. ....	94
Figura 21 - Comparação entre os diâmetros característicos calculados para cada campanha. ....	97
Figura 22 – Curva granulométrica obtida a partir de todas as amostras agrupadas (Bloco1+Bloco2). ....	98
Figura 23 – Concentração de ZnO, CuO, NiO e PbO ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) em função do tempo (amostras do Bloco 2) ....	100
Figura 24 - Concentrações de ZnO, CuO, NiO e PbO ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) em função do tempo em relação às chuvas acumuladas (amostras do Bloco 2) ....	101
Figura 25 - Concentrações de metais ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) em função do tempo – ICP-OES (amostras do Bloco 2) ....	107
Figura 26 – Comparação entre as concentrações de metais obtidas por ICP ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) em função do tempo em relação às chuvas acumuladas (amostras do Bloco 2). ....	108

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Síntese de poluentes do ambiente rodoviário e respectivas origens.....	28
Tabela 2 - Taxas de acumulação de sedimentos (sólidos) urbanos. Unidades em kg.km .meio- fio <sup>-1</sup> .dia <sup>-1</sup> .....	32
Tabela 3 - Porcentagem em massa de poluentes de origem pluvial associados à sedimentos. 36	
Tabela 4 - Exemplos de distribuição de diâmetros, matéria orgânica e metais traço contidos em sedimentos varridos de ruas em duas cidades francesas.....	38
Tabela 5 - Fontes primárias mais comuns de metais traço em escoamentos superficiais em rodovias. ....	42
Tabela 6 - Classes de tamanho de partículas para caracterização de amostras de sedimentos - Mudroch & Azcue .....	44
Tabela 7 – Classes de tamanho de partículas para caracterização de amostras de sedimentos - AGU .....	45
Tabela 8 - Classes de tamanho de partículas para caracterização de amostras de sedimentos – ABNT .....	45
Tabela 9 – Identificação das zonas e seções em relação às vias.....	53
Tabela 10 – Relação entre as zonas e as respectivas tipologias de ocupação. ....	54
Tabela 11- Datas das coletas realizadas divididas em blocos de análise.....	58
Tabela 12- Cálculo da massa média de sedimentos acumulados nas superfícies das zonas ....	70
Tabela 13- Comparação entre a massa média acumulada nas sarjetas de cada zona em relação ao uso e ocupação da área de estudo .....	73
Tabela 14- Cálculo da massa média de sedimentos da fração fina (<63 $\mu\text{m}$ ) acumulados nas superfícies das zonas. ....	74
Tabela 15- Comparação entre a massa média de sedimentos finos acumulada por zona em cada campanha em relação ao uso e ocupação da área de estudo .....	76
Tabela 16- Cálculo da massa média do total de sedimentos acumulados nas superfícies das zonas .....	78
Tabela 17- Cálculo da massa média da fração fina (<63 $\mu\text{m}$ ) de sedimentos acumulados nas superfícies da área de estudos.....	79
Tabela 18 – Diâmetros característicos dos sedimentos Não Aderidos nas seções indicando a faixa granulométrica em relação à inclinação das vias.....	84
Tabela 19 - Diâmetros característicos dos sedimentos Aderidos nas seções indicando a faixa granulométrica em relação à inclinação das vias.....	85
Tabela 20- diâmetros característicos por zona – Bloco 1 e comparação com ZAFRA et al. (2008) .....	88
Tabela 21- Diâmetro médio ( $d_{50}$ ) de sedimentos encontrados em áreas urbanas de outras localidades comparados com os resultados obtidos no Loteamento Jd. Santa Teresa. ....	92
Tabela 22- diâmetros característicos por campanhas. ....	96
Tabela 23 – Composição de elementos encontrados nas amostras de sedimentos finos obtidos em análise por EDXRF.....	99
Tabela 24 – Concentrações dos elementos detectados pelo método EDXRF.....	101
Tabela 25 – Variação de concentrações entre as campanhas de 10/07 a 16/07.....	102
Tabela 26 - Variação de concentrações entre as campanhas de 16/07 a 29/07 .....	102
Tabela 27 - Variação de concentrações entre as campanhas de 29/07 a 07/08 .....	103
Tabela 28 - Variação de concentrações entre as campanhas de 07/08 a 27/08 .....	103
Tabela 29- Cálculo da carga de metais nas campanhas do Bloco 2. ....	104
Tabela 30 – Massa de elementos acumulados sobre as sarjetas .....	105
Tabela 31 - Composição (%) de metais encontrados nas amostras de sedimentos finos obtidos em análise por ICP.....	106

Tabela 32 - Concentrações dos elementos detectados pelo método ICP-OES.....	107
Tabela 34 - Variação de concentrações entre as campanhas de 10/07 a 16/07 .....	109
Tabela 35 - Variação de concentrações entre as campanhas de 16/07 a 29/07 .....	109
Tabela 36 - Variação de concentrações entre as campanhas de 29/07 a 07/08 .....	110
Tabela 37 - Variação de concentrações entre as campanhas de 07/08 a 27/08. ....	111
Tabela 38- Cálculo da carga de poluentes nas campanhas do Bloco 2. ....	112
Tabela 39 - Massa de elementos acumulados sobre as sarjetas.....	113

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	12
2 OBJETIVOS .....	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	17
3.1 – As águas em meio urbano e poluição hídrica .....	17
3.2 – Características da poluição pluvial. ....	19
3.3 - Formas de transporte de poluentes sobre superfícies urbanas.....	23
3.4 - Principais tipos de fontes e de poluentes no escoamento urbano .....	24
3.5 – Acúmulo de sedimentos em superfícies urbanas.....	28
3.6 – Relações entre poluentes e o tamanho das partículas .....	33
3.7 – Sedimentos e Metais traço .....	39
3.8 – Sedimentos secos e Metodologias de coleta .....	43
4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	48
5 METODOLOGIA.....	52
5.1 – Coletas de amostras de sedimentos secos.....	52
5.2 – Análises de acumulação .....	58
5.2.1 – <i>Acúmulo de sedimentos por Zona (todos os diâmetros)</i> .....	60
5.2.2 – <i>Acumulação de sedimentos por Zona (diâmetros finos)</i> .....	61
5.2.3 – <i>Acumulação de sedimentos por Campanha (todos os diâmetros)</i> ..	62
5.2.4 – <i>Acumulação de sedimentos por Campanha (diâmetros finos)</i> .....	63
5.3 – Análise Granulométrica .....	64
5.4 – Análises de metais traço.....	66
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	69
6.1- Análises de massa acumulada e granulometria de sedimentos .....	69
6.1.1 – <i>Análises de acúmulo de massa por zona</i> .....	69
6.1.2 – <i>Análises de acúmulo de massa por zona para a fração fina de sedimentos</i> .....	74
6.1.3 – <i>Análises de acúmulo de massa por campanha</i> .....	78
6.1.4 – <i>Análises de acúmulo de massa por campanha para a fração fina de sedimentos</i> .....	79
6.2 – Distribuição granulométrica dos sedimentos em sarjetas.....	80
6.2.1 – <i>Granulometria dos sedimentos das seções</i> .....	80
6.2.2 – <i>Granulometria dos sedimentos das Zonas</i> .....	85
6.2.3 – <i>Granulometria das amostras NA e A do Bloco 1</i> .....	90
6.2.4 – <i>Granulometria dos sedimentos das campanhas</i> .....	93
6.3 – Análises de carga de metais traço presentes nos sedimentos .....	98
7 CONCLUSÕES .....	114

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	116
---------------------------------	-----

## **1 INTRODUÇÃO**

Devido ao desenvolvimento acelerado do processo de urbanização no qual atualmente mais de 50% da população mundial está envolvida, as questões ambientais têm sido consideradas com maior relevância nos aspectos urbanos havendo especial atenção quanto ao aspecto da qualidade de vida nas cidades.

O processo de urbanização necessariamente implica em alterações significativas no meio natural e, em particular, nos processos hidrológicos das pequenas bacias hidrográficas onde este processo se desenvolve. As alterações ocorrem por meio da intervenção direta nos cursos d'água, por exemplo, através de lançamentos, retificações de leitos e canalizações, e pelos usos e ocupações sobre o solo das bacias hidrográficas, por exemplo construções, vias impermeabilizadas e atividades industriais, o que implica em alterações topográficas, substituição de coberturas vegetais, geração de resíduos, aceleração de processos erosivos, impermeabilização das superfícies, entre outros.

A degradação da qualidade da água em bacias hidrográficas urbanizadas começa simultaneamente com o uso e ocupação de sua superfície no processo de desenvolvimento das cidades. No início desse processo a erosão do solo, pela ação do escoamento das águas de chuva nas áreas ocupadas, carrega grande quantidade de sedimentos aos córregos e ribeirões dentro das bacias em urbanização. Com o avanço da ocupação urbana ocorre o aumento da população residente, dos fluxos de veículos e materiais, da área de influência urbanizada e das condições de impermeabilização e desgaste do solo. Essa dinâmica, paulatinamente reflete em impactos aos corpos d'água urbanos expandindo as alterações sobre meio natural e a inserção de novas variáveis às características das bacias hidrográficas, tais como o aporte de resíduos e poluentes oriundos de outras áreas.

Uma das maiores expressões da urbanização nas cidades brasileiras tem estado relacionada à criação de áreas impermeabilizadas no interior das cidades, seja devido à extensa malha viária ou ao excessivo parcelamento do solo urbano que avança sobre áreas naturais. Este fenômeno tem como consequência o aumento dos volumes de escoamento superficial e a potencialização do carreamento de poluentes que foram acumulados nas superfícies das ruas e edificações em consequência de atividades urbanas. Além disso, os espaços das cidades, relativamente pequenos e congestionados, se aglomeram pessoas, usos e resíduos que, em decorrência da falta de controle, produzem efeitos negativos diretos na infraestrutura de saneamento entendida como abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem urbana e controle de inundações (TUCCI, 2005).

No contexto do saneamento urbano, por mais abrangentes que sejam as políticas públicas específicas e por maior que tenham sido os esforços nas esferas política, técnica e econômica para conter e controlar a poluição urbana, ainda é insipiente a atenção que se dá em relação à poluição difusa proveniente da ocupação urbana em geral e principalmente nas pequenas e médias cidades brasileiras (PRODANOFF, 2005). A poluição difusa ocorre com a urbanização havendo introdução de novas fontes de poluentes com o consequente aumento de cargas. Tem sido verificado que as áreas impermeáveis urbanas acumulam poluentes nos períodos entre os eventos de chuva (BATISTA *et al.*, 2005; PRODANOFF, 2005; DOTTO, 2006; POLETO, 2007) e que esses poluentes são lavados das superfícies sendo rapidamente direcionados aos sistemas hídricos através do escoamento superficial. Na origem desses poluentes estão a circulação de automóveis com emissão de hidrocarbonetos, metais, óxidos de nitrogênio e desgaste dos pavimentos; atividades de indústrias com produção de metais e micropoluentes orgânicos; excretas animais gerando matéria orgânica proveniente de dejetos, bactérias e vírus; resíduos sólidos urbanos tais como plásticos, metais, poeira; a erosão de solos e canteiros de obras (matéria em suspensão) e vegetação onde ocorre lançamentos de matéria orgânica, fertilizantes, pesticidas e herbicidas (BAPTISTA *et al.*, 2005). Dos poluentes gerados, tem especial interesse os metais traço por ser um grupo de

elementos associados à poluição, contaminação e toxicidade no meio ambiente.

O escoamento pluvial sobre as superfícies impermeáveis urbanas pode aumentar de forma significativa o carreamento dos sedimentos e dos poluentes a eles associados carregando-os para fora do seu meio e vindo a depositá-los mais a jusante em cursos d'água. Tem-se verificado que a carga de poluição das águas pluviais mostra-se bastante expressiva sendo muitas vezes equivalente, ou eventualmente superior, às cargas poluentes dos esgotos sanitários, principalmente se observadas em uma escala reduzida de tempo (BATISTA *et al.*, 2005, p.19-20; PRODANOFF, 2005). Esses poluentes estão associados principalmente aos sedimentos de diâmetro menor a  $63\mu\text{m}$  (fração argila e silte) em função da maior capacidade desses sedimentos em possibilitar trocas de cátions, ter maior capacidade de armazenar água e de se ligar a fração orgânica. Essas frações de menor diâmetro influenciam diretamente na qualidade de sedimentos urbanos (POLETO, 2008 p.59) merecendo destaque nos estudos de caracterização das fontes difusas. Deve ser considerado, porém, que em qualquer estudo que tenha como foco a poluição difusa urbana, deve-se ter em mente que a caracterização da poluição dos escoamentos urbanos tem difícil abordagem em decorrência da complexidade das fontes poluentes e seus componentes além dos problemas de monitoramento durante eventos de chuvas intensas (PRODANOFF, 2005).

A intensificação dos impactos hidrológicos e ambientais decorrentes da urbanização tornou a questão urbana mais complexa envolvendo o conceito de sustentabilidade e qualidade de vida que, neste trabalho, serão mais especificamente associados aos aspectos da acumulação, geração e caracterização de sedimentos sobre as superfícies urbanas ligadas à drenagem pluvial.

O presente estudo está inserido na linha de pesquisa de planejamento e gestão de recursos hídricos, sendo que o fenômeno da acumulação de sedimentos e suas características de potencial fonte de poluição difusa foram estudados tendo como foco a quantidade acumulada de sedimentos sobre superfícies de sarjetas em um loteamento, suas

características granulométricas e a ocorrência de metais traço nos sedimentos.

Este estudo tem como objetivo contribuir para o conhecimento das características poluidoras decorrentes de fontes difusas em ambiente urbano visando o desenvolvimento de metodologias de controle, gestão e melhoria da qualidade das águas que cortam áreas urbanas através do conhecimento do fenômeno de acumulação, distribuição granulométrica e carga de metais traço potencialmente disponíveis como poluentes aportados aos cursos d'água.

## 2 OBJETIVOS

O objetivo geral dessa pesquisa é investigar o processo de acumulação de sedimentos secos sobre superfícies impermeáveis, sua caracterização e a relação da ocupação urbana na produção de sedimentos secos.

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Quantificar a massa média de sedimentos acumulados em uma área urbana residencial;
- Caracterizar a distribuição granulométrica dos sedimentos acumulados na área de estudos;
- Identificar a ocorrência dos metais traço Zn, Cu, Ni, Cd, Cu e Pb presentes nas frações de diâmetro menor ou igual a  $63\mu\text{m}$ ;

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 – As águas em meio urbano e poluição hídrica**

O ciclo hidrológico ocorre em estado de equilíbrio em áreas naturais, especialmente quando se trata das águas subterrâneas e das águas de superfície. Este equilíbrio, embora basicamente dinâmico e dependente da frequência de eventos extremos, de longos períodos de seca e do padrão de chuvas sazonais é fundamentalmente alterado quando a terra está sujeita a urbanização.

A principal característica do desenvolvimento das cidades nos moldes da sociedade urbana atual está associada com a expansão de superfícies impermeáveis decorrentes da pavimentação do solo (principalmente vias de tráfego) e edificações. A impermeabilização do solo nas cidades causam basicamente dois impactos importantes. Em primeiro lugar, chuvas extremas sobre estas superfícies terão seu regime de escoamento alterado podendo produzir inundações e impactos em cursos d'água localizados a jusante se a superfície de escoamento não é gerida adequadamente. Em segundo lugar, o escoamento das águas pluviais (escoamento superficial) sobre as superfícies impermeáveis irá transportar um grande número de poluentes que são principalmente resultantes da atividade humana, relacionados com a entrada de particulados atmosféricos, materiais utilizados para as construções e tráfego de veículos automotores, entre outros (HVITVED-JACOBSEN *et al.*, 2010, p.1).

Sobre aspectos da água no meio urbano, Tucci (2005) afirma que entre os impactos provocados como consequência direta da urbanização em um primeiro momento está a contaminação dos mananciais superficiais e subterrâneos com os efluentes urbanos tais como as águas pluviais contaminadas, além de esgoto doméstico e resíduos sólidos.

Com as precipitações sobre áreas urbanizadas ocorre a lavagem de partículas em suspensão da atmosfera bem como de materiais que ficam acumulados sobre as superfícies durante períodos secos, o que acaba tornando os escoamentos sobre os pavimentos viários uma fonte de poluição difusa de origem antropogênica de grande importância, quer devido à sua grande dispersão espacial quer pela própria natureza dos poluentes transportados por estes escoamentos.

Segundo Prodanoff (2005), os escoamentos superficiais, compostos pelas águas das chuvas, pelos fluxos ocorrentes em áreas em construção e pela vazão de base (contaminada), têm sido apontados como causadores de impactos significativos nos corpos d'água receptores e no habitat aquático. Esses efeitos são obviamente mais severos para pequenos corpos receptores que recebem fluxos de bacias de drenagem em franco desenvolvimento e com altas taxas de urbanização. Segundo o autor, alguns estudos têm demonstrado a existência de impactos significativos sobre a vida aquática de rios cujo grau de urbanização de sua bacia era menor que 10%.

Esses efeitos de contaminação por águas pluviais têm sido motivo de preocupações por parte de técnicos e gestores urbanos. Desde o século XIX, com o desenvolvimento da microbiologia, já se evidenciava o papel sanitário das águas pluviais na transmissão de doenças, no aspecto do contato com essas águas através de enchentes e inundações. Apesar disso, o conhecimento do fenômeno de poluição por águas pluviais e o estudo de seus impactos são relativamente recentes no Brasil (BAPTISTA *et al.*, 2005) e mesmo em países europeus onde, segundo Pernagorda (2007), apesar da drenagem urbana ter uma longa história, a clara concepção de que a drenagem urbana pode estar associada a problemas de saúde pública e à poluição ambiental é relativamente recente.

Estudos têm sido realizados para a comprovação de que a urbanização provoca um aumento na quantidade de poluentes nas bacias hidrográficas, destacando-se os sedimentos, matéria orgânica, bactérias, metais traço, hidrocarbonetos, pesticidas, etc. (PRODANOFF, 2005; BICALHO, 2006; DOTTO, 2006; POLETO, 2007; VIEIRA, 2008; GOMES, 2008; SILVA, 2009), o que tem gerado preocupações crescentes por parte do

meio técnico e de alguns setores da administração pública, ainda que de maneira indireta, no contexto da proteção dos corpos d'água urbanos e do controle da poluição por fontes difusas provocadas pela drenagem pluvial.

Sobre a capacidade poluidora da drenagem urbana, verifica-se que a previsão dos impactos sobre a qualidade da água e os seus respectivos controle e tratamento encontram barreiras devido a sua grande variabilidade espacial e temporal o que dificulta ainda mais a abordagem da questão e talvez seja a razão de haver tão pouca atenção sobre este tipo de poluição na maioria das cidades brasileiras.

Nos moldes nacionais de gestão e planejamento urbano pode-se verificar que a ocupação nas cidades tem estado diretamente relacionada à perda de qualidade ambiental e, mais especificamente, à perda de qualidade hídrica, sendo que ocorrem no ambiente antropicamente alterado o acúmulo sistemático de poluentes diversos que são provenientes dos usos urbanos e da ocupação desordenada do solo podendo ser levados aos rios e córregos, atingindo inclusive mananciais de abastecimento público.

Araújo (2005) afirma que pesquisas mostraram que os rios componentes de bacias hidrográficas urbanas têm um caráter fundamental de diferenciação, quando comparados com os pertencentes às bacias hidrográficas florestais, rurais ou mesmo agrícolas, ou seja, possuem condições extremamente particulares em função dos fenômenos envolvidos em seus processos de autodepuração com consequências diretas sobre sua fauna, flora e características de atendimento às necessidades humanas.

### **3.2 – Características da poluição pluvial.**

O conjunto de interferências diretas e indiretas sobre a qualidade da água de um curso d'água caracteriza um estado geral que recebe a denominação de poluição das águas. Entende-se por poluição das águas a adição de substâncias ou de formas de energia que, direta ou indiretamente,

alterem a natureza do corpo d'água de uma maneira tal que prejudique os usos legítimos que dele são feitos (VON SPERLING, 1996).

As duas fontes básicas de poluentes que podem atingir um corpo de água são a poluição pontual e a poluição difusa.

A poluição pontual é facilmente determinada e compreendida em decorrência de suas características de lançamento, ou seja, geralmente trata-se de uma fonte única com localização bem definida.

Entre as fontes difusas de poluição, o foco do presente estudo refere-se ao escoamento superficial urbano gerado por eventos de precipitação pluvial que funcionam como transporte de vários poluentes acumulados nas áreas urbanas. A poluição pelo escoamento superficial tem origem no ciclo hidrológico, uma vez que os eventos de precipitação promovem a lavagem dos poluentes atmosféricos e o escoamento superficial gerado será o responsável pelo transporte dos poluentes dispostos sobre as superfícies. O escoamento superficial, tanto em áreas rurais como urbanas, é reconhecido como uma das principais causas de poluição dos corpos d'água, uma vez que promove a lavagem das superfícies carreando grandes quantidades de poluentes para os corpos d'água, constituindo-se em importante fonte de degradação destes (PAZ, 2007, p.8). Nesse contexto, a poluição por cargas difusas é um fenômeno aleatório como o evento hidrológico responsável pela sua ocorrência.

*A natureza transiente e imprevisível das fontes de poluentes, seus mecanismos de lançamento e as diferenças dos intervalos de tempo entre os eventos chuvosos também contribuem para a grande variabilidade dos processos de produção e transporte de poluentes. Como resultado, a concentração de poluentes e outras características das tempestades em uma determinada localidade flutuam significativamente durante um simples evento hidrológico e de evento para evento (PRODANOFF, 2005, p.15).*

No caso da poluição difusa provocada pelo processo de urbanização, por sua natureza, muitas vezes indeterminada, Novotny, (1991 apud PORTO, 1998), caracteriza essas fontes através de cinco condições:

- O lançamento da carga poluidora é intermitente e está relacionado à precipitação;

- Os poluentes são transportados a partir de extensas áreas;
- As cargas poluidoras não podem ser monitoradas a partir de seu ponto de origem;
- O controle da poluição de origem difusa deve incluir ações sobre a área geradora da poluição, ao invés de incluir, apenas, o controle do efluente quando do lançamento;
- É difícil o estabelecimento de padrões de qualidade para o lançamento do efluente, uma vez que a carga poluidora lançada varia de acordo com a intensidade e duração do evento meteorológico, extensão da área de produção naquele evento e com outros fatores.

Segundo Hvitved-Jacobsen *et al.* (2010, p.3), a gestão da poluição proveniente do escoamento superficial em áreas urbanas e das estradas é complexo em comparação com a poluição proveniente de uma específica e bem definida fonte como uma estação de tratamento ou uma indústria. Para os autores, o fenômeno de poluição pluvial se caracteriza pelas seguintes características:

- Previsibilidade - A chuva é um fenômeno estocástico. Características estocásticas relativas à poluição ocorrem, portanto, em função das características particulares de cada evento de escoamento. Fenômenos específicos de poluição ficam condicionados em termos de probabilidade de ocorrência de chuvas e frequência de ocorrência (ou período de retorno) sendo, portanto, necessárias e relevantes as pesquisas quanto à previsão de tais eventos;
- As condições climáticas locais - O clima em um local específico determina o padrão de precipitação (por exemplo, a altura de chuva anual, a distribuição das chuvas sazonais, eventos de chuva característicos e temperatura). O clima local, assim, afeta a carga de poluente e seus impactos são diferentes durante as quatro estações do ano;
- Fontes difusas - Em comparação com as fontes pontuais contínuas não é possível identificar fontes estacionárias e móveis indefinidas. Além disso, a ocorrência estocástica e indeterminada ou lançamentos ilegais podem contribuir para a poluição do escoamento. É,

portanto, impossível fazer uma descrição pormenorizada correspondente da entrada dos poluentes para o ambiente urbano;

- Poluentes - A identificação de quais são os poluentes mais importantes é geralmente complexo e bem menos definido do que é o caso de descargas contínuas de fontes pontuais, como efluentes de estações de tratamento de águas residuais. As cargas dos poluentes podem variar e diferentes poluentes têm diferentes destinos e impactos ambientais, dependendo do tipo de ambiente para o qual se direcionam. Características de poluentes específicos em termos de sua natureza de efeitos agudos ou cumulativos podem determinar diretamente quais medidas de gestão são viáveis e relevantes. A água de escoamento é, em grande medida, caracterizada por carrear substâncias inorgânicas associados com partículas pequenas e tem, tipicamente, um teor relativamente baixo de matéria orgânica biodegradável. Essa água poluída, portanto, não é adequada para tratamento convencional de esgoto.

Diluição - Mesmo tempestades moderadas podem gerar grandes volumes de água de escoamento superficial durante um curto período de tempo e com relativamente baixas concentrações de poluentes. Portanto, as características específicas da chamada poluição pluvial urbana requerem métodos e tecnologias que são completamente diferentes em comparação com aqueles comuns para o tratamento convencional das águas residuais domésticas.

Quanto às fontes de poluentes no escoamento de águas pluviais, são potencialmente várias. Em geral, cada local tem suas fontes e contribuições dominantes específicas. Em um contexto mais amplo, os seguintes fenômenos afetam a ocorrência de poluentes no escoamento de áreas e vias urbanas:

- As condições climáticas em termos de padrão de chuvas, a ocorrência de neve durante o inverno (em países de clima temperado e frio), ventos e temperatura;
- Os usos da terra como, por exemplo, os usos residencial, comercial e concentrações industriais;

- Características de manutenção e gestão da limpeza pública, por exemplo, varrição de ruas, o uso de herbicidas e os procedimentos para coleta e gestão de resíduos sólidos urbanos;
- Uso de materiais na construção civil e tráfego, por exemplo, telhados de cobre e lonas de freio;
- Derrames acidentais em áreas urbanas e em estradas;
- O volume de tráfego, velocidade e cultura tráfego;
- A idade e manutenção de veículos;
- Leis e regulamentos (HVITVED-JACOBSEN, 2010, p.131).

A poluição de origem pluvial é rapidamente mobilizada por eventos de precipitação intensa em superfícies impermeabilizadas, resultando em efeitos de choque de poluição nos meios receptores. Para Leitão (2004), os efeitos das descargas de águas de drenagem no ambiente não conduzem habitualmente a situações de poluição pontual aguda nos solos ou massas de água. São, sim, os seus efeitos em longo prazo que originam fenômenos de poluição resultantes da fraca degradabilidade da maioria das substâncias, das quais se destacam os metais traço.

### **3.3 - Formas de transporte de poluentes sobre superfícies urbanas**

Em áreas urbanizadas foram identificadas duas formas principais de transporte dos poluentes constituindo fontes difusas de poluição com impactos sobre a qualidade das águas: a deposição atmosférica e os escoamentos resultantes da passagem da chuva pelas superfícies impermeáveis urbanas, em especial o pavimento viário.

Alguns dos poluentes temporariamente acumulados nas superfícies impermeáveis são depositados por via atmosférica decorrentes da ação dos ventos e correntes de ar. Estes poluentes aparecem na forma gasosa (substâncias voláteis), aerossóis (partículas líquidas, em geral associadas a gotas de água ou nevoeiro) e partículas suspensas (poeiras). Os poluentes

presentes na atmosfera podem ter origem em fontes estacionárias ou móveis, dentro ou fora da zona de deposição sobre as superfícies urbanas, provocados pelo aquecimento de caldeiras, tráfego, erosão do solo e indústrias ou de outras fontes similares distantes.

A lavagem pela chuva de superfícies urbanas tais como telhados, estacionamentos, rodovias desgastadas pelo grande movimento de veículos, áreas desprovidas de cobertura vegetal, centros comerciais, plantas industriais, etc., degrada a qualidade da água do escoamento superficial pelo carreamento de contaminantes que são carreados de diversas maneiras no caminho da precipitação (VACARI *et al.*, s.d.).

As formas de transporte de poluição difusa urbana são tão mais complexas quanto forem as condições de uso e ocupação da área urbanizada, podendo ser ampliadas em função de aspectos de má gestão do crescimento urbano, fatores climáticos específicos ou de atividades poluentes existentes nas áreas de drenagem das águas pluviais. O aumento da velocidade e volume da água durante eventos de chuva, transportando poluentes, pode causar muitos impactos que apresentam consequências bastante onerosas, além de prejudicar o corpo d'água receptor e interferir nas condições sanitárias (DOTTO, 2006).

### **3.4 - Principais tipos de fontes e de poluentes no escoamento urbano**

Segundo Martinez (2010), as fontes de poluição relacionadas ao escoamento superficial são comuns em qualquer tipo de área em uma cidade, no entanto, algumas delas podem ver-se modificadas pelas condições climáticas predominantes (intensidade e direção do vento e dinâmica atmosférica); pelo grau de urbanização da área, o qual define a taxa de áreas impermeáveis e pela vocação socioeconômica do uso do solo, o qual se reflete no fluxo veicular presente, sistemas de drenagem, material de construção da rua, densidade de árvores e taxa de acumulação de sedimentos.

Estudos têm demonstrado que no caso dos ambientes urbanos, devido à política de desenvolvimento rodoviário empregado na gestão e planejamento das cidades, a atividade de tráfego de veículos automotores tem merecido destaque como fonte de poluição difusa com impactos sobre os recursos hídricos. Sobre as principais fontes de poluentes urbanos, podemos citar Leitão *et al.* (2007) e Pitt (2004), que afirmam que uma grande variedade de metais traço e micropoluentes orgânicos aparecem como resultado do tráfego de automóveis. Yetimoglu *et al.* (2008) também concluíram que o tráfego de veículos representa a mais importante fonte de poluição para os estudos ambientais. Sobre esse tipo específico de fonte difusa temos a considerar que um grande número de condições externas influencia a extensão da poluição associada ao tráfego rodoviário. São exemplos: a intensidade de tráfego, o estado geral de manutenção do veículo e das vias, os materiais usados na construção de veículos e dos pavimentos rodoviários.

O Pb, Cu, Zn, Cd e, por vezes, Ni e Cr, são considerados os metais traço mais importantes associados a fontes móveis e estacionárias e passíveis de serem transportados para os cursos d'água através do escoamento superficial. Os poluentes orgânicos constituem o segundo grupo de poluentes principais. Entre estes, os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA) e os hidrocarbonetos totais (HT) resultantes da combustão parcial da gasolina, são os que são usados com maior frequência como indicadores deste tipo de poluentes. Partículas oriundas dos escapamentos, as perdas de fluido, vazamentos, derrames e produtos de desgaste mecânicos podem contribuir para o acúmulo de sujeira nas ruas. A maioria destes poluentes de automóveis afetam áreas de estacionamentos e superfícies viárias. No entanto, alguns dos materiais relacionados ao uso de automóveis também afetam as zonas adjacentes às vias e, às vezes, relativamente distantes das áreas de tráfego. Isso ocorre através do mecanismo de transporte por ressuspensão através da ação do vento (PITT, 2004).

A principal fonte de poluição por chumbo tem sido os combustíveis fósseis através de compostos de Pb utilizados para melhorar o desempenho

dos combustíveis. Tem sido demonstrado que solos próximos às estradas contêm quantidades elevadas de Pb que é principalmente originado a partir da combustão de petróleo. A abrasão de Pneus e corrosão de cercas de segurança nas estradas contribuem para a maior parte do zinco presentes nos solos próximos às vias de tráfego. O uso de lonas e pastilhas de freio, vazamentos, abrasões e derramamentos de veículos são as principais fontes de poluição para outros metais, especialmente para o cobre (YETIMOGLU *et al.*, 2008).

Sobre as principais fontes poluentes, móveis ou estacionárias, associadas à construção ou exploração de infra-estruturas rodoviárias, pode-se destacar:

Pneus - Uma porção considerável do Zn total encontrada em escoamentos rodoviários tem como origem o desgaste dos pneus, oriundo principalmente do Óxido de Zinco (usado na fabricação da mistura de borracha) e o Zinco presente na liga usada no revestimento dos filamentos metálicos. Além disso, Pitt (2004) verificou que o desgaste do pneu de automóvel é uma importante fonte de zinco em escoamentos urbanos sendo geralmente depositado em superfícies de ruas e áreas adjacentes próximas.

Freios - Quanto à influência do sistema de freios dos automóveis na poluição das superfícies viárias Muschack, (1990) e Sansalone & Buchberger, (1996), afirmam que o desgaste dos sistemas de freios origina a emissão de metais traço: Cr, Ni, Pb, Fe, Amianto, Cu e Mn. A composição exata do revestimento dos freios, discos e tambores varia em função do fabricante e, frequentemente, não é especificada. Os compostos mais comuns incluem amianto orgânico, metálico com ligações por resinas, aglomerados metálicos e carbono (LINDGREN, 1995). A presença de poluentes orgânicos pode ser justificada por vazamentos de fluidos hidráulicos lubrificantes.

Pavimentos rodoviários - Pernagorda (2007) menciona que, embora sem a importância quantitativa assumida pelos gases de combustão dos veículos, os metais e hidrocarbonetos nos escoamentos rodoviários têm também origem no desgaste nos materiais de constituição dos pavimentos rodoviários. Os poluentes resultantes do desgaste do pavimento dependem

fundamentalmente do tipo de pavimento, assumindo particular relevância os pavimentos asfálticos, constituídos por uma mistura de agregados (aproximadamente 95%) e asfalto. A complexidade da composição do asfalto torna a sua caracterização química difícil. É um hidrocarboneto formado por uma mistura complexa de diversas formas químicas. Podem ser identificados grupos de substâncias orgânicas e pequenas quantidades de metais como o vanádio, níquel, ferro, manganês, cálcio, etc. A composição precisa depende da origem do crude que serve de matéria prima para o fabrico do asfalto e das suas futuras transformações. O agregado utilizado nos pavimentos é frequentemente negligenciado no que se refere aos íons metálicos descarregados. As partículas granulares resultantes do desgaste de pavimentos asfálticos têm uma grande capacidade de adsorção de íons metálicos, podendo ainda transportar outros poluentes. Esta capacidade é fortemente influenciada pela área superficial, pelo pH e pelo tipo de minerais das partículas. (PERNAGORDA, 2007 p.19-24).

Sistema de escapamento de gases - Pitt (2004) também dá destaque para as partículas de escapamentos de automóveis que, segundo o autor, contribuem para o acúmulo de muitos metais traço importantes que ficam relacionados aos sedimentos em superfícies impermeáveis e urbanas sendo direcionados por escoamento para águas receptoras. O mais notável destes metais traço tem sido o chumbo.

A Tabela 1 adaptada de Leitão *et al.* (2012) apresenta um quadro resumo sobre as principais origens de poluentes no ambiente viário.

Tabela 1 - Síntese de poluentes do ambiente rodoviário e respectivas origens.

Tipos de poluentes	Pneus	freios	Combustível e/ou óleo do motor	Óleos lubrificantes	Materiais dos veículos	Pavimento	Lixos	Cercas de segurança	Solo, poeiras da carroceria, vegetação, excrementos de animais e fertilizantes
Cádmio	X	X							
Chumbo	X	X	X						
Cobre	X	X			X				
Cromo	X	X			X				
Ferro	X				X				
Níquel	X								
Vanádio			X	X					
Zinco	X	X	X		X			X	
Hidrocarbonetos			X						
HAP			X		X	X			
Nutrientes			X						X
Matéria orgânica						X	X		X
Partículas	X	X				X			X
Microrganismos							X		X
Sais									X

Fonte: Adaptado de LEITÃO *et al.*, 2012.

Em áreas urbanas tem-se verificado que as vias de tráfego são as maiores fontes de poluição difusa para os cursos d'água e para a rede de drenagem em geral (DOTTO, 2006; MARTINEZ, 2010).

Pavimentos asfálticos são geralmente identificados como fontes importantes de metais traço e PAHs, enquanto que as áreas gramadas e cobertas de vegetação são importantes fontes de sedimentos e nutrientes (PITT *et al.*, 2004).

### 3.5 – Acúmulo de sedimentos em superfícies urbanas

Os sedimentos podem ser definidos como fragmentos de rochas e solo desagregados pelo processo de intemperismo e erosão. Além das partículas minerais, as partículas orgânicas também são consideradas sedimentos. Quando os sedimentos são transportados pelo escoamento dentro da calha fluvial, passam a ser denominados de sedimentos fluviais (POLETTO & CASTILHO, 2008).

O estudo de sedimentos urbanos através da perspectiva da sedimentologia ambiental é relativamente novo. As pesquisas nesta área originaram-se pela crescente preocupação sobre os efeitos das partículas

urbanas em relação à saúde pública e que inicialmente foram focadas nas partículas depositadas em ruas e estradas (Prodanoff, 2005).

Os sedimentos são gerados durante o processo de desenvolvimento urbano no qual são observados três estágios distintos da produção de sedimentos: o inicial, o intermediário e o final. O estágio inicial ocorre quando a cobertura da bacia é modificada pela retirada da proteção natural, deixando o solo desprotegido e propiciando uma maior erosão em períodos chuvosos. Em áreas urbanas isso pode ocorrer, por exemplo, em áreas de grandes construções ou na fase de implementação de loteamentos, onde ocorre grande movimentação de terra, que é transportada pelo escoamento superficial. No estágio intermediário, há uma movimentação de terra devido ao surgimento de novas construções, mas, parte da produção de terra está estabelecida. No estágio final, as superfícies urbanas estão estabilizadas, restando apenas produção de resíduos sólidos urbanos com apenas algumas parcelas de sedimentos em áreas de construção (TUCCI, 2003).

O estudo da acumulação dos sedimentos urbanos deve levar em conta as características estocáticas e dinâmicas do fenômeno de deposição de sedimentos sobre as superfícies. Esse fenômeno envolve variáveis tais como o tipo de ocupação e uso nas áreas próximas, nível de urbanização, características dos ventos, taxa de permeabilidade do solo, características do tráfego nas vias, existência de vegetação, frequência da varrição pública, entre outras. Tanto as origens quanto a composição dos diversos sedimentos são influenciados pelas diversas variáveis envolvidas no processo de acumulação .

Normalmente há uma tendência a se referir a sedimentos considerando-os como parte do solo de uma área, porém, os sedimentos estudados têm, em sua composição, elementos exógenos à bacia em função de sua ocupação urbana e características de expansão construtiva. Nesse aspecto tem-se, cimento, asfalto, britas, matéria orgânica, etc. De uma forma geral, apesar dos sedimentos urbanos serem encontrados em diferentes contextos na literatura científica e no passado ter feito referência especialmente aos sedimentos acumulados nas superfícies impermeáveis das ruas pavimentadas, pela conceituação moderna estes representam qualquer

sedimento encontrado dentro de um ambiente urbano (POLETO, 2007, p. 14).

Em geral, uma partícula de sedimento pode ser composta por:

- Água intersticial que preenche os espaços entre as partículas, equivale a cerca de volume 50% do sedimento;
- Material inorgânico, rochas, fragmentos de conchas e grãos resultantes da erosão natural do material da crosta terrestre;
- Material orgânico que ocupa pequeno volume, mas é um componente importante devido à característica de sorção e biodisponibilidade de muitos contaminantes;
- Materiais e/ou resíduos sólidos de origem antrópica.

No que se refere aos impactos relativos à acumulação de sedimentos considera-se nesse estudo que a avaliação e caracterização quali-quantitativa dos sedimentos presentes nas superfícies urbanas podem indicar o grau de degradação ambiental a que ficam submetidas as águas que atravessam as cidades.

Os sedimentos que se depositam em superfícies urbanas podem vir de fontes naturais e/ou antropogênicas e, frequentemente, podem ser classificados em sedimentos minerais, orgânicos (biogênicos) e partículas de sedimentos de origem antropogênicas. Partículas de origem antropogênica presentes em grandes quantidades em ambientes urbanos, formadas por partículas de vidro, partículas metálicas, resíduos de processos industriais e da construção civil, apresentam propriedades químicas e mineralógicas diferentes das partículas de sedimentos de fontes naturais, portanto, interagem de forma diferente dentro do ambiente (POLETO, 2007).

Segundo o California Department of Transportation, as partículas de sedimentos são responsáveis pelo potencial de contaminação química presente em reservatórios de água. Os sedimentos podem também transportar patógenos humanos (vírus, bactérias e protozoários) e reduzir a eficácia de estratégias de desinfecção. Em alguns casos, pesquisadores usam medições de partículas em suspensão (turbidez) como um indicador de cargas contaminantes em função da estreita relação entre os sedimentos e o impacto poluidor em cursos d'água. No entanto, tem-se verificado na

literatura que regras gerais publicadas para se determinar sobre a relação entre partículas, contaminantes e toxicidade tem se mostrado complexa devido às indefinições do que se pode denominar de um "contaminante particulado", além da natureza específica de cada local pesquisado e os métodos de pesquisa associados com base no tamanho das partículas. (CALIFORNIA, 2003).

As fontes de sedimentos urbanos mudam durante o crescimento do processo de urbanização. As fontes iniciais de sedimentos estão associadas a atividades da construção que ocasionam distúrbios na superfície do solo. Depois que estes locais em desenvolvimento atingem certa estabilização, a carga de sedimento liberada aos cursos d'água é reduzida. As taxas de produção de sedimentos do período de pós-desenvolvimento comumente são menores que aquelas presentes na condição de pré-desenvolvimento, não sendo porém, uma regra (TUCCI, 1995, 2005).

Sobre a acumulação de sedimentos sobre as vias urbanas, estudos nos EUA mostraram que a distribuição de sedimentos ao longo de uma rua é muito assimétrica, com mais de 80% dos sedimentos ocupando uma faixa situada a 15 cm do meio fio (sarjeta). Zafra *et al.* (2008) verificaram também que a distribuição granulométrica dos sedimentos em uma seção de rodovia possui diferenças sendo que na faixa de rodagem os sedimentos tendem a ser menos grosseiros do que nas sarjetas. Deletic *et al.* (2000) e afirmam que, em relação à massa, há uma distribuição não uniforme dos sedimentos urbanos sobre as superfícies impermeáveis e descreve que 10% desses sedimentos encontram-se na superfície principal da rua (eixo) e 90% na sarjeta, sendo a sarjeta definida como uma faixa de 50 cm de largura a partir do meio fio.

Eventos de chuva têm sido relacionados ao acúmulo de sedimentos sobre áreas impermeáveis ao mesmo tempo em que lavam estas superfícies quando ocorrem escoamentos superficiais. Segundo Zafra (2008), outro processo importante de acumulação é decorrente da ação do vento natural e do vento induzido pelo do tráfego de veículos e é, principalmente, um processo característico de períodos secos.

Segundo Prodanoff (2005), o acúmulo de sedimentos e poluentes em áreas urbanas é um processo complexo que depende da deposição atmosférica diária e também de outras fontes, como a remoção pela varredura das ruas e a lavagem pelo escoamento superficial.

Taxas de acumulação de sedimentos no meio urbano de diferentes fontes são apresentadas na Tabela 2. As taxas dadas por AMY *et al.*, (1974) e SARTOR e BOYD (1972) são valores médios baseados em um conjunto de dados levantados em diversas áreas urbanas.

Tabela 2 - Taxas de acumulação de sedimentos (sólidos) urbanos. Unidades em  $\text{kg.km}^{-1}.\text{meio-fio}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ .

Uso do solo	AMY <i>et al.</i> (1974)	SARTOR & BOYD (1972)
Residencial	42	...
Residencial unifamiliar	...	48
Residencial multi-familiar	...	66
Comercial	21	69
Industrial	...	127
Industrial leve	110	...
Industrial pesada	57	...
Parques	...	...
Espaços abertos	3,4	...

Fonte: Adaptado de PRODANOFF, 2005, p. 78)

Zafra *et al.* (2008) determinou em uma rodovia na Espanha que a média total de carga, depositada por dia de tempo seco na estrada variou de  $1,2\text{g.m}^{-2}$  a  $2,7\text{g.m}^{-2}$ , estabelecendo que a diferença existente na densidade residencial e a uma maior exposição ao ação do vento entre as zonas estudadas determinou a diferença. Estes autores também verificaram que a velocidade do vento superior a  $21\text{km.h}^{-1}$  produziu um ressuspensão de partículas acumuladas sobre a estrada e mostraram que uma partícula de  $246\mu\text{m}$  pode ser novamente suspensa por massas de ar com velocidades de vento superiores a  $8,05\text{km.h}^{-1}$  devendo ser considerado que além disso, o efeito das correntes de ar geradas pelo tráfego desgaste e ressuspensão do sedimento.

Para Martinez (2010), o estudo de acumulação de sedimentos através da medição direta no escoamento não é possível, ou melhor, não é a forma mais adequada para a medição, uma vez que as cargas encontradas no escoamento são resultantes do efeito integrado dos processos de acumulação e carreamento e que podem comprometer a análise. Em condições de chuva, a turbulência dentro das bocas de lobo limita a sedimentação de partículas e

também facilita a ressuspensão de outras, provocando mudanças físicas nas partículas. Não é viável, portanto, a medição diretamente no escoamento.

A acumulação em superfícies impermeáveis pode ser descrita como um processo de equilíbrio dinâmico agindo entre a deposição e a remoção em um ponto e entre as áreas de contribuição ou não. Existem grandes incertezas quanto à qualidade e quantidade dos materiais sólidos que chegam ao sistema de drenagem e a avaliação destas informações é muito limitada no Brasil. Geralmente conhece-se a quantidade de material sólido coletado em cada área, mas não se conhece o quanto efetivamente chega à drenagem (TUCCI, 2005)

### **3.6 – Relações entre poluentes e o tamanho das partículas**

Poleto & Castilho (2008, p.193) afirmam que, embora danos causados pelos sedimentos estejam geralmente relacionados ao assoreamento de corpos d'água, problemas de ordem química são causados principalmente por sedimentos de granulometria fina (siltes e argilas) que atuam no processo de transferência de poluentes e nutrientes da bacia vertente para os corpos receptores.

Os sedimentos não são somente um dos maiores poluentes da água, mas também servem como catalisadores, carreadores e como agentes fixadores para outros componentes poluidores. Eventualmente cargas de sedimentos são capazes de degradar a qualidade da água para consumo humano, para recreação, para o consumo industrial, infraestruturas hidroelétricas e vida aquática. Adicionalmente, produtos químicos e resíduos sólidos são assimilados sobre e dentro das partículas de sedimento. Trocas iônicas podem ocorrer entre o soluto e o sedimento. Dessa forma, as partículas de sedimento agem como um potencializador dos problemas causados por pesticidas, agentes químicos decorrentes de resíduos sólidos,

resíduos tóxicos, nutrientes, organismos patogênicos, etc. (CARVALHO et al., 2000).

O entendimento da contribuição de cada fonte de poluentes associados a sedimentos em áreas urbanas tem se tornado uma justificativa para avançar na formulação de instrumentos que permitam incorporar a área de qualidade de sedimentos à gestão dos recursos hídricos urbanos (BAPTISTA, 2005). A definição da distribuição granulométrica dos sedimentos propagados no sistema de drenagem até o corpo receptor é considerada um elemento importante no entendimento do processo e desenvolvimento de projetos adequados dos componentes do sistema de drenagem, uma vez que se podem definir as granulometrias propagadas até o corpo receptor e as partículas que ficam retidas nas bocas de lobo (DOTTO, 2006).

A quantificação dos resíduos sólidos e o estudo de seu potencial poluidor são essenciais para uma adequada gestão das fontes e redução dos resíduos sobre os sistemas hídricos (MARLLUS & TUCCI, 2008 p.43). O potencial poluidor dos sedimentos tem relação com sua distribuição granulométrica. Charlesworth & Lees (1999) relatam que é importante definir a distribuição de metais traço nos sedimentos coletados em ruas em termos dos processos fonte-transporte-armazenamento através da análise granulométrica. Normalmente, consideram-se partículas  $< 2000\mu\text{m}$ , como aquelas que são transportadas como cargas suspensas em típicos cursos de águas urbanas e as partículas  $< 63\mu\text{m}$ , representativas dos sedimentos que são acumulados em lagos e que estão associados com a adsorção de metais traço (SUTHERLAND, 2003).

As principais características físicas dos sedimentos em geral são a granulometria, a área superficial, a superfície específica e as propriedades magnéticas. Quanto às características geoquímicas (substrato geoquímico) dos sedimentos estão relacionadas à presença de carbonatos, argilominerais, matéria orgânica, óxidos e hidróxidos de ferro e manganês. Ocorrem também, mecanismos tais como adsorção, precipitação, ligações organometálicas e incorporações à estrutura cristalina dos sedimentos (POLETO & CASTILHO, 2008). Todas essas características irão interferir

diretamente na capacidade e forma de transporte e acumulação de poluentes pelos sedimentos.

A dinâmica dos poluentes em relação às partículas de sedimentos é controlada por atributos físicos, químicos e mineralógicos que definem suas diversas formas químicas (solúvel, precipitado, complexado e adsorvido). A retenção de cátions metálicos nestas partículas freqüentemente se deve à capacidade de troca catiônica (CTC), a seletividade do metal, a concentração de outros cátions, ao pH e a atividade iônica da solução (HVITVED-JACOBSEN *et al.*, 2010).

Embora haja uma grande variedade de frações granulométricas ( $<2\mu\text{m}$ ,  $<16\mu\text{m}$ ,  $<20\mu\text{m}$  e  $<63\mu\text{m}$ ) que possam ser utilizadas durante as pesquisas com sedimentos para se reduzir ou eliminar os efeitos do tamanho das partículas sobre os resultados finais, devido às dificuldades técnicas e econômicas em se obter fracionamentos, Poletto e Castilho (2008 p. 202) sugerem que no mínimo se utilizem a fração  $<63\mu\text{m}$ , que é considerada apropriada ou satisfatória para a maioria dos estudos.

Poluentes de origem pluvial são fortemente associados às partículas sólidas mobilizadas pelo escoamento das águas pluviais sendo que os coloides, em específico, desempenham papel de transportadores de poluentes, pois sua solubilidade é muito pequena, mas possuem propriedades químicas que lhes garantem uma forte capacidade de adsorção, graças à sua grande superfície específica. Por exemplo, vírus podem facilmente fixar-se sobre partículas coloidais que lhe servem de proteção e meio de transporte, podendo atingir as águas subterrâneas (BAPTISTA, 2005, p.75). Além disso, Chebbo (1992 apud BAPTISTA, 2005) (ver TABELA 3) verificou que partículas menores do que  $100\mu\text{m}$  estão diretamente associados a poluentes específicos tais como DBO, DQO e Pb, sendo que a maior porcentagem desses poluentes encontrados em sedimentos estão associados à esse tamanho de partículas. As frações de tamanho menor influenciam diretamente na qualidade de sedimentos, pois quanto menor o tamanho das frações, maior a capacidade de trocas de cátions, maior capacidade de o solo armazenar água e se ligar a fração

orgânica (POLETO, 2008 p.59). A Tabela 3 apresenta um exemplo da relação entre o tamanho das partículas de sedimentos e alguns tipos de poluentes com resultados dados em porcentagem.

**Tabela 3 - Porcentagem em massa de poluentes de origem pluvial associados à sedimentos.**

Diâmetros de sedimentos	DQO (%)	DBO (%)	Pb (%)
Fração total	83-90	77-95	> 95
< 100 $\mu\text{m}$	73	77	68
> 100 $\mu\text{m}$	27	23	32

Fonte: Adaptado CHEBBO (1992, apud BAPTISTA, 2005, p. 58)

Muitos poluentes ocorrem na forma particulada e costumam ter forte afinidade com os sólidos em suspensão. Por conseguinte, a remoção de sólidos em suspensão irá quase sempre remover muitos outros poluentes particulados encontrados no escoamento superficial urbano (PRODANOFF, 2005). Dessa maneira, o controle da poluição pluvial pode ser eficiente pela característica da natureza fortemente particulada e decantável desse tipo de poluição de origem pluvial, ou seja, a decantação dos sólidos em suspensão é um fenômeno particularmente importante para a redução da poluição pluvial devendo ser uma excelente estratégia para o controle da poluição difusa urbana (BAPTISTA, 2005, p.63)

O tipo e quantidade de poluentes encontrados no escoamento superficial urbano e o grau de relacionamento desses poluentes em associação com os sedimentos são significativamente importantes. Os seguintes fatores tem importância na descrição das características de deposição dos sólidos suspensos e poluentes associados:

- Carga de poluentes por tipo;
- Percentual de poluentes decantáveis;
- Distribuição granulométrica;
- Distribuição dos sólidos pelas velocidades de queda;
- Distribuição dos poluentes pelas velocidades de queda;
- Densidade dos poluentes decantáveis. (PRODANOFF, 2005).

Para sedimentos urbanos, a distribuição de tamanhos de partículas é influenciada por muitos fatores, associados, basicamente, ao uso do solo. Martinez (2010) cita Ghani *et al.* (2000) que mostraram que em um estudo

de distribuição de partículas de sedimentos realizado em cinco cidades da Malásia, os valores médios encontrados ( $d_{50}$ ) estariam no intervalo entre  $600\mu\text{m}$  e  $900\mu\text{m}$  correspondentes à fração de areia grossa segundo a escala de Mudroch & Azcue (1995). A autora também cita Sutherland, (2003) e Kim *et al.*, (2009) que verificaram que os sedimentos urbanos de áreas industriais são tipicamente mais finos que aqueles encontrados nos setores comerciais/residenciais, em virtude, da maior concentração de partículas atmosféricas depositadas. Partículas maiores nos setores residenciais/comerciais estão relacionadas com a degradação de materiais de construção como superfícies de concreto, no entanto, a presença de partículas finas pode ser significativa em função do alto fluxo veicular presente.

Poleto *et al.* (2009), realizaram estudos sobre o monitoramento dos sedimentos urbanos coletados em ruas, avenidas e bueiros em 20 cidades do estado do Rio Grande do Sul e verificaram que a distribuição granulométrica encontrada nos sedimentos das ruas e avenidas apresenta um comportamento bimodal com um pico na fração menor a  $100\mu\text{m}$  correspondente a areia muito fina segundo a classificação de Mudroch & Azcue (1995), podendo-se apreciar também a pouca variabilidade dos dados (baixos desvios padrões). Enquanto à distribuição granulométrica dos sedimentos em bueiros, esta apresenta um comportamento unimodal, com a fração predominante sendo aquela entre  $250\mu\text{m}$  a  $300\mu\text{m}$  (areia mediana), confirmando alguns resultados obtidos por Butler & Clark (1995) em estudos realizados em bueiros. Destaca-se a alta variabilidade dos dados obtidos em contraste à distribuição granulométrica dos sedimentos coletados em ruas e avenidas.

Charlesworth *et al.* (2003) concluíram que em superfícies urbanas de Coventry (Reino Unido) a fração dominante (maior transportadora de metais traço) era a  $<63\mu\text{m}$  e Zafra *et al.* (2007) determinaram que a fração com maiores concentrações em todos os metais estudados foi a  $<63\mu\text{m}$ , exceto para o cobre, onde a máxima concentração foi obtida na fração compreendida entre  $250\mu\text{m}$  e  $500\mu\text{m}$ , nesse estudo os autores também

verificaram que o zinco foi único metal estudado que apresentou uma diminuição da sua concentração na medida que o tamanho da partícula aumentava. Para os outros metais analisados a concentração tendeu a aumentar na fração compreendida entre os  $250\mu\text{m}$  e  $500\mu\text{m}$ , voltando a diminuir de forma contínua para os tamanhos maiores de  $500\mu\text{m}$ . Provavelmente, este comportamento deve-se à presença de partículas muito finas aderidas à superfície e que são dificilmente quantificáveis através do peneiramento seco.

Sutherland (2003) também concluiu que a fração  $< 63\mu\text{m}$  foi predominante entre um grupo de frações  $< 1000\mu\text{m}$  avaliada dentro de um grupo de amostras de sedimentos coletadas em estradas, apresentando 38% da massa total dos sedimentos armazenados nesse grupo. Nessa fração, encontrou-se concentração de chumbo de  $222 \text{ mg.kg}^{-1}$ , correspondente a 51% da carga total de chumbo encontrada nos sedimentos coletados nas estradas monitoradas.

Embora a distribuição dos poluentes dependa das condições específicas de cada local, James (1999 apud PERNAGORDA, 2007, p.29) menciona que as partículas de dimensão  $<63\mu\text{m}$ , apesar de constituírem normalmente apenas 6% do total de sedimentos, podem conter até 50% da carga poluente de metais traço, hidrocarbonetos e nutrientes.

Pode ser visto a partir da Tabela 4, a variabilidade da distribuição dos tamanhos de sedimentos nas cidades analisadas onde o teor de poluentes é bastante elevado se comparado ao valor de referência adotado.

**Tabela 4 - Exemplos de distribuição de diâmetros, matéria orgânica e metais traço contidos em sedimentos varridos de ruas em duas cidades francesas**

Origem dos sedimentos varridos de rua	Distribuição de diâmetros d10, d50, d90 (mm)	Diâmetro $< 63\mu\text{m}$ (%)	Matéria orgânica (%)	Cobre ( $\mu\text{g/g}$ )	Chumbo ( $\mu\text{g/g}$ )	Zinco ( $\mu\text{g/g}$ )
Bordeaux	74, 901, 4000	9	6,1	65	122	281
Lille	7, 231, 3610	35	5,9	97	106	356
Valor de referência holandês	...	...	...	36	85	140

Fonte: Adaptado de HVITVED-JACOBSEN *et al.* 2010.

Em termos granulométricos, consideram-se sedimentos com propriedades adsorventes aqueles cujos diâmetros são inferiores a  $63\mu\text{m}$ ,

cuja capacidade de adsorção aumenta na medida em que a dimensão da partícula diminui (HOROWITZ, 2001). Mais especificamente com relação às argilas (diâmetro  $<2\mu\text{m}$ ) pode-se destacar sua área de superfície específica (ASE), pois, quanto menor o diâmetro de uma partícula, maior sua ASE, que é a relação entre a superfície da partícula e sua massa. A área de superfície específica juntamente com o conjunto de cargas presentes na argila dá origem a uma série de fenômenos, entre os quais adsorção e troca iônica.

Quantidades significativas de poluentes do escoamento superficial urbano são transportadas como contaminantes ligados aos sedimentos. O conhecimento da quantidade de poluentes ligada a tamanhos de sedimentos é importante, para que o projeto de estruturas de tratamento possa remover a maioria dos sedimentos poluídos. (GASTADINI & SILVA, 2012 p. 98)

Com base nas justificativas apresentadas, o conhecimento da distribuição das partículas pelas diferentes frações é fundamental para estimar os processos de dispersão e transporte no meio ambiente e conceber sistemas de tratamento das águas de escoamento superficial.

### **3.7 – Sedimentos e Metais traço**

O termo metais traço é de definição ambígua, mas vem sendo intensamente utilizado na literatura científica como referência a um grupo de elementos associados à poluição, contaminação e toxicidade. Conceitualmente metais traço são definidos como elementos que possuem densidade superior a  $6\text{g}/\text{cm}^3$  ou raio atômico maior que  $20 \text{ \AA}$ . Essa definição é abrangente e inclui, inclusive, alguns ametais ou semi-metais, como As e Se (AMARAL SOBRINHO, 1993).

Os metais traço fazem parte das atividades cotidianas das pessoas e muitos deles entram no ambiente urbano como subprodutos de atividades antrópicas, sejam elas de caráter primário, industriais ou comerciais. O

processo de urbanização tem sido relacionado a aumentos nas concentrações de metais traço nas bacias hidrográficas onde esses processos tem andamento (POLETO e MERTEN, 2008 p. 152). Mohiuddin *et al.* (2011) verificaram em pesquisa no rio Buriganga (Bangladesh) que o aumento nas taxas de metais traço como Cd, Pb, Cr e Zn (em maior grau) e Cu, Ni, Co e As (em menor grau) foram enriquecidos no ambiente em decorrência de ações antrópicas.

Poleto (2007, p.3) afirma que dos diversos poluentes encontrados em áreas urbanas, os metais merecem destaque por suas características não biodegradáveis e cumulativas.

Os metais traço estão entre os diversos poluentes que podem ser encontrados em um ambiente urbano, porém estes poluentes em particular merecem uma atenção especial por não serem biodegradáveis, além de serem bioacumulativos, podendo originar inúmeros distúrbios à biota e doenças aos seres humanos. O mercúrio, por exemplo, em sua forma metilada pode ainda biomagnificar incrementando dramaticamente seus teores na cadeia trófica aquática (POLETO & CASTILHO, 2008)

Cada metal pesado tem características específicas de potencial efeito nocivo sobre os seres humanos e o meio ambiente, reagindo de modo complexo em relação às suas próprias características, em relação ao sistema biológico que é afetado e ainda a certo número de condições externas.

A presença de metais em sedimentos urbanos está influenciada por fatores inerentes às características das partículas de sedimentos (sítios de troca iônica, área específica, distribuição de tamanhos de partícula, presença de óxidos de ferro), propriedades dos metais (complexação e reatividade química) e condições ambientais atuantes, como potencial redox e pH (CHARLESWORTH & LEES, 1999; ROBERTSON *et al.*, 2003).

Diamantino (2013, p.15) verificou que em relação aos principais mecanismos de dispersão dos poluentes, pode-se afirmar que a dispersão do Cu e do Pb é realizada essencialmente pelas águas de escorrência, sendo a componente de dispersão pelo vento menos significativa. Pelo contrário, no caso do Cr e o Zn, parecem ser importantes ambos os mecanismos de dispersão, contudo e no caso da dispersão pelo vento, estes dois metais

comportam-se de modo ligeiramente diferente, ou seja, o Cr deposita-se logo nos primeiros metros de distância à estrada e o Zn parece poder ser transportado até uma distância ligeiramente superior. Este comportamento poderá estar relacionado com a dimensão das partículas destes minerais emitidas ou com a dimensão das partículas aerossóis às quais eles geralmente se ligam. Deste modo, a dimensão das partículas de Cr emitidas parece ser superior à dimensão das partículas de Zn, uma vez que este se deposita primeiro. Em relação ao Ni a sua dispersão parece ser realizada essencialmente pela componente atmosférica.

Segundo California Department of Transportation (CALIFORNIA, 2003) numerosos estudos relatam que o escoamento produzido sobre vias de tráfego pode aumentar a toxicidade de sedimentos lançados em corpos d'água onde podem ser verificadas elevadas concentrações de metais (Cd, Pb, Zn, Cu) e HPAs, pois concentrações elevadas desses poluentes foram detectados nos sedimentos dos córregos a jusante do escoamento de estradas. Macroinvertebrados que vivem nessas áreas muitas vezes contêm cargas elevadas de metais e HPAs em seus tecidos

Um grande número de metais traço são potencialmente relevantes em estudos de poluição urbana por causa dos efeitos tóxicos eles podem exercer. Os quatro metais traço que se seguem são geralmente considerados o principal grupo focado dentro de drenagem urbana:

- Cobre (Cu);
- Chumbo (Pb);
- Zinco (Zn);
- Cádmio (Cd).

Além disso, Ni e Cr, também são freqüentemente utilizados para caracterização de poluição em ambientes antrópicos. Estes seis metais traço são geralmente destacados porque eles estão normalmente disponíveis e potencialmente tóxicos, com efeitos agudos ou de ação cumulativa (crônica) em certas concentrações encontradas nos fluxos de drenagem urbana. (HVITVED-JACOBSEN *et al.*, 2010 p.70)

Vários estudos têm sido dedicados à verificação da presença de metais traço no escoamento superficial urbano (DELETIC *et al.*, 1997; BATISTA NETO *et al.*, 2000; CHARLESWORTH *et al.*, 2003; SUTHERLAND, 2003; TAYLOR, 2007; POLETO, 2007; POLETO *et al.*, 2009; MARTINEZ, 2010; MOHIUDDIN *et al.*, 2011).

Os metais traço mais frequentemente citados na literatura são Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb e Zn.

Estudos têm indicado que, em geral, pode-se dizer que uma parte significativa dos metais traço encontrada no escoamento estão associados com os sólidos em suspensão, isto é, adsorvidos em partículas. A Tabela 5 apresenta algumas fontes mais comuns de metais traço (CALIFORNIA, 2003).

**Tabela 5 - Fontes primárias mais comuns de metais traço em escoamentos superficiais em rodovias.**

<b>Poluentes</b>	<b>Fontes</b>
<b>Alumínio</b>	Origem natural, mas também fontes antropogênicas tais como indústrias de alumínio
<b>Cadmio</b>	Desgaste de pneus, sistema de freio, óleos combustíveis, inseticidas e outras
<b>Cromo</b>	Corrosão de peças galvanizadas, funcionamento de motores e desgaste de lonas de freio
<b>Cobalto</b>	Resíduos de pneus e veículos e eletrodomésticos
<b>Cobre</b>	Galvanização, desgaste de rolamentos de veículos, funcionamento de motores, desgaste de lonas de freio, fungicidas e inseticidas
<b>Ferro</b>	Ferrugem, estruturas de aço das estradas, funcionamento de motores, corrosão geral dos veículos
<b>Chumbo</b>	Queima de combustíveis fósseis e desgaste de pneus
<b>Níquel</b>	Óleo Diesel, gasolina, óleos lubrificantes, galvanização, desgaste de pastilhas e sistema de freios, pavimento asfáltico
<b>Zinco</b>	Desgaste de pneus, óleos de motores, graxas

Fonte: Adaptado de CALIFORNIA, 2003

Youssef *et al.* (1986, apud HVITVED-JACOBSEN & YOUSSEF, 1991) referem, em consonância com os resultados da análise de 150 amostras, que 50% da carga poluente particulada de metais traço é transportada no primeiro quartil do acontecimento pluviométrico, sendo transportado 25% no segundo quartil e os restantes 25% nos terceiro e quarto quartis. O chumbo prevalece sob a forma predominantemente particulada.

Segundo Poleto & Cardoso (2012, p.100), existe uma situação de risco à que os ambientes aquáticos estão expostos atualmente; também, são preocupantes as previsões de cenários futuros, visto que os sedimentos comportam-se como armazenadores temporários destes metais traço e podem liberá-los na ocorrência de alterações das características físico-químicas dos corpos d'água como, por exemplo, alterações de pH.

Poleto & Merten (2008, p.148) selecionaram para os estudos de concentração total e extração sequencial, o Ni e o Zn, por serem encontrados em elevadas concentrações em bacias urbanas e apresentarem diferentes características nas suas especiações (ligados a diferentes compartimentos geoquímicos).

A afinidade dos metais traço pelos sedimentos está fortemente influenciada pelo tamanho da partícula sendo que as de dimensão inferior a  $63\mu\text{m}$  são as que se encontram, na sua maior parte, relacionadas à adsorção de metais traço, independentemente do local de origem das amostras, havendo suficiente evidência que demonstra o fato de que sedimentos são enriquecidos com metais traço, sobretudo, na fração fina das partículas. O aumento na carga de poluentes em partículas com frações granulométricas mais finas é geralmente associado ao incremento da área superficial nas partículas de menor tamanho, fornecendo maior espaço para a adsorção de metais em argilominerais ou na matéria orgânica presente nas partículas de sedimento (Poleto *et al.*, 2009; Charlesworth *et al.*, 2003).

Uma vez estabelecida a relação entre dimensão de partículas de sedimento e poluentes, fica claro que o entendimento de que as cargas de metais traço estão heterogeneamente distribuídas sendo seu estudo importante na formulação de estratégias de gerenciamento e controle da poluição.

### **3.8 – Sedimentos secos e Metodologias de coleta**

Para o estudo da poluição difusa urbana, existe uma forte tendência em avaliar amostras de sedimentos coletadas nas ruas, devido a que esse local de amostragem fornece representatividade das atividades urbanas predominantes, facilidade no processo de amostragem e baixa probabilidade de alteração das propriedades química dos sedimentos (MARTINEZ, 2010 p.22)

Técnicas granulométricas são empregadas para a caracterização de materiais com diversas origens, como industriais, fármacos, químicos, alimentares, como também em solos e sedimentos (BORTOLUZZI & POLETO, 2006). Em sedimentos, a análise do tamanho das partículas auxilia os estudos sobre agregação de partículas, transporte de sedimentos em rios, dissolução de partículas finas (STUMM & MORGAN, 1996) e análises de fontes de sedimentos urbanos (GHANI *et al.*, 2000; BANERJEE, 2003; SUTHERLAND, 2003; CHARLESWORTH *et al.*, 2003; DUZGOREN-AYDIN *et al.*, 2006; ZAFRA *et al.*, 2007; JARTUN *et al.*, 2008).

A separação de um material heterogêneo em quatro classes é a análise mais comum para fins de classificação da distribuição do tamanho de partículas. Para sedimentos, normalmente separam-se as seguintes frações: cascalho ( $> 2000\mu\text{m}$ ), areia ( $63\mu\text{m} - 2000\mu\text{m}$ ), silte ( $2\mu\text{m} - 63\mu\text{m}$ ) e argila ( $< 2\mu\text{m}$ ). Mudroch & Azcue (1995) são frequentemente citados pela classificação das dimensões de partículas de sedimentos definidas conforme a Tabela 6. Carvalho (2008) recomenda a classificação da American Geophysical Union transcrita na Tabela 7 e a ABNT classifica através da norma NBR 6.502 de setembro de 1995 conforme apresentado na Tabela 8.

**Tabela 6 - Classes de tamanho de partículas para caracterização de amostras de sedimentos - Mudroch & Azcue**

Fração	Classes
<b>AREIA</b>	<b>0,05 – 2 mm</b>
Areia muito grossa	2 – 1
Areia grossa	1 – 0,5
Areia mediana	0,5 – 0,25
Areia fina	0,25 – 0,125
Areia muito fina	0,125 – 0,063
<b>SILTE</b>	<b>0,002 – 0,063 mm</b>
Silte grosso	0,063 – 0,0156
Silte médio	0,0156 – 0,0078
Silte fino	0,0078 – 0,0039
Silte muito fino	0,0039 – 0,002
<b>ARGILA</b>	<b>&lt; 0,002 mm</b>

Fonte: MUDROCH & AZCUE

Tabela 7 – Classes de tamanho de partículas para caracterização de amostras de sedimentos - AGU

Diâmetros em mm	Denominação
64 / 32	Cascalho muito grosso
32 / 16	Cascalho grosso
16 / 8	Cascalho médio
8 / 4	Cascalho fino
4 / 2	Cascalho muito fino
2 / 1	Areia muito grossa
1 / 0,5	Areia grossa
0,5 / 0,25	Areia média
0,25 / 0,125	Areia fina
0,125 / 0,0625	Areia muito fina
0,0625 / 0,031	Silte grosso
0,031 / 0,016	Silte médio
0,016 / 0,008	Silte fino
0,008 / 0,004	Silte muito fino
0,002	Argila grossa
0,001	Argila média
0,0005	Argila fina
0,00024	Argila muito fina

Fonte: AMERICAN GEOPHYSICAL UNION (AGU)

Tabela 8 - Classes de tamanho de partículas para caracterização de amostras de sedimentos – ABNT

Diâmetros em mm	Denominação
200,0-1000,0	Matacão
60,0-200,0	Pedra de mão
20,0-60,0	Pedregulho grosso
6,0-20,0	Pedregulho médio
2,0-6,0	Pedregulho fino
0,60-2,0	Areia grossa
0,20-0,60	Areia média
0,06-0,20	Areia fina
0,002-0,06	Silte
<0,002	argila

Fonte: ABNT, NBR 6.502 de setembro de 1995

As pesquisas realizadas para estudos de acumulação de sedimentos e características de poluição difusa em meio urbano tem adotado diferentes metodologias de coleta diferindo basicamente na forma de recolhimento do material acumulado.

Para sua pesquisa Yetimoglu *et al.* (2008) recolheram Aproximadamente 5 g da amostra de sedimentos através da varrição de cada ponto de amostragem abrangendo uma área de cerca de 1m<sup>2</sup> na superfícies de estações de ônibus com frequência de duas vezes por mês, sendo que suas amostras foram colocadas em sacos de polietileno e posteriormente secas a 100°C durante duas horas e peneirados através de uma peneira de malha 100 Mesh (149μm).

Charlesworth *et al.* (2003) para seus estudos realizaram a amostragem ao longo de três dias consecutivos, no verão depois de um período de clima seco. As amostras foram coletadas usando uma pá de lixo plástico limpo e escova, a partir de uma área de 1m<sup>2</sup> utilizando-se uma moldura acrílica para delimitação da área de coleta.

Zafra *et al.* (2008) coletaram as amostras de sedimento seco de uma pista de rolamento onde foram coletadas ao lado da sarjeta. A superfície de amostragem foi delimitada com uma área de 0,49m<sup>2</sup>. Na coleta dos sedimentos os autores utilizaram um aspirador de pó de 1,5kW de potência, capaz de reter partículas de dimensão superior a 1μm. Dois tipos de amostras foram coletadas na superfície da pista de cada zona. A primeira corresponde à amostragem de material aspirado diretamente na superfície, o que foi chamado de "carga livre" (CL). A mesma superfície foi varrida com uma escova de fibra de modo a que os sedimentos aderentes à superfície estavam disponíveis para serem aspirados. O sedimento coletado após a varredura foi chamado de "carga fixa" (CF). A "carga total" (CT) depositada sobre a superfície foi constituída pela soma da "carga livre" e a "carga fixa".

Dotto (2006) coletou os sedimentos secos ao longo das sarjetas das ruas durante três períodos através da utilização de um aspirador de pó conforme estudos já realizados (BUTLER *et al.*, 1992; DELETIC *et al.*, 2000 e VAZE & CHIEW, 2002). As áreas de estudos foram divididas em subáreas e a cada dia, aproximadamente no mesmo horário, as coletas foram realizadas

em superfícies de  $0,5\text{m}^2$  ( $0,707\text{m} \times 0,707\text{m}$ ) 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. Dois tipos de cargas de poluentes foram coletadas seguindo a metodologia e as definições adotadas por Vaze & Chiew (2002). Primeiro, a superfície da rua foi aspirada sem nenhum processo prévio de preparação e a carga coletada foi definida como carga livre. Em seguida, a mesma superfície foi escovada utilizando-se uma escova de fibra para que então os poluentes finos agregados à superfície fossem soltos, sendo esta segunda coleta caracterizada como a carga fixa.

Poleto & Cardoso (2012) estudaram 30 municípios localizados no estado do Rio Grande do Sul, onde foram realizadas coletas de amostras de sedimentos em superfícies impermeáveis (ruas e avenidas). As amostragens foram realizadas utilizando como regra a sequência de um período mínimo de 15 dias sem chuva para realização das coletas. Estas foram efetuadas com o auxílio de aspiradores portáteis, para garantir a coleta das frações mais finas, e as amostras foram sempre mantidas sem contato com superfícies metálicas do aparelho, ou qualquer outra. Durante as coletas, os autores realizaram três amostragens em cada cidade, sendo cada uma dessas amostras formadas por 40 subamostras. Os locais de coleta foram sempre próximos às regiões centrais das cidades, compreendendo áreas de aproximadamente  $200\text{m}^2$ , nas superfícies impermeáveis de cada cidade. Após esse processo de coleta, as três amostras foram combinadas para formar uma única amostra composta para cada cidade. Esse procedimento resultou em 30 amostras compostas que representaram as 30 cidades, visando-se assim, reduzir a possibilidade de resultados tendenciosos devido à presença de fontes pontuais de poluição. A quantidade de sedimentos coletados e armazenados variou entre 100 e 140 g por cidade. As amostras compostas foram armazenadas e preservadas a  $0^\circ\text{C}$  até o início das análises químicas. Para as análises físicas foram apenas refrigeradas.

Como pode ser verificado na pesquisado na literatura específica, várias metodologias foram aplicadas atendendo a objetivos específicos de cada pesquisa, o que pode gerar divergências entre resultados obtidos. Segundo Zafra *et al.* (2008) pode-se atribuir a variação na distribuição de

tamanho de partículas de sedimentos coletados entre as pesquisas sendo devida às características particulares de cada local de amostragem e a eficácia dos diferentes métodos utilizados na coleta de sedimentos (aspiração a seco, aspiração com varredura a seco e simultânea lavagem e aspiração) além de serem realizadas em locais com uso e ocupação diferentes.

#### **4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

Foram escolhidas para a realização das campanhas de amostragem algumas das vias de tráfego de um loteamento recentemente implantado no Município de Poços de Caldas, MG, denominado Jardim Santa Teresa. Este loteamento tem apresentado acelerada ocupação por uso predominantemente residencial (FIGURA 1) ocorrendo expansão de área construída durante a realização da pesquisa.

O clima do Município onde se insere a área de estudos é, segundo a classificação de Köppen, do tipo Cwb – mesotérmico com inverno seco e verão brando sendo marcado pela ocorrência de duas estações distintas: O verão chuvoso que se estende de outubro a março (temperatura média de 20,3°C e total no período de 1.430 mm de chuvas) e o inverno seco que predomina nos meses de abril a setembro marcado por temperaturas e índices pluviométricos baixos (temperatura média de 15°C e 315 mm de chuvas no período) (SANTOS *et al.*, 2008). A precipitação média anual em Poços de Caldas é de aproximadamente 1.745 mm, sendo a pluviosidade mínima registrada no mês de julho, com índices próximos a 25mm, e pluviosidades máximas registradas em janeiro, com valores da ordem de 297mm (SANTOS *et al.*, 2008).



**Figura 1 - Localização da área de estudo.**

O Loteamento possui 23,8ha de área total, sendo parcelado em 319 lotes compondo um total de 9,3ha de lotes e sua área pavimentada de ruas totaliza 5,08ha. As áreas permeáveis definidas pela legislação pertinente (área de preservação permanente e área verde) compõem 8,4ha da superfície do loteamento constituindo, portanto, 24% do bairro. Estas áreas permeáveis encontram-se cobertas por vegetação nativa e exótica primárias em estágio inicial de regeneração tendo ocorrido o enriquecimento vegetal através de espécies arbóreas nativas plantadas como medida compensatória para aprovação do loteamento.

O local da pesquisa encontra-se próximo à uma rodovia muito utilizada inclusive por veículos de transporte de minério de alumínio e que limita o loteamento à noroeste. A área pesquisada não apresenta atividades industriais próximas, estando circundada por áreas de campo e urbanizadas com uso predominantemente residencial. A indústria de grande porte mais próxima do local estudado encontra-se a 2,5km de distância. Uma usina de concreto está localizada à 1km de distância e o aeroporto da cidade (pequeno porte) situa-se a 1,12km. Por sua forma de implantação atual, o loteamento Jd. Santa Teresa não apresenta tráfego de passagem de veículos para outros bairros, predominando o tráfego local de veículos e eventuais transportes de materiais e mercadorias para atendimento da população residente. Pode-se verificar que o loteamento atualmente apresenta baixa densidade demográfica sendo predominante o fluxo de moradores em seu interior não havendo maior atração de pessoas não moradoras em função da inexistência de comércio e serviços no local. No tráfego local predomina o uso de veículos

de passeio e eventuais veículos de carga além do transporte público com baixa frequência para atendimento local.

A Figura 2 ilustra em detalhe a situação da área de estudo com delimitação do Loteamento Jardim Santa Teresa. A imagem da figura foi obtida em 27 de julho de 2013, portanto durante o período das campanhas de amostragem o que permite verificar a exata situação de ocupação e estágio de desenvolvimento urbano que caracterizaram as coletas.



**Figura 2 - Imagem em detalhe da área de estudo com delimitação do loteamento jardim Santa Teresa.**

Fonte: Google Earth

As vias do loteamento são totalmente asfaltadas e com sistema de drenagem pluvial totalmente concluído. As sarjetas foram executadas em concreto e apresentam bom estado de conservação. Nas vias onde as coletas de amostras foram realizadas não há ocorrência de erosões e depressões que impeçam o escoamento adequado das águas ou que acumulem sedimentos de maneira desigual (FIGURA 3)



**Figura 3 - Detalhe da condição das vias do loteamento.**

As vias onde ocorreram as coletas de sedimentos foram escolhidas em função de terem o sistema de drenagem constituindo um mesmo conjunto e direcionados a uma única estrutura de retenção (Bacia de Detenção, FIGURA 4) possibilitando análises futuras relacionadas ao aporte de carga de poluentes direcionadas à estrutura de retenção.



**Figura 4 - Detalhe da Bacia de Detenção.**

As vias estudadas possuem topografia pouco acidentada não excedendo 10% de inclinação. O Jd. Santa Teresa é um loteamento onde predomina um padrão econômico de renda média baixa e encontrava-se, durante o período da pesquisa, com acelerado processo de ocupação por residências de até 2 andares mas com predomínio de casas térreas.

## **5 METODOLOGIA**

### **5.1 – Coletas de amostras de sedimentos secos**

Durante um período de 88 dias (entre 21/05/2013 a 27/08/2013) foram realizadas 10 campanhas de coletas de sedimentos secos acumulados sobre a área das sarjetas de vias de tráfego do Loteamento Jardim Santa Teresa. Para obtenção das amostras utilizou-se método de varrição a seco adaptando-se metodologia citada em Charlesworth et al. (2003). As coletas foram executadas em um período tipicamente seco para a região onde se situa a cidade de Poços de Caldas tendo como objetivo favorecer a coleta de sedimentos acumulados sobre as sarjetas decorrentes dos fatores característicos de um período de estiagem. Durante o período de coletas também ocorreram eventos de chuva que possibilitaram inferências relacionadas à correlação entre os fatores climáticos e o acúmulo de sedimentos.

Os dados de precipitação no período foram fornecidos pela empresa ALCOA e são provenientes de sua estação meteorológica instalada na planta da fábrica em Poços de Caldas e situada a 2,5km da área de estudos.

Foi verificada a necessidade de que as campanhas de amostragem ocorressem entre intervalos suficientes para se permitir um adequado tempo de acumulação de sedimentos nas seções, possibilitando a obtenção de massa de sedimentos em quantidade necessária para as análises, garantindo melhor desempenho do método de varrição a seco e obtenção de amostras suficientes para serem submetidas ao peneiramento a seco em agitador eletromagnético.

As campanhas de coleta foram programadas para serem realizadas sempre entre 8:00 e 11:00 da manhã, ocorrendo entre períodos mínimos de 7 dias desde que as condições de tempo seco permitissem. As coletas foram sempre realizadas considerando-se que fossem precedidas de um período

mínimo de 24hs sem ocorrência de chuvas, o suficiente para possibilitar a obtenção de amostras secas.

As vias escolhidas para serem amostradas têm como característica que seu sistema de drenagem de águas pluviais forma um conjunto que aflui para uma Bacia de Detenção, diferentemente das outras vias do loteamento cujos lançamentos pluviais ocorrem isoladamente dentro das áreas permeáveis (área verde e área de preservação permanente do loteamento). A drenagem das vias escolhidas para estudo atinge diretamente o curso d'água existente e que corta a Bacia de Detenção, o que não ocorre com a drenagem das outras vias que são lançadas sobre o solo permeável sofrendo a ação de filtragem natural da vegetação e do solo antes de atingirem o curso d'água.

Para a obtenção das amostras, as vias estudadas foram divididas em 5 zonas considerando-se para essa divisão a continuidade das superfícies, a similaridade de declividade e/ou as características de geometria das vias procurando-se estabelecer zonas homogêneas em termos de potencial de acumulação de sedimentos.

A Tabela 9 apresenta as características de declividade de cada zona e as seções relativas à cada uma das vias.

**Tabela 9 – Identificação das zonas e seções em relação às vias.**

ZONAS	VIAS	INCLINAÇÃO DAS VIAS (%)	SEÇÕES
Z1	Rua 8	10	S1 e S2
Z1	Rua 8	7	S3 e S4
Z2	Av. A até rua 9	10	S5 e S6
Z3	Rua 4 e rua 5	7	S7 e S8
Z4	Rua 2	9	S9
Z4	Rua 9	4	S10
Z5	Rua 3 entre as ruas 4 e 9	7	S11 e S12

As zonas por sua vez foram subdivididas em 12 seções localizadas nas sarjetas, em lados alternados da via, de maneira a se estabelecer partes

representativas das superfícies permeáveis conforme indicado na Figura 6 e na Tabela 9.

As seções nas zonas de amostragem foram escolhidas aleatoriamente dentro das características normais de cada zona sendo considerados os tipos de ocupação (TABELA 10) e o estado de conservação das seções, ou seja, localizando-se as seções em pontos livres de obstáculos nos quais a área da seção estivesse íntegra para não ocorrer obstruções e alterações indesejáveis no acúmulo de sedimentos tais como buracos, obras e bocas-de-lobo. Na escolha das seções de amostragem, buscou-se diminuir a possibilidade de que eventos aleatórios pudessem introduzir alterações nos estudos como, por exemplo, aquelas ocasionadas por derramamentos de material granular, varrição e limpeza das superfícies pelos moradores.

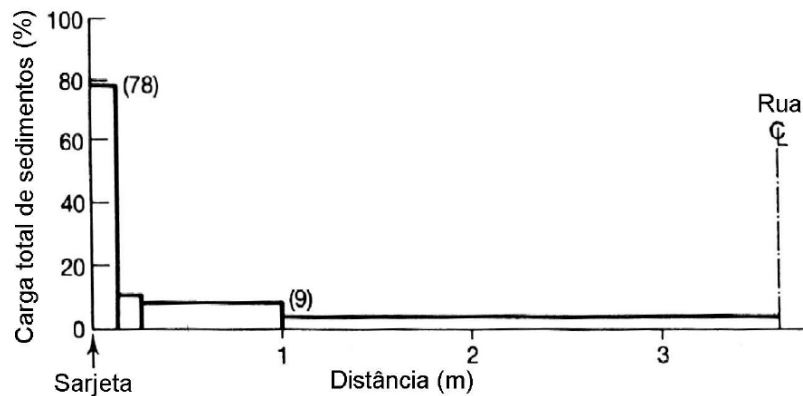
As zonas de amostragem possuem as ocupações indicados na Tabela 10, ocorrendo uso predominantemente residencial.

**Tabela 10 – Relação entre as zonas e as respectivas tipologias de ocupação.**

<b>Zonas de amostragem</b>	<b>Lotes construídos</b>	<b>Lotes em construção</b>	<b>Lotes sem ocupação</b>	<b>Lotes construídos (%)</b>	<b>Lotes em construção (%)</b>	<b>Lotes sem ocupação (%)</b>
<b>Zona 1</b>	23	19	27	33,33	27,54	39,13
<b>Zona 2</b>	27	11	24	43,55	17,74	38,71
<b>Zona 3</b>	8	3	12	34,80	13,03	52,17
<b>Zona 4</b>	16	4	13	48,50	12,10	39,40
<b>Zona 5</b>	6	2	9	35,20	11,80	53,00

Foram escolhidas 2 seções nas zonas 2 a 5 e na zona 1 foram escolhidas 4 seções devido à sua extensão e característica de configuração em alça (FIGURA 6). As seções de amostragem nas sarjetas das vias foram definidas com área de 1m<sup>2</sup> (1,0m x 1,0m) sendo que nessa área está inclusa a sarjeta e parte do pavimento asfáltico tendo-se por objetivo coletar a maior parte dos sedimentos acumulados nessa seção da via segundo conceitos apresentados por Butler & Clark (1995) (FIGURA 5), embora Charlesworth

(2003) cite trabalhos que afirmam que a maior parcela de sedimentos estão localizadas no centro das vias.



**Figura 5 – Distribuição espacial dos sedimentos ao longo da seção de uma rua.**  
**Fonte: BUTLER & CLARK (1995 apud DOTTO, 2006)**

Uma vez definidas, as seções foram numeradas de modo a garantir que exatamente as mesmas áreas seriam objeto de amostragem durante as campanhas. O monitoramento das mesmas seções em todas as campanhas teve como objetivo verificar o acúmulo de sedimentos em pontos conhecidos durante todo o período de amostragem, possibilitando-se assim que o acúmulo de massa ocorresse sobre as mesmas condições de conservação da superfície amostrada, declividade e tipo de ocupação da via, influência de ventos e drenagem pluvial.

A Figura 6 apresenta de forma esquemática onde estão localizadas as zonas e suas respectivas seções dentro da área de estudos. São ainda indicadas as áreas permeáveis definidas como áreas de preservação permanente, equipamentos comunitários e área verde legal e a localização do reservatório de retenção.

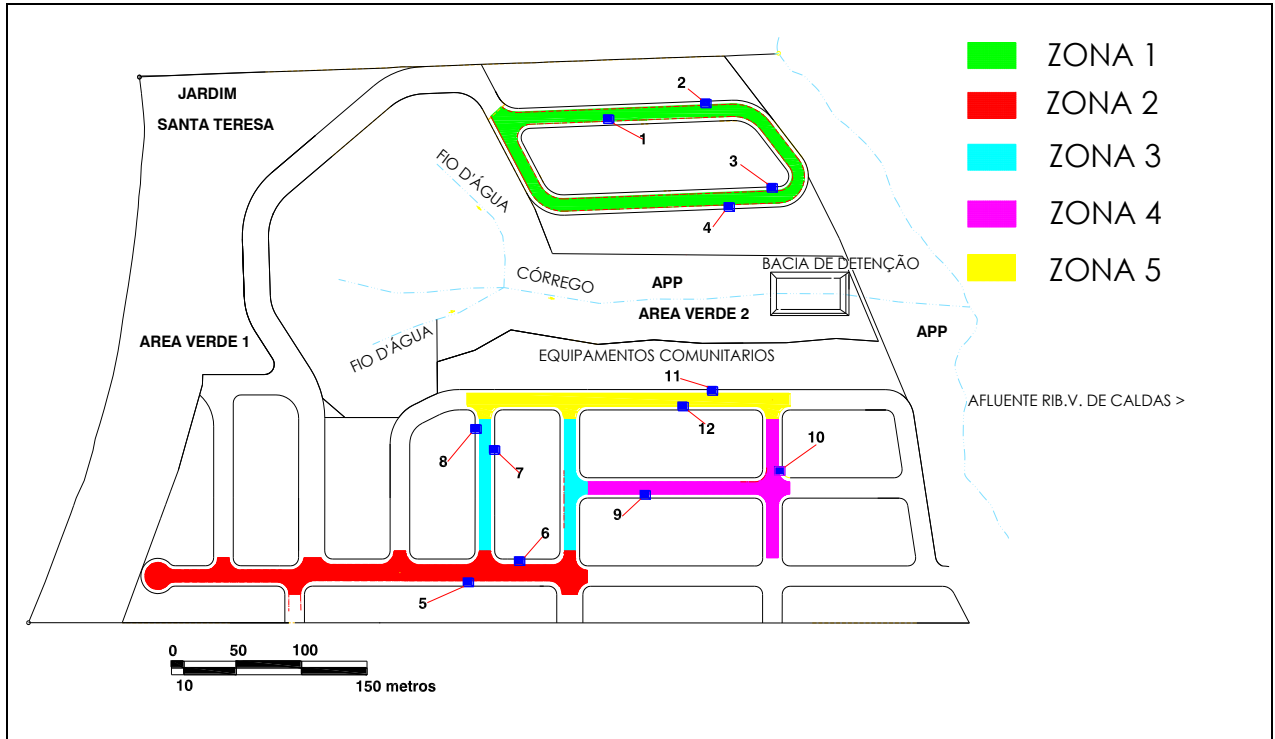


Figura 6- Loteamento Jardim Santa Teresa com indicações das zonas e seções de amostragem.

Na execução das coletas demarcou-se as seções utilizando-se régua metálica e giz definindo-se uma seção de 1m<sup>2</sup> em cada campanha de amostragem (FIGURA 7).



Figura 7- Procedimento para demarcação das seções (A) e coleta de sedimentos por varrição a seco (B).

Para a coleta de sedimentos foi usado método de varrição a seco utilizando-se de trincha de 170mm de largura com cerdas de nylon, escova de cerdas de nylon e pincel de 75mm de cerdas de pelo animal. O método de varrição com a utilização de escovas é mencionado no estudo de Charlesworth et al. (2003 p. 567).

O método de varrição a seco mostrou-se mais indicado para os objetivos da pesquisa tendo-se em consideração a atual definição de sedimentos urbanos (POLETO, 2008, p.59), uma vez que permitiu que os materiais granulares de maior diâmetro, tais como brita e cascalho, fossem coletados.

Para efeito de orientação quanto à forma de coleta, os sedimentos foram classificados como “Não-Aderidos” (NA) e “Aderidos” (A). Os sedimentos “Não Aderidos” foram classificados como sendo aqueles que foram coletados a partir da primeira varrição com a trincha de 170mm, sendo o material mais facilmente recolhido, apresentando-se solto sobre a sarjeta e incluindo material mais grosseiro (brita e cascalho). Nessa fração de sedimentos tomou-se o cuidado de remover eventuais folhas, pedras de dimensão maior do que britas e resíduos urbanos. Uma vez limpa a superfície da sarjeta pela ação da varrição mais grosseira, a mesma área foi ligeiramente escovada com escova de cerdas de nylon tentando-se aplicar o mesmo esforço sobre a escova durante todo o período de amostragem (ZAFRA et al., 2009), utilizando-se assim, energia suficiente para desprender a porção de sedimentos aderidos ao pavimento sem, no entanto, provocar o desprendimento de material das sarjetas ou do pavimento asfáltico, de modo a garantir que fossem recolhidos somente os sedimentos que foram naturalmente acumulados durante os períodos entre coletas. Uma vez escovada a superfície da seção utilizou-se o pincel de 75mm para varrição mais fina dos sedimentos desprendidos, classificados como “Aderidos” (FIGURA 7). Os sedimentos varridos foram coletados com uma pá de material plástico, acondicionados em sacos plásticos devidamente identificados informando data, número da seção amostrada, tipo de sedimento e, posteriormente, armazenados em caixas térmicas secas.

Ao final do processo de coleta foi possível obter-se o total dos sedimentos acumulados nas seções incluindo-se as frações grosseiras que ficam soltas e as mais finas que tendem a ficar aderidas à superfície quando secas. Durante as campanhas foram geradas 240 amostras nas 12 seções que constituíam as 5 zonas sendo 120 amostras de sedimentos “NA” e 120 amostras de sedimentos “A”.

Pelo fato de que as amostras coletadas na campanha de 21/05/2013 eram decorrentes do acúmulo de sedimentos por um período desconhecido, anterior ao início das coletas e, portanto, não sendo possível determinar o período de acumulação que caracterizou essa campanha, considerou-se essa primeira campanha de coleta como uma campanha de limpeza das seções de

amostragem, permitindo que as demais campanhas tenham período de acúmulo conhecido. Em função disso, procedeu-se às análises a partir das coletas realizadas de 04/06/2013 a 27/08/2013 de modo que as pesquisas fossem realizadas dentro de um período conhecido de acumulação (TABELA 11). Assim, considerou-se para as análises que o acúmulo de sedimentos inicia-se a partir da última data de coleta em cada campanha, sendo possível conhecer o período de deposição.

## 5.2 – Análises de acumulação

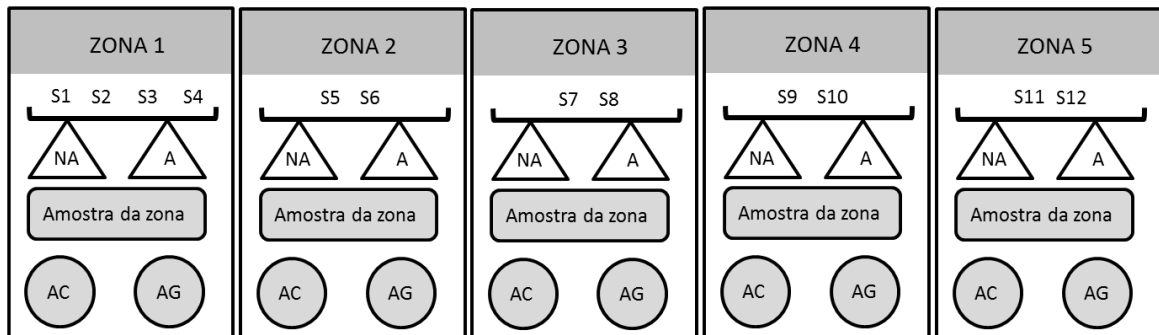
As amostras das campanhas foram divididas em Bloco 1 e Bloco 2 objetivando verificar a ocorrência de comportamentos distintos quando analisadas as 12 seções isoladamente e quando analisadas amostras compostas representativas de uma campanha (TABELA 11).

**Tabela 11- Datas das coletas realizadas divididas em blocos de análise**

<b>Bloco 1 (amostras de cada seção isoladamente)</b>	<b>Bloco 2 (amostras compostas de cada campanha)</b>
<b>Campanha do dia 21/05 (campanha de limpeza)</b>	Campanha do dia 10/07
Campanha do dia 04/06	Campanha do dia 16/07
Campanha do dia 11/06	Campanha do dia 29/07
Campanha do dia 18/06	Campanha do dia 07/08
Campanha do dia 25/06	Campanha do dia 27/08

Com as amostras do Bloco 1 foi analisado o acúmulo de massa de sedimentos em cada zona (zonas indicadas na FIGURA 6) de modo a se obter uma interpretação do comportamento das zonas e permitir uma comparação entre elas. Para formar as amostras de cada zona tomou-se as amostras de suas seções, formando uma amostra representativa. A Figura 8 ilustra a composição de amostras para a análise de acúmulo por zonas de amostragem.

## ANÁLISE DE ACÚMULO DE MASSA E GRANULOMETRIA DO BLOCO 1 – CAMPANHAS DE 04/06/2013 A 25/06/2013



LEGENDA:

ZONAS

SEÇÕES

NA - AMOSTRAS NÃO ADERIDAS

A - AMOSTRAS ADERIDAS

AZ – AMOSTRA DA ZONA

AC – ANÁLISE DE ACUMULAÇÃO POR ZONA

AG – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR ZONA

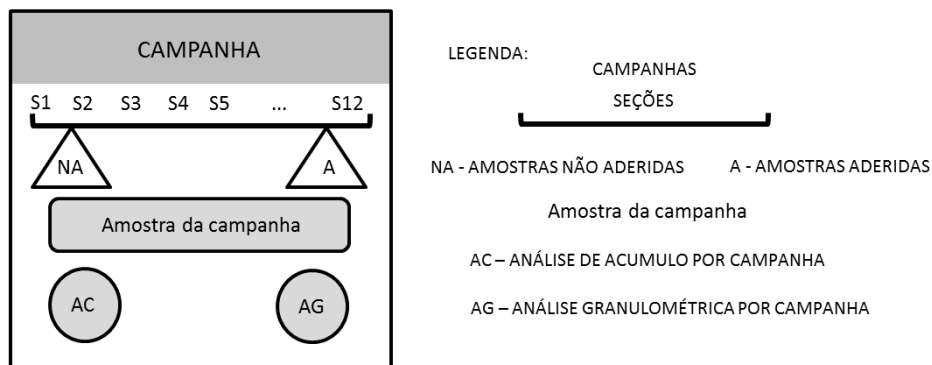
**Figura 8- Diagrama representando a formação das amostras utilizadas para análise de acúmulo e granulometria de sedimentos por zona.**

A análise de acúmulo de sedimentos por zona foi realizada considerando-se todas as frações de diâmetros coletados e também foi realizada separadamente para a fração de diâmetro  $\leq 63\mu\text{m}$ .

No Bloco 2 foram tomadas as campanhas de 10/07/2013 a 27/08/2013, sendo analisadas amostras compostas de cada campanha. Essas amostras foram formadas pela adição das frações “NA” e “A” de todas as 12 seções de cada campanha.

A Figura 9 apresenta diagrama que ilustra as amostras do Bloco 2.

## BLOCO 2 – CAMPANHAS DE 10/07/2013 A 27/08/2013



LEGENDA:

CAMPANHAS

SEÇÕES

NA - AMOSTRAS NÃO ADERIDAS

A - AMOSTRAS ADERIDAS

Amostra da campanha

AC – ANÁLISE DE ACUMULO POR CAMPANHA

AG – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR CAMPANHA

**Figura 9- Diagrama de análise das amostras do bloco 2.**

Com as amostras do Bloco 2 foi analisado o acúmulo de massa de sedimentos em cada campanha de modo a se obter uma interpretação do comportamento e permitir uma comparação entre elas. A análise de acúmulo de sedimentos por campanha foi realizada considerando-se todas as frações de diâmetros coletados e, também, foi realizada separadamente para a fração de diâmetro  $\leq 63 \mu\text{m}$ .

Na análise de acumulação de sedimentos por zona e por campanha, foram utilizadas as Equações 1 a 8 descritas a seguir.

### **5.2.1 – Acúmulo de sedimentos por Zona (todos os diâmetros)**

Obteve-se a massa média de sedimentos acumulados por zona em cada campanha do Bloco 1 ( $M_z$ ) conforme Equação 1.

$$M_z = \frac{M_T/N_s}{N_C \cdot A} \quad \text{eq. 1}$$

Em que:

$M_z$ = massa média de sedimentos acumulados por zona em cada campanha do Bloco 1 ( $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{campanha}$ ).

$M_T$ = massa total de sedimentos acumulados nas seções das respectivas zonas ( $M_T = N_A \cdot A$ ) nas campanhas do Bloco 1 (g).

$N_C$ = número de campanhas (4 campanhas).

$N_s$ = número de seções na respectiva zona.

$A$ = área de cada seção igual a  $1 \text{ m}^2$

Multiplicando-se  $M_z$  pela área (S) de sarjetas de cada zona, obteve-se a massa média acumulada na extensão das sarjetas durante as campanhas do Bloco 1 conforme Equação 2.

$$M = \frac{M_z \cdot S}{1000} \quad \text{eq. 2}$$

Em que:

M= massa média de sedimentos acumulados nas sarjetas de cada zona por campanha (kg/campanha).

M<sub>Z</sub>= massa média de sedimentos acumulados por zona por campanha do Bloco 1 (g/m<sup>2</sup>.campanha).

S= área de sarjetas em cada zona, considerando-a como o produto da extensão do perímetro de sarjetas (em metros) por 1 metro.

### **5.2.2 – Acumulação de sedimentos por Zona (diâmetros finos)**

Obteve-se a massa média de sedimentos finos acumulados por zona em cada campanha do Bloco 1 (m<sub>z</sub>) conforme Equação 3.

$$m_z = \frac{m_t / N_s}{N_c \cdot A} \quad \text{eq. 3}$$

Em que:

m<sub>z</sub>= massa média de sedimentos finos acumulados por zona em cada campanha do Bloco 1 (g/m<sup>2</sup>.campanha).

m<sub>t</sub>= massa total de sedimentos finos acumulados nas seções das respectivas zonas (m<sub>t</sub>=N<sub>A</sub>·A de diâmetro <63μm) nas campanhas do Bloco 1(g).

N<sub>C</sub>= número de campanhas (igual a 4).

N<sub>s</sub>= número de seções na respectiva zona.

A= área de cada seção igual a 1 m<sup>2</sup>.

Multiplicando-se  $m_z$  pela área (S) de sarjetas de cada zona, obteve-se a massa média de sedimentos finos acumulada nas sarjetas das zonas durante o período do Bloco 1 conforme Equação 4.

$$m = \frac{m_z \cdot S}{1000} \quad \text{eq. 4}$$

$m$ = massa média de sedimentos finos acumulados nas superfícies das sarjetas de cada zona em cada campanha do Bloco 1 (kg).

$m_z$ = massa média de sedimentos finos acumulados por zona em cada campanha do Bloco 1 ( $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{campanha}$ ).

$S$ = área de sarjetas em cada zona, considerando-se o produto da extensão do perímetro de sarjetas (em metros) multiplicado por 1 metro.

### **5.2.3 – Acumulação de sedimentos por Campanha (todos os diâmetros)**

Obteve-se a massa média de sedimentos acumulados em cada campanha do Bloco 2 ( $M_c$ ) conforme Equação 5.

$$M_c = \frac{M_{tc}}{N_s \cdot A} \quad \text{eq. 5}$$

Em que:

$M_c$ = massa média de sedimentos acumulados nas campanhas do Bloco 2 ( $\text{g}/\text{m}^2$ ).

$M_{tc}$ = massa total de sedimentos acumulados em cada campanha ( $M_{tc}=N_s \cdot A$ ) nas campanhas do Bloco 2 (g).

$N_s$ = número de seções (12 seções).

$A$ = área de cada seção igual a 1  $\text{m}^2$ .

Multiplicando-se  $M_c$  pela área total de sarjetas da área de estudos ( $S_t$ ), obteve-se a massa média total acumulada durante as campanhas do Bloco 2, conforme Equação 6.

$$M_a = \frac{M_c \cdot S_t}{1000} \quad \text{eq. 6}$$

Em que:

$M_a$ = massa média de sedimentos acumulados nas superfícies da área de estudos em cada campanha de amostragem do Bloco 2 (kg).

$M_c$ = massa média de sedimentos acumulados nas campanhas do Bloco 2 ( $\text{g}/\text{m}^2$ ).

$S_t$ = área total de sarjetas na área de estudos, considerando-se o produto da extensão do perímetro de sarjetas (em metros) multiplicado por  $1\text{m}^2$ .

#### **5.2.4 – Acumulação de sedimentos por Campanha (diâmetros finos)**

Obteve-se a massa média de sedimentos de diâmetro  $\leq 63\mu\text{m}$  (fração fina) acumulados em cada campanha do Bloco 2 ( $M_f$ ) conforme Equação 7.

$$M_f = \frac{M_{fc}}{N_s \cdot A} \quad \text{eq. 7}$$

Em que:

$M_f$ = massa média de sedimentos de fração fina acumulados por campanha do Bloco 2 ( $\text{g}/\text{m}^2$ ).

$M_{fc}$ = massa total de sedimentos de fração fina acumulados em cada campanha ( $M_{fc}=N_s \cdot A$  de diâmetro  $< 63\mu\text{m}$ ) nas campanhas do Bloco 2 (g).

$N_s$ = número de seções (igual a 12).

$A$ = área de cada seção igual a  $1\text{m}^2$ .

Multiplicando-se  $M_{fc}$  pela área total de sarjetas da área de estudos ( $S_t$ ), obteve-se a massa média de sedimentos de fração fina acumulados por campanha, conforme Equação 8.

$$M_{fa} = \frac{M_f \cdot S_t}{1000} \quad \text{eq. 8}$$

$M_{fa}$ = massa média de sedimentos de fração fina acumulados nas superfícies da área de estudos em cada campanha do Bloco 2 (kg).

$M_f$ = massa média de sedimentos de fração fina acumulados por campanha do Bloco 2 ( $g/m^2$ ).

$S_t$ = área total de sarjetas na área de estudos, considerando-se o produto da extensão do perímetro de sarjetas (em metros) multiplicado por 1 metro.

### 5.3 – Análise Granulométrica

Para a análise granulométrica dos sedimentos coletados foram consideradas as divisões em blocos conforme indicado anteriormente. Para o bloco 1, foram realizadas análises granulométricas das amostras das zonas e seções obtidas conforme Figura 8 e Figura 10, obtendo-se a curva granulométrica e sendo determinados os diâmetros característicos  $d_{10}$ ,  $d_{50}$  e  $d_{60}$ , representando respectivamente os diâmetros correspondentes a 10%, 50% e 60% do material das amostras que passa pelas peneiras.

Para o Bloco 1, foram analisadas as curvas granulométricas de cada uma das 12 seções sendo que, para isto, as frações “NA” e “A” foram agrupadas para formar uma amostra total de cada uma das 12 seções em cada campanha (FIGURA 10).

ANÁLISES GRANULOMÉTRICA POR SEÇÃO - DO BLOCO 1 – CAMPANHAS DE 04/06/2013 A  
25/06/2013

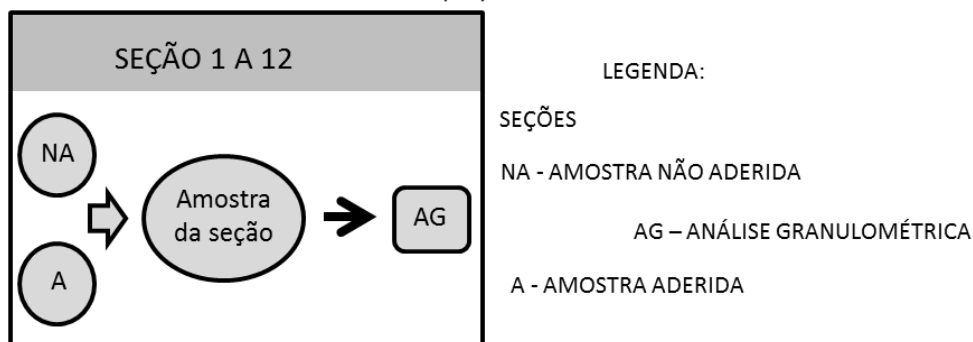


Figura 10 - Diagrama representando a formação das amostras utilizadas nas análises granulométricas do Bloco 1.

Para a realização da análise granulométrica utilizou-se um Agitador Eletromagnético de Peneiras para Análises Granulométricas da marca Bertel. O uso desse equipamento mostrou-se adequado em função das características das amostras, pois os ensaios a seco são indicados para materiais com granulometria grossa e quantidades pequenas de fração fina (abaixo de  $100\ \mu\text{m}$ ) (UNIFAL, 2012). As amostras de sedimentos foram previamente secas em estufa a  $105^{\circ}\text{C}$  por 24 horas para remover toda a umidade (DOTTO, 2006; ABNT, 1984). A determinação da distribuição granulométrica de cada amostra foi feita utilizando-se seis peneiras ( $63\ \mu\text{m}$ ;  $125\ \mu\text{m}$ ;  $250\ \mu\text{m}$ ;  $600\ \mu\text{m}$ ;  $1180\ \mu\text{m}$  e  $2000\ \mu\text{m}$ ) seguindo metodologia empregada em Dotto (2006). Considerando-se a massa relativamente pequena de cada amostra, estas foram submetidas à vibração por cinco minutos com ajuste de vibração no nível 5 do equipamento o que se mostrou suficiente para separar as frações. As massas de cada seção nas campanhas do Bloco 1 que ficaram retidas nas peneiras foram pesadas, somadas e apresentadas na forma de gráficos para a elaboração da curva granulométrica das zonas e seções.

Para o Bloco 2 de amostras foram realizadas análises granulométricas das amostras compostas por todas as seções de cada campanha deste bloco (FIGURA 9). Estas amostras foram processadas no mesmo equipamento e mesmo conjunto de peneiras utilizados para a análise das amostras do Bloco 1, porém, considerando-se que as amostras compostas tiveram massa maior

em relação às amostras do Bloco 1 optou-se por submetê-las à vibração por quinze minutos com ajuste de vibração no nível 7 do equipamento, pois as amostras compostas, quando submetidas à vibração por menor tempo e menor potência não apresentaram a separação eficiente das frações. As massas retidas em cada peneira foram pesadas e apresentadas na forma de gráficos para a elaboração da curva granulométrica de cada campanha.

#### **5.4 – Análises de metais traço**

Considerando estudos realizados que apontam a importância da fração fina no processo de transferência de poluentes e nutrientes da bacia vertente para os corpos receptores foram realizadas análises em amostras de sedimentos de fração menor ou igual a  $63\mu\text{m}$  obtidas através de peneiramento a seco das amostras compostas do Bloco 2.

Após o processamento no Agitador Eletromagnético de Peneiras, a fração de diâmetro menor ou igual a  $63\mu\text{m}$  das amostras do Bloco 2 foram encaminhadas aos laboratórios da INB (Indústrias Nucleares do Brasil) com sede em Caldas, MG onde as amostras foram submetidas a análises para determinação da concentração e tipos de metais presentes. Foram empregadas duas metodologias para análise das amostras: (i) Espectrometria de Fluorescência de Raios-X por Dispersão de Energia (EDXRF) e (ii) Espectrometria de Emissão Óptica de Plasma de Argônio Indutivamente acoplado (ICP-OES).

O objetivo foi realizar a caracterização destes sedimentos em relação à sua composição mineralógica em geral e determinação de cargas dos principais metais presentes nas superfícies estudadas.

As amostras do Bloco 2 foram submetidas a análise por Espectrometria de Fluorescência de Raios-X por Dispersão de Energia (EDXRF) para a determinação da composição mineralógica dos sedimentos. Para determinar a carga total de metais traço mais comuns em áreas

urbanas (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn), as amostras foram submetidas a análise por Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES).

O emprego dos dois métodos permitiu obter uma rápida identificação dos elementos e caracterização mineralógica das amostras em termos de elementos constituintes (EDXRF) e a caracterização da carga total de metais em massa por metro quadrado de sarjeta (ICP-OES).

A EDXRF é uma técnica não destrutiva que permite identificar os elementos presentes em uma amostra (análise qualitativa) assim como estabelecer a proporção (teor) em que cada elemento se encontra presente na amostra.

A técnica analítica nuclear de fluorescência de raios X (XRF) tem sido utilizada para a avaliação quali-quantitativa da composição química em vários tipos de amostras, de interesse agropecuário, agroindustrial, geológico e ambiental. Esta técnica, por ser não destrutiva e instrumental e por permitir a análise de vários elementos simultaneamente de modo rápido e a baixo custo, tem um elevado potencial de aplicação em várias áreas, onde há necessidade de correlação entre os elementos essenciais e tóxicos. Esta técnica vem sendo utilizada principalmente para amostras sólidas, permitindo a determinação simultânea ou sequencial da concentração de vários elementos, sem a necessidade de destruição da amostra, ou seja, de modo instrumental, sem nenhum pré-tratamento químico. Apresenta uma alta velocidade analítica para análise semi-quantitativa de amostras de interesse agro-industrial, geológico e ambiental quando se utiliza tubos de raios X na excitação. A técnica de EDXRF tem sido muito usada nos últimos anos, tanto para análise qualitativa quanto para quantitativa, podendo atingir limites de detecção da ordem de 1 a 20 ppm para amostras sólidas (sem tratamento químico) e da ordem de 1 a 20 ppb para amostras líquidas (com tratamento de pré-concentração). Tem ganhado importância em análises multielementares instrumentais, devido a sua simplicidade, velocidade e custo analítico (NASCIMENTO FILHO, 1999).

O ICP-OES é uma técnica mais precisa em relação ao anterior sendo baseado na introdução de uma névoa da amostra líquida em uma chama de

plasma e medição da quantidade de luz emitida pelos elementos. Esta emissão é proporcional à concentração do elemento medido e, assim, é possível realizar a quantificação.

A técnica de ICP-OES é baseada na medida da intensidade da radiação emitida, quando um átomo ou íon excitado pelo plasma retorna ao seu estado fundamental. Trata-se de uma técnica multielementar que executa grande número de determinações em muito pouco tempo, além de poder ser aplicada a diferentes concentrações, devido a possibilidade de escolha de linhas. (MONTASER & GOLIGHTLY, 1992).

Para análise através do ICP-OES, as amostras foram preparadas executando-se a fusão em Bico de Mercker por 30 minutos da massa de amostra mais 2g de fundente ( $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  - Tetraborato de Lítio). A pérola resultante da fusão foi dissolvida em 25 mL de ácido nítrico (1:1) em chapa de aquecimento. O material foi transferido para um balão volumétrico de 50 mL e o volume completado com água destilada. Na análise por ICP-OES, utilizou-se curva de calibração montada a partir de branco com matriz resultante da fusão/dissolução nítrica e adição de solução-padrão dos metais analisados.

## **6 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **6.1- Análises de massa acumulada e granulometria de sedimentos**

O processo de acúmulo de sedimentos sobre as vias foi estudado a partir da análise das massas das amostras visando estabelecer relações entre as zonas e entre campanhas de amostragem verificando as variações em função do tempo e do espaço. Também foi possível realizar inferências quanto à relação entre a ocupação urbana existente nas diferentes zonas e o acúmulo de material granular.

A partir da pesagem das amostras dos Blocos 1 e 2 definidos conforme metodologia apresentada, estabeleceu-se as massas médias acumuladas em relação à área de sarjetas, sendo possível indicar a quantidade de sedimentos depositados sobre o local de estudo, o que permitiu estabelecer estimativas sobre o aporte de poluentes para o curso d'água à jusante durante o período estudado.

#### **6.1.1 – Análises de acúmulo de massa por zona**

Com o objetivo de se verificar as relações entre acúmulo de sedimentos e as características de ocupação das zonas, foram analisadas as massas de sedimentos coletadas no Bloco 1 de amostras. Definiu-se o tipo de uso em cada lote da área de estudos a partir da verificação *in loco*, estabelecendo-se a porcentagem de área de lotes em construção, lotes construídos e lotes sem ocupação das respectivas zonas.

As análises foram executadas para verificar as tendências de acúmulo de sedimentos sobre as vias em cada zona.

A Figura 11 apresenta a massa total de sedimentos coletados nas campanhas do Bloco 1 descritas por seção, por zona e por campanha.

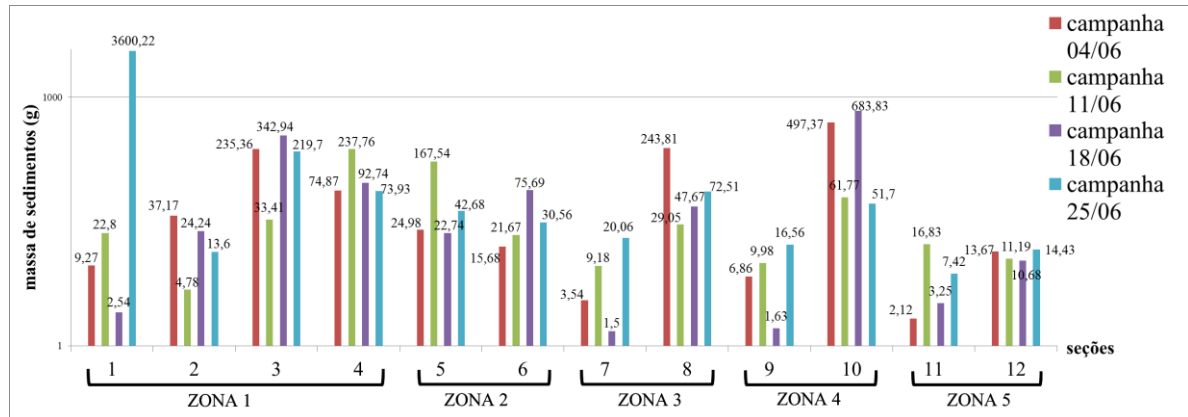


Figura 11 - Comparação entre as massas totais de sedimentos coletadas nas campanhas de 04/06 a 25/06 (gráfico em escala mono logarítmica).

Para a análise do acúmulo de sedimentos por zonas nas campanhas do Bloco 1 foram utilizadas as Equações 1 e 2 cujos resultados são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12- Cálculo da massa média de sedimentos acumulados nas superfícies das zonas

Zonas	$M_z$ (g/m <sup>2</sup> ·campanha) (Equação 1)	S (m <sup>2</sup> )	M (kg/campanha) (Equação 2)
Z1	314,08	1026,60	322,44
Z2	50,19	1012,48	50,82
Z3	53,42	393,29	21,01
Z4	166,21	464,62	77,23
Z5	9,95	497,78	4,95

Obs.:  $M_z$  = massa média de sedimentos acumulados por zona em cada campanha do bloco 1  
 S = área de sarjetas em cada zona  
 M = massa média de sedimentos acumulados nas sarjetas de cada zona por campanha do Bloco 1

A partir dos dados calculados verificou-se que, em média, as sarjetas das zonas analisadas acumularam em suas superfícies massas de sedimentos que variaram de 4,95kg a 322,44kg em cada campanha de coleta. O cálculo da massa média de sedimentos acumulados nas sarjetas de cada zona por campanha é relevante para a quantificação dos poluentes relacionados aos sedimentos, constituindo-se em dado importante na gestão e controle da qualidade dos cursos d'água urbanos. Essas massas de

sedimentos potencialmente irão aportar ao curso d'água durante eventos de chuva, carreando materiais granulares e poluentes inorgânicos associados principalmente com partículas de pequenos diâmetros, podendo provocar efeitos agudos (curto prazo) tais como aumento da turbidez, depleção de oxigênio dissolvido e/ou efeitos potenciais cumulativos (longo prazo) tais como assoreamento do leito dos cursos d'água e toxicidade por metais traço entre outros poluentes de baixa degradabilidade.

Analisando-se os valores de  $M_z$  verificou-se que Z1 apresentou a maior massa média de sedimentos acumulados por zona por campanha ( $314,08\text{g}/\text{m}^2.\text{campanha}$ ). Isso pode ser atribuído ao fato de que Z1 possui a maior taxa de área de lotes em construção em relação às outras zonas (27,19%). A maior taxa de execução de obras em Z1 e sua configuração de via em forma de alça favoreceram a maior movimentação e concentração de veículos e eventuais lançamentos de materiais de construção sobre as sarjetas, fatos muito comuns quando se tem esse tipo de atividade e considerando a metodologia de construção predominante no país.

Quando se compara a taxa de área de lotes sem ocupação, entre as zonas de estudo, verifica-se que, embora Z1 possua área de lotes sem ocupação semelhante à Z2 e Z3 (FIGURA 12), Z1 acumulou cerca de 6 vezes mais sedimentos do que as zonas citadas, o que reforça a análise de que a variável mais significativa para o maior acúmulo de sedimentos em Z1 é o tipo de ocupação caracterizado pela taxa mais elevada de construções no local.

Comparadas Z2 e Z3 verifica-se que essas zonas possuem taxas semelhantes de acúmulo de sedimentos e ocupação dos lotes, porém, constatou-se que Z3 apresentou acúmulo de sedimentos pouco maior do que Z2 ( $53,42\text{g}/\text{m}^2.\text{campanha}$  e  $50,19\text{g}/\text{m}^2.\text{campanha}$ , respectivamente). Embora a pouca diferença possa ser atribuída à pequena variação nas taxas de ocupação, o maior acúmulo em Z3 também pode ser atribuído à variável “declividade da via”, uma vez que em Z2 a declividade é de 10% e em Z3 é de 7%. As maiores declividades favorecem, por um lado, a lavagem dos sedimentos pelo escoamento superficial gerado durante eventos de chuva e,

por outro lado, as menores declividades favorecem a deposição de material, possivelmente, pela ação do vento.

Embora Z4 tenha taxa de apenas 14,80% de lotes em construção foi constatado que ocorreu grande acúmulo de sedimentos nesta zona (166,21g/m<sup>2</sup>.campanha), o que também pode ser atribuído como sendo decorrência da baixa declividade da seção 10 (4%), o que permitiu que ocorresse maior deposição sobre a área dessa seção de coleta, refletindo na média da acumulação da zona.

Tem sido verificada uma importante relação entre a declividade e o acúmulo de sedimentos quando são comparadas Z2 e Z4. Essa relação indicou que embora Z2 tenha maior taxa de lotes em construção em relação a Z4 (ver FIGURA 12), o fato de Z2 possuir uma declividade maior do que em Z4 (ver TABELA 13) fez com que ocorresse nessa zona um acúmulo de somente cerca de 1/3 da massa média acumulada em Z4, confirmando a tendência de que nas maiores declividades o acúmulo tende a ser menor em decorrência da ação dos escoamentos com maior velocidade.

Quando se compara Z5 com relação às outras zonas verifica-se que essa zona apresentou a menor massa de sedimentos acumulados por unidade de área. A comparação especificamente com Z1 estabelece os extremos entre as zonas e permite verificar que a variável mais significativa no processo de acumulação de sedimentos é a “tipologia de ocupação” existente em Z1 e Z5. A zona Z5 apresentou taxa de lotes sem ocupação de 84,09% e taxa muito baixa de lotes em construção (3,8%). Considerando-se que Z1 e Z5 tenham em média declividades semelhantes, pode-se concluir que a taxa de lotes vazios foi determinante no processo de acumulação de sedimentos. O menor acúmulo de sedimentos em Z5 teve influência significativa devido à existência de uma ampla área de preservação permanente e uma área de equipamentos comunitários que constituem uma superfície muito permeável e com vegetação nativa que serve de barreira à ação dos ventos no processo de acumulação de sedimentos, sejam os sedimentos decorrentes do desgaste do pavimento asfáltico, dos pneus, do solo, de materiais exógenos e inclusive aqueles provenientes da combustão dos motores dos automóveis, além da manutenção da umidade do solo.

Considerou-se nessa análise que, pelas características do loteamento estudado e de suas vias, a velocidade e volume de tráfego de veículos (velocidade dos veículos aproximadamente 30km/h e volume de tráfego baixo) são iguais, em média, em todas as vias ficando as diferenças relativas ao tráfego relacionadas ao tipo de transporte. Desta forma a variável “nível de tráfego” se apresenta com menor influência no processo de acumulação.

As relações apresentadas permitem confirmar a característica complexa do fenômeno de acúmulo ficando exposto que variáveis como “tipologia de ocupação” (cobertura vegetal, lotes impermeáveis e atividade de construção) e “declividade das vias” (topografia das áreas estudadas e geometria do leito carroçável) influenciam no comportamento do fenômeno de deposição.

A Tabela 13 apresenta a comparação entre as características de uso e ocupação das zonas estudadas e a massa média acumulada nas zonas.

Tabela 13- Comparação entre a massa média acumulada nas sarjetas de cada zona em relação ao uso e ocupação da área de estudo

Zonas	$M_z$ (g/m <sup>2</sup> .campanha) (Equação 1)	Área de lotes construídos %	Área de lotes em construção %	Área de lotes sem ocupação %
Z1	314,08	32,24	27,19	40,57
Z2	50,19	43,00	16,60	40,40
Z3	53,42	46,40	10,44	43,16
Z4	166,21	49,40	14,80	35,80
Z5	9,95	12,12	3,80	84,09

Obs.:  $M_z$  = massa média de sedimentos acumulados por zona em cada campanha do bloco 1.

A Figura 12 representa graficamente as relações encontradas nas zonas em termos de massa média acumulada e uso/ocupação.

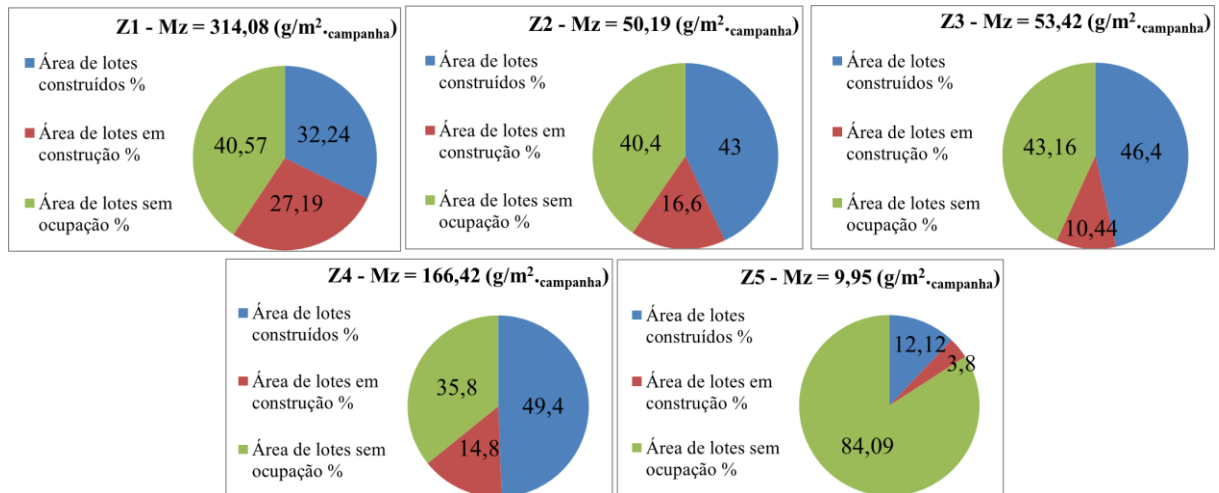


Figura 12 - Comparação entre a acumulação de sedimentos em cada zona e seus respectivos usos e ocupação.

### 6.1.2 – Análises de acúmulo de massa por zona para a fração fina de sedimentos

Com objetivo de se obter a massa média de sedimentos de fração fina (diâmetro  $\leq 63\mu\text{m}$ ) acumulados sobre as superfícies estudadas e verificar a tendência de acúmulo de sedimentos em cada zona, foi realizada análise separadamente para essa fração de sedimentos com amostras do Bloco 1.

A Tabela 14 apresenta os dados calculados para a fração fina obtidos através das Equações 3 e 4.

Tabela 14- Cálculo da massa média de sedimentos da fração fina ( $<63\mu\text{m}$ ) acumulados nas superfícies das zonas.

Zonas	$m_z$ (g/m².campanha) (Equação 3)	S (m²)	m (kg/campanha) (Equação 4)
Z1	6,53	1026,60	6,7
Z2	2,57	1012,48	2,6
Z3	2,13	393,29	0,8
Z4	3,56	464,62	1,7
Z5	0,38	497,78	0,2

Obs.:  $m_z$  = massa média de sedimentos finos acumulados por zona em cada campanha do Bloco 1  
 S = área de sarjetas em cada zona  
 m = massa média de sedimentos finos acumulados nas sarjetas de cada zona em cada campanha do Bloco 1

A partir dos valores calculados verificou-se que, em média, as sarjetas das zonas analisadas acumularam em suas superfícies massas de

sedimentos com diâmetro  $\leq 63\mu\text{m}$  que variaram de 0,20kg a 6,70kg em cada campanha de coleta. O cálculo da massa média de sedimentos finos acumulados tem importância para a quantificação dos poluentes relacionados especificamente a essa fração, pois se sabe que as partículas  $\leq 63\mu\text{m}$  estão diretamente relacionadas ao transporte de metais traço em direção aos cursos d'água (CHARLESWORTH *et al.*, 2003; ZAFRA *et al.*, 2007). Essa relação entre o diâmetro dos sedimentos e os poluentes a eles adsorvidos constitui uma informação importante na gestão e controle da qualidade dos cursos d'água urbanos.

Constatou-se que Z1 também demonstrou ser a zona com maior concentração de sedimentos de fração fina, tendo acumulado 17 vezes mais sedimentos do que Z5.

A característica verificada em Z1 se explica pelas mesmas razões pelas quais essa zona acumulou as demais frações, sendo que a “tipologia de ocupação” com elevada taxa de área de lotes em construção foi a variável mais significativa, também, para a acumulação de partículas  $\leq 63\mu\text{m}$ .

A diferença de massa entre Z2 e Z3 provavelmente se deve à diferença na taxa de áreas sem ocupação, pois em Z3 a ligeira alteração verificada em relação a Z2 pode ter influenciado no acúmulo de sedimentos de diâmetro menor do que  $63\mu\text{m}$  já que esta fração está mais suscetível ao transporte e acúmulo pela ação dos ventos. Dessa forma pode-se inferir que as superfícies sem ocupação, por manterem maiores taxas de umidade e possuírem algum tipo de vegetação, podem inibir a dispersão das partículas mais finas de sedimentos servindo como barreira ao acúmulo sobre as superfícies das sarjetas.

Em Z4, a baixa declividade da via na seção 10 e uma baixa taxa de lotes sem ocupação influenciaram o acúmulo de sedimentos de diâmetro  $\leq 63\mu\text{m}$ , o que caracterizou essa zona com uma massa de sedimentos maior do que Z2 (1,4 vezes maior) embora Z4 tenha menor área de lotes em construção. Pode-se supor neste caso que a maior taxa de lotes construídos e, portanto, impermeáveis e com volumes edificados que tendem a influenciar na ação

dos ventos, tenha favorecido o acúmulo de sedimentos finos mais sujeitos à ação dos fluxos de ar.

A zona Z5 demonstrou ser a zona com menor acúmulo de sedimentos finos, repetindo-se a tendência analisada quando se considerou todas as frações de material coletado. Verificou-se que os sedimentos finos sofrem influência significativa quando há existência de uma ampla superfície permeável e vegetada que fornece barreiras para a ação dos ventos. A baixa massa de sedimentos obtidos em Z5 indica a importância da existência de áreas livres, permeáveis e com significativa vegetação para o controle do acúmulo de sedimentos finos e, conseqüentemente, o controle de poluentes ligados a essa fração.

A massa média acumulada de fração fina nas sarjetas por campanha (m) serve como indicador de aporte médio de poluentes para o córrego à jusante, permitindo inferir alguns impactos potenciais em cada zona, considerando-se a afinidade de alguns poluentes com essa fração de sedimentos, em especial os metais traço.

A Tabela 15 apresenta a comparação entre a massa média de sedimentos finos em relação ao uso e ocupação das zonas.

**Tabela 15- Comparação entre a massa média de sedimentos finos acumulada por zona em cada campanha em relação ao uso e ocupação da área de estudo**

Zonas	$m_z$ (g/m <sup>2</sup> .campanha) (Equação 3)	Lotes construídos %	Lotes em construção %	Lotes sem ocupação %
<b>Z1</b>	6,53	32,24	27,19	40,57
<b>Z2</b>	2,57	43,00	16,60	40,40
<b>Z3</b>	2,13	46,40	10,44	43,16
<b>Z4</b>	3,56	49,40	14,80	35,80
<b>Z5</b>	0,38	12,12	3,80	84,09

**Obs.:**  $m_z$  = massa média de sedimentos finos acumulados por zona em cada campanha do Bloco 1

A análise da massa média de sedimentos finos acumulados por zona em cada campanha do Bloco 1 ( $m_z$  da TABELA 15) em relação ao uso e ocupação das respectivas zonas, indicou semelhanças com a análise realizada para a fração total de sedimentos ( $M_z$ , TABELA 13). A análise indicou que as mesmas considerações relativas a todas as frações de sedimentos tendem a

explicar as variações no acúmulo médio de massa para a fração  $\leq 63\mu\text{m}$ . Verifica-se, portanto que o acúmulo de sedimentos da fração fina também é complexo, sendo que influenciam no comportamento do fenômeno de deposição as características de ocupação, cobertura vegetal e topografia das áreas estudadas.

A Figura 13 representa graficamente as relações encontradas nas zonas em termos de massa média acumulada de sedimentos de fração fina ( $\leq 63\mu\text{m}$ ) e uso/ocupação.

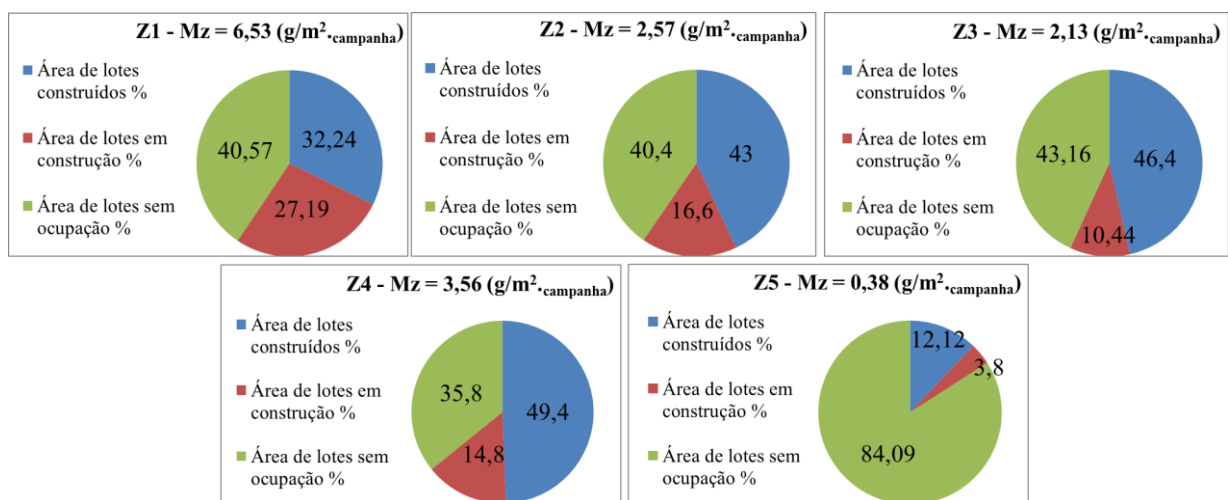


Figura 13- Comparação entre a acumulação de sedimentos da fração fina em cada zona e seus respectivos usos e ocupação.

Pode-se concluir com base nos resultados apresentados que, tanto quando se analisa as frações totais de sedimentos, quando se analisa a fração fina, as zonas que demonstraram menor acúmulo de sedimentos estão relacionadas às maiores taxas de áreas sem ocupação, permeáveis e com vegetação significativa, especialmente vegetação nativa. Estas características em conjunto servem para dificultar o acúmulo de sedimentos finos podendo constituir-se em elemento de controle do acúmulo desses sedimentos sobre as superfícies impermeáveis. Isso pode ser explicado considerando-se que estas áreas sofrem menos com a ação dos ventos em função de menor exposição do solo e, conseqüentemente, maior umidade. Segundo Dotto (2006) e Zafra et al. (2009), a ação do vento no acúmulo de sedimentos em áreas urbanas é significativo. Isso pode indicar que, no caso

de sedimentos finos as características de uso e ocupação relativas à manutenção de áreas verdes ou, no mínimo, vegetadas, são uma boa medida para o controle de sedimentos  $\leq 63 \mu\text{m}$  e, conseqüentemente, os poluentes a eles adsorvidos. Essa verificação confirma a conclusão de Zafra et al. (2008), onde os resultados de suas pesquisas sugeriram que a distribuição de sedimentos através da rua não é uniforme e é influenciada pela existência de barreiras naturais (vegetação trilha) ou artificiais (meio-fio).

### 6.1.3 – Análises de acúmulo de massa por campanha

Foram realizadas análises das massas de sedimentos das amostras compostas do Bloco 2. Essas análises serviram para verificar as tendências de acúmulo de sedimentos de cada campanha.

A Tabela 16 apresenta os valores calculados para a massa total de cada campanha do Bloco 2, onde foram utilizadas as Equações 5 e 6.

Tabela 16- Cálculo da massa média do total de sedimentos acumulados nas superfícies das zonas

Campanhas	$M_c$ (g/m <sup>2</sup> ) (Equação 5)	St (m <sup>2</sup> )	$M_a$ (kg) (Equação 6)
10/07	218,02	3394,77	740,1
16/07	99,15	3394,77	336,6
29/07	108,67	3394,77	368,9
07/08	55,66	3394,77	189,0
27/08	155,35	3394,77	527,4

Obs.:  $M_c$  = massa média de sedimentos acumulados nas campanhas do Bloco 2

St = área total de sarjetas na área de estudos

$M_a$  = massa média de sedimentos acumulados nas superfícies da área de estudos em cada campanha de amostragem do Bloco 2

Os valores encontrados de massa média de sedimentos acumulados ( $M_c$ ) variam de 55,66g/m<sup>2</sup> a 218,02g/m<sup>2</sup>, sendo que a média foi de aproximadamente 127,37g/m<sup>2</sup>, (com desvio padrão de 61,8 g/m<sup>2</sup>), valor acima da média encontrada por Gastaldini & Silva (2012 p.101) para as ruas Marquês do Herval e Rigoberto Duarte em Santa Maria, RS, que foram de

83,01g/m<sup>2</sup> e 67,08g/m<sup>2</sup>, respectivamente. Essa diferença pode ser explicada em função do nível de consolidação urbana das áreas amostradas, já que as ruas de Santa Maria (RS) já se encontravam com obras urbanas concluídas ao contrário da área desta pesquisa que se encontrava em franca urbanização, com alta taxa de lotes em construção. Embora haja diferença nas massas encontradas entre as pesquisas, os valores apresentam-se coerentes entre si.

Verificou-se que, em média, nas superfícies das sarjetas, acumulou-se massa de sedimentos que variaram de 189,0kg a 740,1kg em cada campanha de coleta o que representa a massa de sedimentos que potencialmente serão carregados para o curso d'água.

#### **6.1.4 – Análises de acúmulo de massa por campanha para a fração fina de sedimentos**

Para as amostras compostas do Bloco 2, realizou-se separadamente análises onde foram calculados os valores médios de massa total acumulada de sedimentos finos em cada campanha (g/m<sup>2</sup>), que são apresentados na Tabela 17.

A Tabela 17 apresenta os valores calculados através das Equações 7 e 8 para a obtenção da massa de sedimentos de fração fina acumulados por campanha.

Tabela 17- Cálculo da massa média da fração fina (<63 μm) de sedimentos acumulados nas superfícies da área de estudos.

Campanhas	M <sub>f</sub> (g/m <sup>2</sup> ) (Equação 7)	S <sub>t</sub> (m <sup>2</sup> )	M <sub>fa</sub> (kg) (Equação 8)
10/07	10,91	3394,77	37,04
16/07	8,57	3394,77	29,10
29/07	8,25	3394,77	28,00
07/08	8,14	3394,77	27,63
27/08	9,19	3394,77	31,20

Obs.: M<sub>f</sub> = massa média de sedimentos de fração fina acumulados por campanha do Bloco 2  
 S<sub>t</sub> = área total de sarjetas na área de estudos  
 M<sub>fa</sub> = massa média de sedimentos de fração fina acumulados nas superfícies da área de estudos em cada campanha do Bloco 2

Os valores encontrados de massa média de sedimentos de fração fina acumulados por campanha ( $M_f$ ) variaram de 8,14g/m<sup>2</sup> a 10,91g/m<sup>2</sup>.

Verificou-se que, em média, nas superfícies amostradas, acumularam-se massa de sedimentos na fração fina que variaram de 27,63kg a 37,04kg em cada campanha de coleta. A massa média de sedimentos de fração fina acumulados nas superfícies da área de estudos em cada campanha do Bloco 2 ( $M_{fa}$ ) permitiu realizar correlações de quantidade de metais traço em função da massa média que potencialmente aportam os cursos d'água como carga de poluentes.

## **6.2 – Distribuição granulométrica dos sedimentos em sarjetas.**

As amostras de sedimentos foram processadas conforme metodologia descrita tendo sido obtidas curvas granulométricas as quais foram analisadas para determinação da distribuição dos diâmetros das partículas de sedimentos. Foram analisadas separadamente as curvas das seções, curvas das zonas e curvas de cada campanha onde foram comparados os resultados e seus respectivos comportamentos.

### **6.2.1 – Granulometria dos sedimentos das seções**

Analisou-se separadamente as curvas granulométricas de cada uma das 12 seções de amostragem das campanhas do Bloco 1 com o objetivo de verificar o comportamento da distribuição granulométrica dos sedimentos. Foram determinadas as distribuições dos diâmetros das partículas nas amostras “Não Aderidas” (NA) e “Aderidas” (A) visando à comparação entre elas e suas relações quanto às características de tipologia de ocupação, declividade de vias e períodos secos entre as coletas.

Verificou-se que as amostras de sedimentos NA (FIGURA 14) apresentam curvas granulométricas mais dispersas entre si, apresentando variação entre 43,4% e 95,4% de sedimentos menores do que  $1180\mu\text{m}$  entre as seções e amplitudes no d50 entre  $210\mu\text{m}$  (S11) a  $1570\mu\text{m}$  (S1) e no d10 entre  $63\mu\text{m}$  (S4) e  $210\mu\text{m}$  (S1). Como esperado, essa variação destaca a característica mais grosseira dos sedimentos não aderidos e demonstra grande variação de comportamento de granulometria entre as seções decorrentes da ação diferenciada dos vários componentes envolvidos na deposição de sedimentos.

Quanto às amostras de “NA”, foi possível identificar que as seções S1, S2, S6 e S8 formaram um grupo de seções que tiveram distribuição semelhante, predominando sedimentos de dimensões mais grosseiras (d50 – areia grossa). A distribuição granulométrica de cada seção foi comparada à tipologia de ocupação (lotes construídos, lotes em construção e áreas sem ocupação) não tendo sido constatada influência do tipo de ocupação das zonas no comportamento das distribuições. A inclinação mais acentuada das vias nas quais essas seções estão inseridas e a ocorrência de obras em estágios iniciais que exigem a utilização de materiais mais grosseiros tendem a agir sinergicamente para a deposição de materiais de maior granulometria nas seções, o que pode explicar o comportamento apresentado pelos sedimentos não aderidos nas seções mencionadas.

As demais seções apresentam d50 na faixa da areia média (FIGURA 14), indicando semelhança com outros trabalhos realizados (DOTTO, 2006 e ZAFRA *et al.* 2008), o que demonstra uma tendência de ser essa faixa a mais comum para sedimentos não aderidos em áreas urbanas.

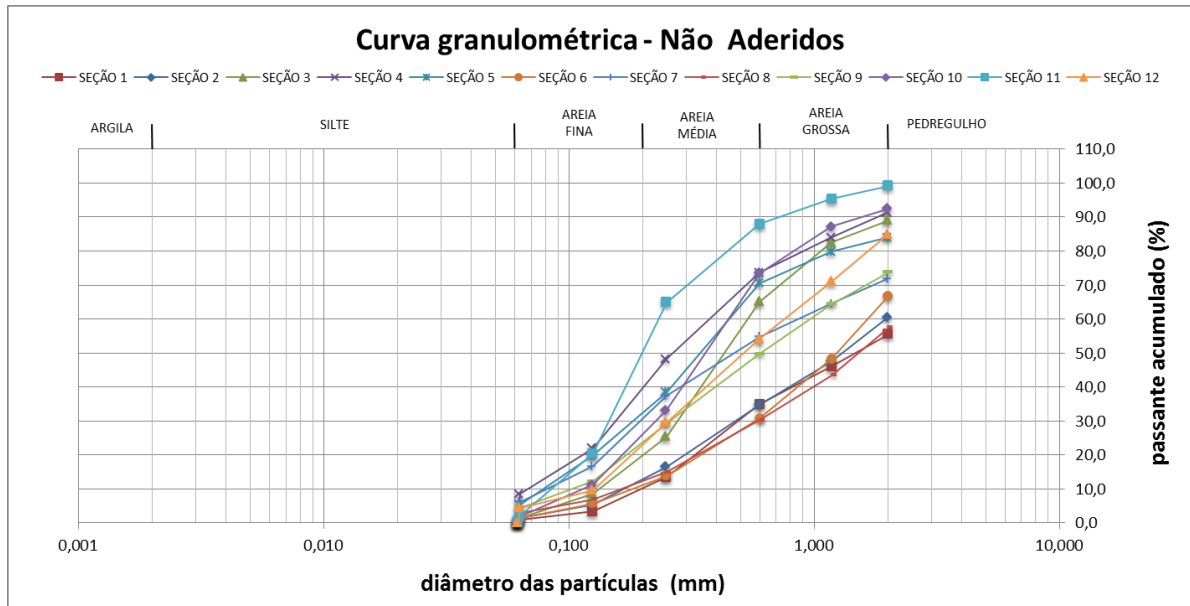


Figura 14 – Curva granulométrica dos sedimentos Não Aderidos (NA) coletados nas seções nas campanhas do Bloco 1.

Quanto aos sedimentos “A” (FIGURA 15), estes apresentam distribuição mais uniforme com variação entre 85,7% a 95,7% de sedimentos menores do que  $1180\mu\text{m}$ . As seções e amplitudes no  $d_{50}$  ficaram entre  $170\mu\text{m}$  (S4) a  $350\mu\text{m}$  (S2) e no  $d_{10}$  entre  $63\mu\text{m}$  (S1) e  $110\mu\text{m}$  (S2). Verificou-se um grupo de seções com  $d_{50}$  predominando na faixa de areia média na maioria das seções e S4, S5, S7, S8 e S11 apresentam  $d_{50}$  para a faixa de areia fina. Para essas seções não se constatou claras relações entre o comportamento granulométrico dos sedimentos e o tipo de ocupação dos lotes ou a declividade.

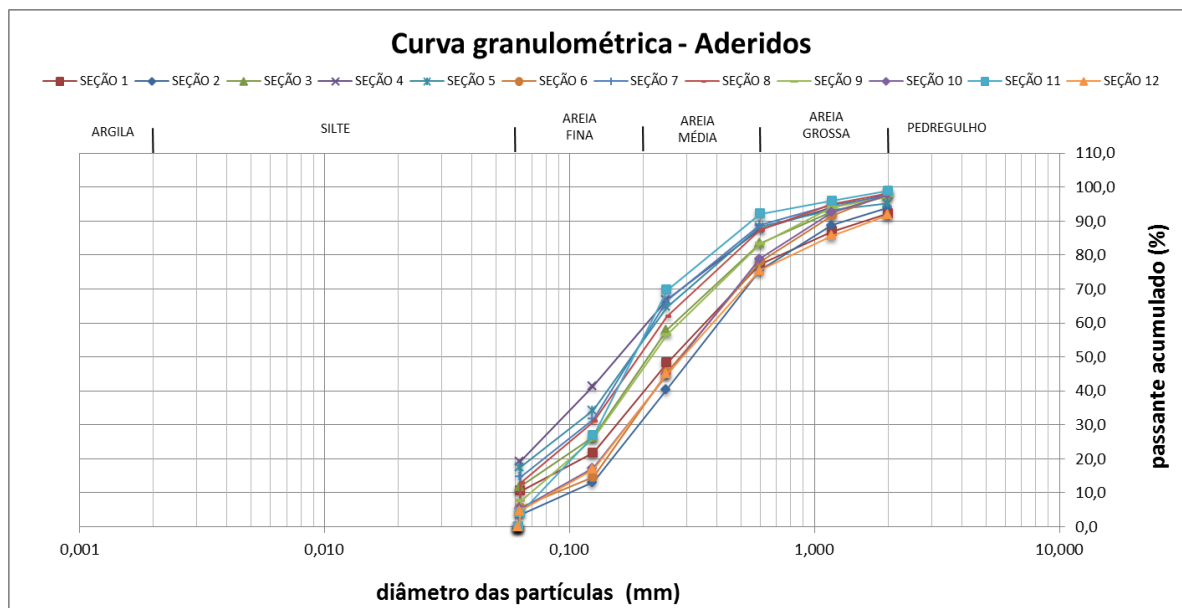


Figura 15 - Curva granulométrica dos sedimentos Aderidos (A) coletados nas seções nas campanhas do Bloco 1.

Tendo sido analisadas as relações entre as distribuições granulométricas nas 12 seções (NA e A) e a tipologia de ocupação das zonas nas quais estão inseridas, não foi verificada a influência predominante desta variável na distribuição dos sedimentos, sendo possível inferir que a tipologia de ocupação aparentemente não influencia a distribuição dos diâmetros das partículas nas diferentes seções. Isso pode indicar que as outras variáveis tais como tipo de ocupação geral da área estudada, o nível de tráfego, velocidade dos veículos, características dos ventos e fase construtiva das construções, irão influenciar a granulometria das amostras confirmando a característica de deposição de sedimentos como um fenômeno randômico e cuja complexidade se manifesta tanto na dinâmica de acumulação, quanto na distribuição de sedimentos entre as áreas estudadas. Nesse sentido é possível perceber uma tendência de que os sedimentos “NA” são os que mais sofrem influência das variáveis mencionadas em virtude da maior variação constatada entre as curvas desses sedimentos. Também foi constatado que, embora a acumulação de sedimentos seja um fenômeno complexo, é possível estabelecer uma faixa granulométrica característica das áreas urbanizadas (areia média), o que se confirma em comparações com outros estudos mencionados. Essa constatação constitui dado importante que pode orientar formas de

contenção, controle e tratamento destes sedimentos, visando a melhoria das condições ambientais em cursos d'água de áreas urbanizadas. A Tabela 18 e a Tabela 19 indicam a comparação entre a declividade das vias das seções e as respectivas distribuições granulométricas.

**Tabela 18 – Diâmetros característicos dos sedimentos Não Aderidos nas seções indicando a faixa granulométrica em relação à inclinação das vias**

<b>NÃO ADERIDOS SEÇÃO</b>	<b>d10</b>	<b>d50</b>	<b>d90</b>	<b>Inclinação (%)</b>
1	areia média	areia grossa	pedregulho	10
2	areia fina	areia grossa	pedregulho	10
3	areia fina	areia média	pedregulho	7
4	silte	areia média	areia grossa	7
5	areia fina	areia média	pedregulho	10
6	areia fina	areia grossa	pedregulho	10
7	areia fina	areia grossa	pedregulho	7
8	areia fina	areia grossa	pedregulho	7
9	areia fina	areia média	pedregulho	9
10	areia fina	areia média	areia grossa	4
11	areia fina	areia média	areia grossa	7
12	areia fina	areia média	areia grossa	7

**Tabela 19 - Diâmetros característicos dos sedimentos Aderidos nas seções indicando a faixa granulométrica em relação à inclinação das vias**

ADERIDOS SEÇÃO	d10	d50	d90	Inclinação (%)
1	silte	areia média	areia grossa	10
2	areia fina	areia média	areia grossa	10
3	silte	areia média	areia grossa	7
4	silte	areia fina	areia grossa	7
5	silte	areia fina	areia grossa	10
6	areia fina	areia média	areia grossa	10
7	silte	areia fina	areia grossa	7
8	silte	areia média	areia grossa	7
9	areia fina	areia média	areia grossa	9
10	areia fina	areia média	areia grossa	4
11	areia fina	areia fina	areia média	7
12	areia fina	areia média	areia grossa	7

### **6.2.2 – Granulometria dos sedimentos das Zonas**

As amostras de sedimentos do Bloco 1 foram agrupadas por zonas onde foram realizadas análises das curvas granulométricas para verificação de seu comportamento em termos de distribuição de partículas.

Foi verificada pequena variação na distribuição dos tamanhos de partículas das amostras de sedimentos aderidos entre as zonas amostradas (FIGURA 16), sendo que estas apresentam distribuição mais uniforme com variação entre 89,5% a 95,7% de sedimentos menores do que  $1180\mu\text{m}$  entre as zonas e amplitudes no d50 entre  $200\mu\text{m}$  (Z3) e  $290\mu\text{m}$  (Z4) e no d10 entre  $63\mu\text{m}$  (em Z1, Z2 e Z3) e  $85\mu\text{m}$  (Z4 e Z5). Sendo exceções Z1 e Z3 que tiveram d50 na faixa da areia fina, as demais zonas foram caracterizadas com d50 na faixa da areia média indicando ser esta faixa a mais comumente encontrada na distribuição deste tipo de sedimentos. O comportamento dos

sedimentos nas zonas estudadas apresentou-se semelhante ao verificado por Zafra et al. (2008) em superfícies de rodovias onde estes autores verificaram uma menor variabilidade no tamanho das partículas aderidas às quais eles denominaram de carga fixa.

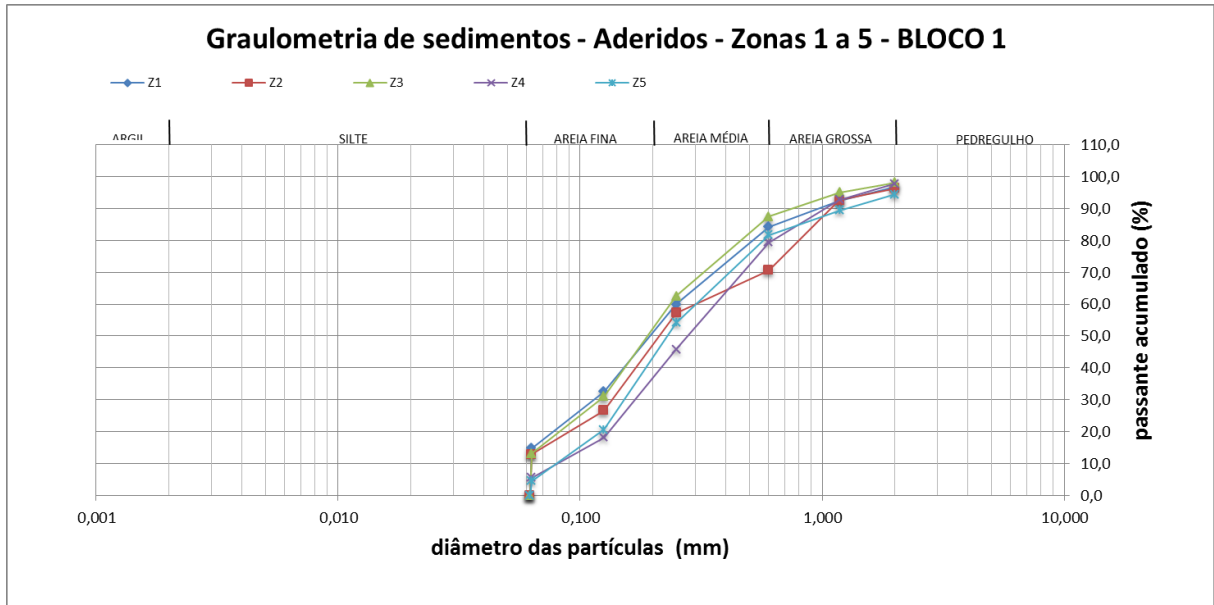


Figura 16 – Curvas granulométricas de sedimentos Aderidos nas zonas – campanhas do Bloco 1.

Nas amostras não aderidas das zonas houve maior variação de tamanhos sendo que em Z4, 86,8% das partículas foram menores do que  $1180\mu\text{m}$  e em Z3 somente 45,01% dos sedimentos foram menores do que essa fração, indicando que em Z3 ocorreu a deposição de materiais mais grosseiros (FIGURA 17).

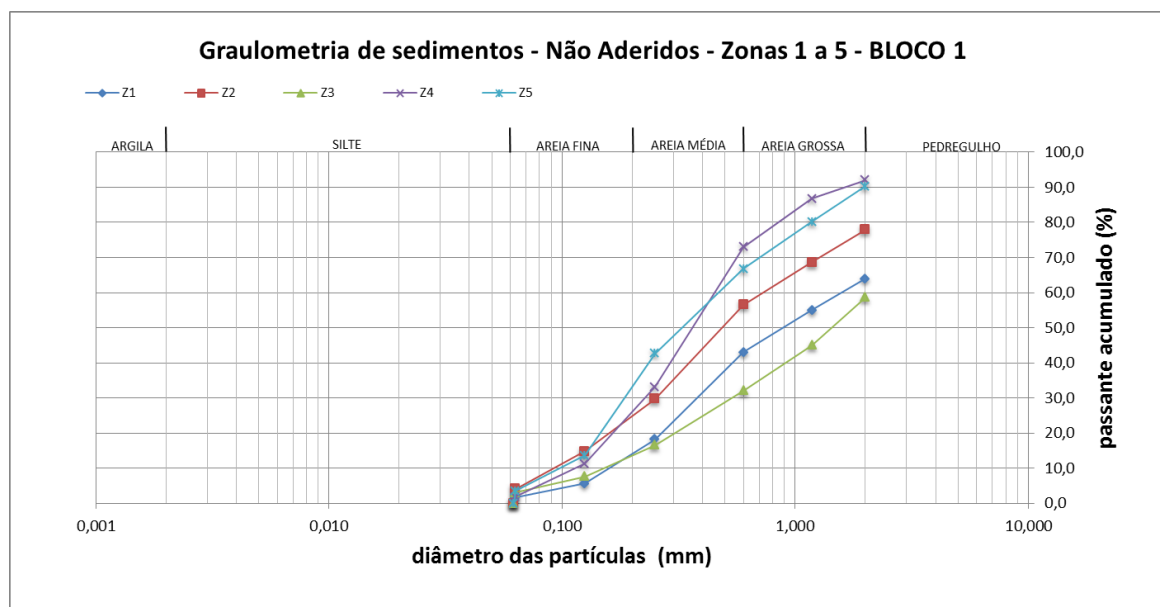


Figura 17 - Curvas granulométricas de sedimentos Não Aderidos nas zonas – campanhas do Bloco 1.

Embora as diferentes zonas tenham características de ocupação diferentes, não foi verificada influência da taxa de áreas permeáveis ou em construção na distribuição granulométrica. Isto pode ser verificado quando se compara Z4 e Z5 que possuem características de declividades e de ocupação muito diferentes e apresentaram curvas bastante semelhantes (FIGURA 17).

De maneira geral, o diâmetro médio das amostras NA das partículas das zonas do Bloco 1 (d50) ficou entre as frações de areia média e areia grossa. Quanto aos sedimentos aderidos, verificou-se que o d50 das zonas predomina na faixa de areia média com pequena variação para areia fina em Z3.

Foram determinados os diâmetros característicos das zonas do Bloco 1 como sendo aqueles nos quais passam 10% (d10), 50% (d50=diâmetro correspondente ao tamanho médio dos grãos) e 90% (d90) das partículas das amostras e se correlacionou os dados obtidos com aqueles apresentados por Zafra et al. (2008) (TABELA 20).

A análise dos diâmetros permite caracterizar as amostras de sedimentos em função de seus perfis granulométricos e possibilita a comparação entre elas.

Tabela 20- diâmetros característicos por zona – Bloco 1 e comparação com ZAFRA et al. (2008)

<b>Zonas</b>	<b>d<sub>10</sub> (μm)</b>	<b>d<sub>50</sub> (μm)</b>	<b>d<sub>90</sub> (μm)</b>
Z1 – não aderido	170	940	2000
Z1 – aderido	63	200	1000
Z2 – não aderido	100	700	2000
Z2 – aderido	63	220	1120
Z3 – não aderido	150	1500	2000
Z3 – aderido	63	200	800
Z4 – não aderido	120	400	1720
Z4 – aderido	80	290	1660
Z5 – não aderido	120	360	2000
Z5 – aderido	80	230	1200
<b>Amostras não aderidas de todas as campanhas do bloco 1</b>			
Carga Livre Rodovias (Zafra et al., 2008)	75 - 78	352 - 359	1652 - 1661
<b>Amostras aderidas de todas as campanhas do bloco 1</b>			
Carga Fixa Rodovias (Zafra et al., 2008)	13 - 15	97 - 103	702 - 709
<b>Amostra total (NA+A) de todas as campanhas do bloco 1</b>			
Carga Total Rodovias (Zafra et al., 2008)	50 - 53	268 - 280	1451 - 1466
Carga Total Sarjetas (Zafra et al., 2008)	31 - 48	193 - 270	1184 - 1508

Os resultados obtidos nesta pesquisa são compatíveis com as faixas granulométricas médias (d50) encontradas por outros autores em pesquisas realizadas para sedimentos coletados sobre superfícies de sarjetas urbanas que variaram de 370μm e 440μm para sedimentos Não Aderidos e 300μm para sedimentos Aderidos (DOTTO, 2006) e 600μm para Não Aderidos e 300μm para Aderidos (VAZE & CHIEW, 2002). Essa verificação tende a confirmar ser uma condição típica de áreas urbanas que o diâmetro correspondente ao tamanho médio dos grãos (d50) está situado na faixa de areia média. Embora os autores citados tenham utilizado método de aspiração para obtenção das amostras, as semelhanças dos resultados obtidos entre a presente pesquisa e os demais trabalhos, demonstram que o

método de varrição a seco utilizado nessa pesquisa não apresenta prejuízos quanto à obtenção e análise granulométrica das amostras, o que leva a concluir que ambos os métodos apresentam a mesma eficiência de coleta quando se procura analisar a distribuição dos sedimentos nas amostras.

Na análise das curvas granulométricas das zonas, foi verificado que menos de 4% dos sedimentos não aderidos ficaram abaixo do diâmetro  $63\mu\text{m}$ . Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Gastaldini & Silva (2012) em pesquisa realizada em duas ruas de área residencial com características semelhantes às do presente estudo. Segundo essas autoras, a granulometria  $\leq 63\mu\text{m}$  representa em média 3% da carga total de sedimentos na área amostrada.

Na Tabela 20, é feita uma comparação entre os diâmetros encontrados nas zonas de amostragem e os resultados obtidos por Zafra et al. (2008), onde verifica-se que os resultados desta pesquisa diferem dos encontrados pelos autores nas amostras de sedimentos em superfícies de rodovias e em sarjetas. Esses autores encontraram  $d_{50}$  de  $352\mu\text{m}$  e  $359\mu\text{m}$  (areia média) em suas amostras de sedimentos Não Aderidos sobre rodovias enquanto na presente pesquisa o  $d_{50}$  variou nas faixas de areia grossa (Z1 e Z3) e areia média (Z2, Z4 e Z5). Para os sedimentos aderidos os autores encontraram  $d_{50}$  igual a  $97\mu\text{m}$  e  $103\mu\text{m}$  (areia fina) enquanto na presente pesquisa  $d_{50}$  ficou na faixa de areia média. Os resultados diferentes devem ser atribuídos ao tipo de superfície de amostragem já que as superfícies em Zafra et al. (2008) são submetidas a um tráfego de veículos muito superior à superfície da área de amostragem do presente estudo onde se supõe que os sedimentos são submetidos aos impactos do tráfego e há uma característica diferente de desgaste do pavimento que tende a desprender partículas menores ao contrário das atividades que ocorrem no loteamento Santa Teresa onde há menos tráfego e os sedimentos tendem a ser caracterizados pelo material granular de construção e pela atividade de ocupação residencial. Contudo os resultados entre as diferentes pesquisas apresentam-se coerentes em termos gerais.

Nesta pesquisa, verificou-se que o d50 para amostras totais (NA+A) do Bloco 1 obteve-se diâmetro de  $600\mu\text{m}$  (areia média) sendo um resultado semelhante a Dotto (2006) que também concluiu, em análises de sedimentos em sarjetas de ruas, que o d50 encontra-se na faixa de areia média. Porém, estes resultados diferem de Zafra *et al.* (2008) que também analisou amostras de sedimentos coletados em sarjetas e caracterizou a carga total de sedimentos como tendo d50 variando de  $193\mu\text{m}$  (areia fina) a  $270\mu\text{m}$  (areia média).

### **6.2.3 – Granulometria das amostras NA e A do Bloco 1**

Foram elaboradas curvas granulométricas adotando-se a massa total de amostras NA e A das campanhas do Bloco 1 (FIGURA 18) onde foi verificado que 61,1% das partículas das amostras Não Aderidas foram menores do que  $1180\mu\text{m}$  sendo destas 1,9% destas partículas foram menores do que  $63\mu\text{m}$ . Nas amostras aderidas 92,7% ficaram abaixo do diâmetro  $1180\mu\text{m}$  e 11,5% foi constituído de sedimentos com diâmetro menor do que  $63\mu\text{m}$ . Como esperado, a maior taxa de sedimentos finos está presente nas amostras aderidas.

Em termos de amostras totais (NA+A) a granulometria maior que  $250\mu\text{m}$  (maior que areia média) representou cerca de 76% da massa de sedimentos sendo estes resultados semelhantes a Gastaldini & Silva (2012) onde a granulometria maior do que  $250\mu\text{m}$  representa em média 69% da carga de sedimentos nas ruas.

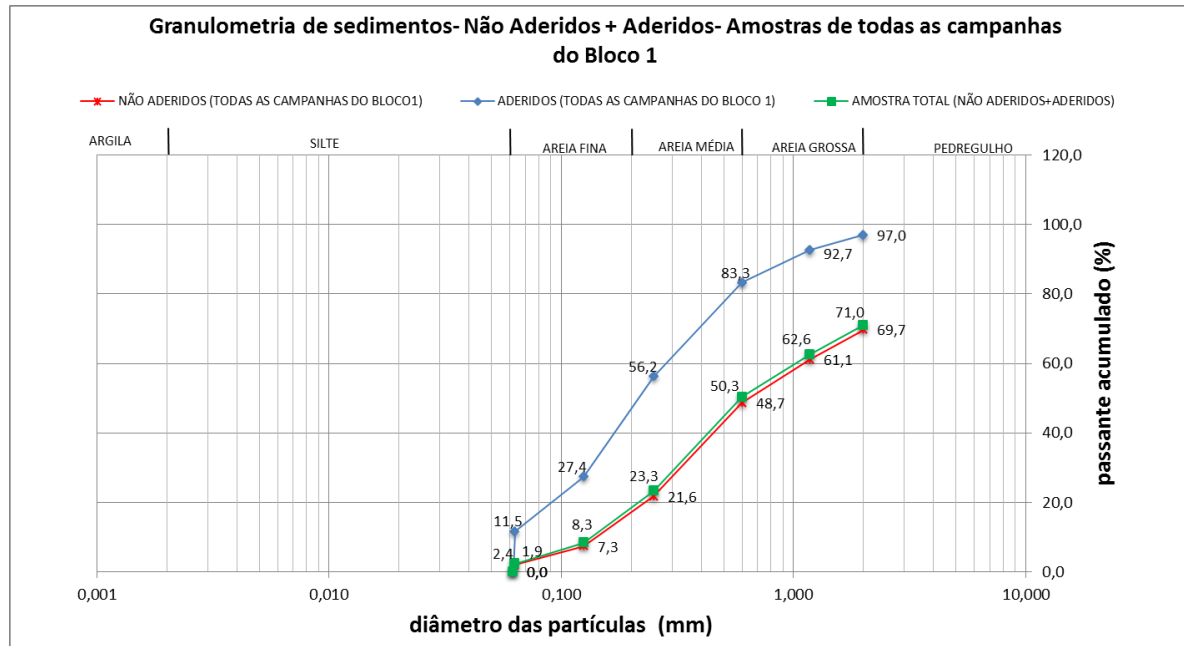


Figura 18 – Curvas granulométricas obtidas com as amostras totais de sedimentos (NA+A) das campanhas do Bloco 1

Considerando-se a amostra total (NA+A) de todas as campanhas do Bloco 1, foi verificado que 62,6% das partículas foram menores do que o diâmetro de  $1180\mu\text{m}$  e apenas 2,4% de diâmetro menor do que  $63\mu\text{m}$  (FIGURA 18). Foi verificado neste caso  $d_{50}$  igual a  $600\mu\text{m}$  (areia média) e  $d_{10}$  igual a  $140\mu\text{m}$ .

As curvas da Figura 18 demonstram que a fração de sedimentos aderidos interfere muito pouco no comportamento da curva dos sedimentos não aderidos em decorrência da pouca massa daqueles sedimentos em relação à massa total das amostras. Os valores encontrados nas curvas da Figura 18 diferem daqueles determinados por Zafra *et al.* (2008) em superfícies de uma rodovia e em sarjetas. Os resultados encontrados pelos pesquisadores foram de 87% dos sedimentos com diâmetros menores do que  $1000\mu\text{m}$  e 13% com diâmetros menores do que  $63\mu\text{m}$  onde verificamos que os sedimentos de rodovias tendem a ser mais finos do que os das sarjetas da área residencial analisada nesta pesquisa, havendo uma tendência de que os sedimentos em superfícies de vias onde predomina uso residencial sejam mais grosseiros do que em rodovias provavelmente em decorrência das características de tráfego, a forma de desgaste do pavimento e a criação de fluxos de ar pelos veículos em movimento e ocorrência de construções.

A característica mais grosseira dos sedimentos encontrados na presente pesquisa, podem ser decorrentes do fato de que a área de amostragem (1m<sup>2</sup>) abrangeu parte do pavimento asfáltico enquanto na área pesquisada pelos autores citados, as amostras ficaram restritas à superfície de concreto da sarjeta (área de 0,49m<sup>2</sup>).

Apesar das variações em valores absolutos de d<sub>50</sub> em comparação com outros autores (TABELA 21) os valores encontrados nesta pesquisa apresentam-se coerentes. Essas variações podem ser atribuídas à diferenças na distribuição de tamanho de partículas de sedimentos coletados entre as pesquisas devidas às características particulares de cada local de amostragem e a eficácia dos diferentes métodos utilizados na coleta de sedimentos (aspiração a seco, aspiração com varredura a seco e simultânea lavagem e aspiração) além de serem realizadas em locais com uso e ocupação diferentes.

A Tabela 21 faz uma comparação com várias pesquisas realizadas para se determinar as características granulométricas dos sedimentos urbanos onde se verifica que, em termos gerais, há uma tendência à ocorrência de d<sub>50</sub> na faixa da areia média o que foi verificado na área de estudos do loteamento Jardim Santa Teresa.

**Tabela 21- Diâmetro médio (d<sub>50</sub>) de sedimentos encontrados em áreas urbanas de outras localidades comparados com os resultados obtidos no Loteamento Jd. Santa Teresa.**

Local de Amostragem	Fonte	d <sub>50</sub> μm
London Borough of Lambeth, Londres, Inglaterra	Butler e Clark, 1995	≈ 400 areia média
Beechwood, Dundee, Escócia	Deletic et al., 2000	≈ 8000* pedregulho
Commercial Street, Dundee, Escócia	Deletic et al., 2000	≈ 1600* areia grossa
Melbourne, Austrália	Muthukaruppan et al., 2002	≈ 250** areia média
Bouverie Street, Melbourne, Austrália	Vaze e Chiew, 2002	≈ 500 areia média
Marquês do Herval, Santa Maria, RS, Brasil	Dotto, 2006	≈ 350 areia média
Rigoberto Duarte, Santa Maria, RS, Brasil	Dotto, 2006	≈ 350 areia média
<b>Loteamento Jardim Sta. Teresa, Poços de Caldas</b>		<b>600 (areia média) para amostra total (Não Aderidos+Aderidos)</b>

Obs.: Adaptado de DOTTO, 2006. \* Partículas menores que 63 μm não foram fracionadas. \*\* Foram fracionadas apenas os sedimentos menores que 1000 μm.

### 6.2.4 – Granulometria dos sedimentos das campanhas

As campanhas de amostragem também foram analisadas em termos de distribuição granulométrica das partículas com o objetivo de verificar o comportamento geral entre elas.

Agrupou-se todas as amostras de sedimentos Não Aderidos e Aderidos de todas as campanhas dos Bloco 1 e 2 de amostras onde foi verificado que as campanhas que compõe os referidos blocos apresentaram comportamento diferente (FIGURA 19 E FIGURA 20).

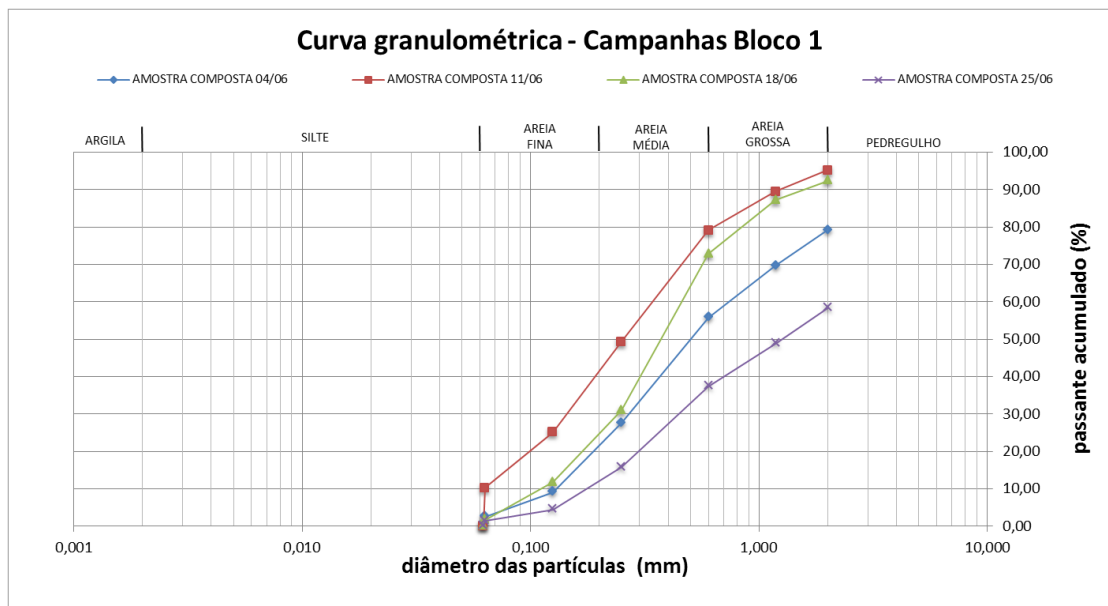
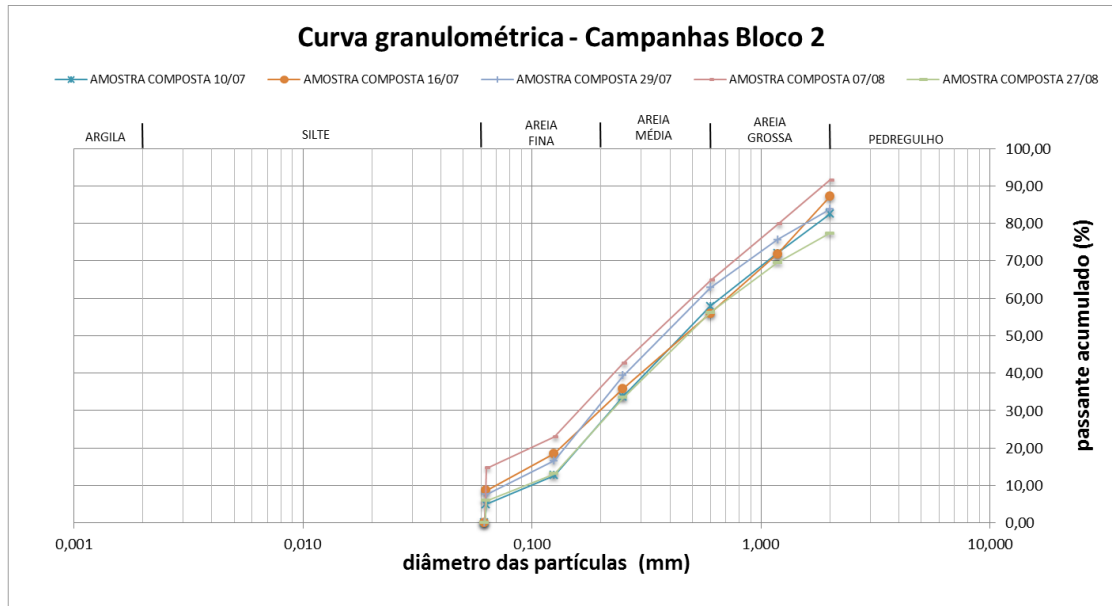


Figura 19 – Curvas granulométricas das amostras compostas das campanhas do Bloco 1.



**Figura 20 - Curvas granulométricas das amostras compostas das campanhas do Bloco 2.**

O Bloco 1 apresentou maiores diferenças entre suas campanhas do que o Bloco 2 que demonstrou ser mais homogêneo em termos de distribuição do diâmetro dos sedimentos durante as campanhas.

No caso das campanhas que compõe o Bloco 1, ocorre uma variação entre 48,86% a 89,5% de partículas menores do que  $1180\mu\text{m}$  de diâmetro e amplitudes no  $d_{50}$  entre  $260\mu\text{m}$  (campanha de 11/06) a  $1300\mu\text{m}$  (campanha 25/06) e no  $d_{10}$  entre  $63\mu\text{m}$  (campanha de 11/06) a  $190\mu\text{m}$  (campanha 25/06). Como observado, o  $d_{50}$  das amostras compostas das campanhas do Bloco 1 encontra-se na faixa da areia média sendo exceção a campanha do dia 25 de junho.

O Bloco 2 apresenta-se mais uniforme sendo que as curvas que representam as campanhas desse bloco encontram-se mais próximas indicando uma homogeneidade no comportamento de distribuição de sedimentos, mesmo tendo ocorrido períodos maiores entre as coletas. Neste bloco ocorreu uma variação entre 69,52% a 79,78% de partículas menores do que  $1180\mu\text{m}$  de diâmetro e amplitudes no  $d_{50}$  entre  $370\mu\text{m}$  (campanha de 07/08) a  $510\mu\text{m}$  (campanha 27/08) e no  $d_{10}$  entre  $63\mu\text{m}$  (campanha de 07/08) a  $100\mu\text{m}$  (campanha 10/07). Foi observado que o  $d_{50}$  das amostras compostas das campanhas do Bloco 2 encontra-se na faixa da areia média sem exceção.

Observou-se que as campanhas de 04/06 a 25/06 (Bloco 1) apresentaram distribuição granulométrica mais variável porém predominando o d50 na faixa da areia média. As campanhas do Bloco 2 também apresentaram d50 na faixa da areia média porém com pouca variação na distribuição dos tamanhos das partículas.

Foi verificado que durante as campanhas do Bloco 1 ocorreu o maior período chuvoso entre todas as campanhas havendo 140,25mm de chuva acumulada em um período de 35 dias entre 21/05 e 25/06. Nesse período a coleta do dia 04/06 foi precedida de 111,75mm de chuva desde a campanha de limpeza de 21/06, podendo ser atribuída à ocorrência de eventos chuvosos a maior variabilidade dos diâmetros das partículas de sedimentos. Essa hipótese é reforçada quando se verifica que nas campanhas do Bloco 2 que se apresentaram mais homogêneas quanto à distribuição granulométrica ocorreu 72,50mm de chuvas acumuladas em um período de 62 dias. Outro fator a ser anotado é que as campanhas do Bloco 1 ocorreram em intervalos de 7 dias enquanto as campanhas do Bloco 2 variaram no período entre as coletas.

Zafra et al. (2008) atribuíram relação entre a ocorrência de períodos secos entre dois eventos de chuva consecutivos e o acúmulo em massa de sedimentos, porém, pode-se inferir que a ocorrência de períodos mais chuvosos tendem a provocar alterações na distribuição granulométrica dos sedimentos inclusive interferindo na ocorrência de partículas mais grosseiras sendo que, conforme os autores, a distribuição de tamanho de partículas da carga total, após as chuvas tende a ser mais grossa (ZAFRA et al., 2008).

Para as campanhas foram determinados os diâmetros característicos de cada uma delas incluindo-se, somente para fins de comparação, a campanha de limpeza do dia 21/06 (TABELA 22).

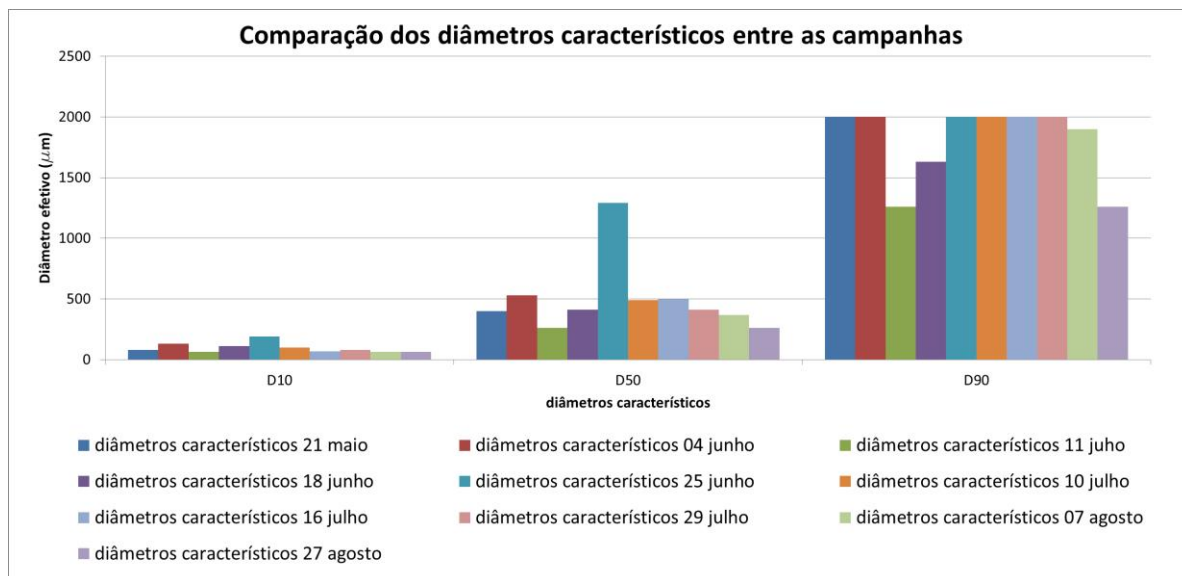
Tabela 22- diâmetros característicos por campanhas.

Campanhas	$d_{10}$ ( $\mu\text{m}$ )	$d_{50}$ ( $\mu\text{m}$ )	$d_{90}$ ( $\mu\text{m}$ )
21/05	80	400 (areia média)	2000
04/06	130	530 (areia média)	2000
11/06	63	260 (areia média)	1260
18/06	110	410 (areia média)	1630
25/06	190	1290 (areia grossa)	2000
10/07	100	490 (areia média)	2000
16/07	70	500 (areia média)	2000
29/07	80	410 (areia média)	2000
07/08	63	370 (areia média)	1900
27/08	100	510 (areia média)	2000

Conforme indicado na Tabela 22, o diâmetro médio característico das amostras compostas das 10 campanhas encontra-se entre as frações de granulometria areia média, constituindo exceção a campanha de 25 de junho na fração de areia grossa. Os resultados de  $d_{50}$  desta pesquisa aproximam-se aos encontrados por outros autores.

Nota-se que mesmo na campanha de limpeza (dia 21/05) havendo um período de deposição de sedimentos desconhecido, o diâmetro médio encontra-se na faixa da areia média o que pode indicar que a distribuição granulométrica média tende a permanecer nessa faixa independentemente da quantidade de dias de acumulação.

A Figura 21 apresenta a comparação entre os diâmetros característicos encontrados nas amostras compostas de cada campanha.



**Figura 21 - Comparação entre os diâmetros característicos calculados para cada campanha.**

Nota-se que a campanha do dia 25 de junho apresentou valores acima da média das outras campanhas. Pode-se atribuir essa alteração nos valores de d50 e d60 a derramamentos acidentais de material granular proveniente das atividades de obras de construção especialmente em Z1 entre as coletas dos dias 18/06 e 25/06.

Quando agrupou-se todas as campanhas para a geração de uma única curva granulométrica média, foi verificado que menos de 4% de sedimentos compõe a fração fina das amostras, (FIGURA 22). Neste caso foi observado que a granulometria maior que  $250\mu\text{m}$  representou mais de 70% da carga de sedimentos sendo estes resultados também semelhantes a Gastaldini e Silva (2012) onde a granulometria  $>250\mu\text{m}$  representa em média 69% da carga de sedimentos nas ruas.

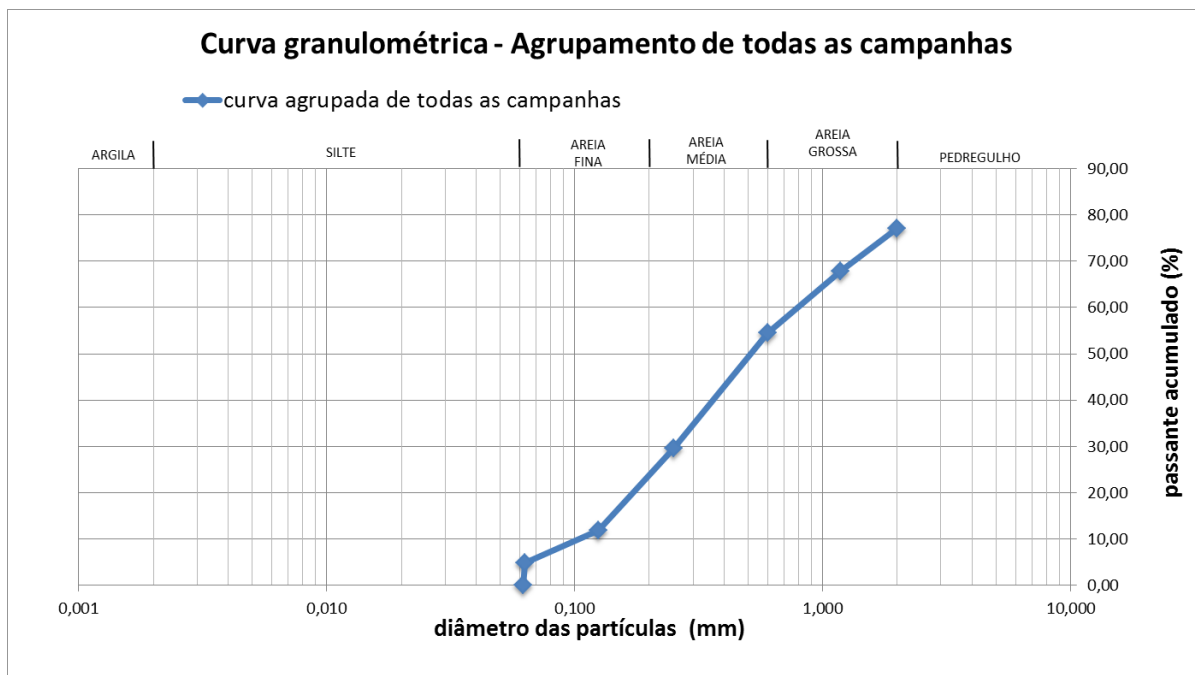


Figura 22 – Curva granulométrica obtida a partir de todas as amostras agrupadas (Bloco1+Bloco2)

### 6.3 – Análises de carga de metais traço presentes nos sedimentos

#### 6.3.1 – Análise por Espectrometria de Fluorescência de Raios-X por Dispersão de Energia (EDXRF)

A partir das análises por EDXRF foi obtida a composição mineralógica dos sedimentos tendo sido possível verificar seus teores em porcentagens de massa em cada amostra. A Tabela 23 apresenta os elementos encontrados e os respectivos teores em cada campanha.

Tabela 23 – Composição de elementos encontrados nas amostras de sedimentos finos obtidos em análise por EDXRF

Campanha 10/07/2013		Campanha 16/07/2013		Campanha 29/07/2013		Campanha 07/08/2013		Campanha 27/08/2013	
elemento	teor (%)	elemento	teor (%)	elemento	teor (%)	elemento	teor (%)	elemento	teor (%)
SiO <sub>2</sub>	32,168	SiO <sub>2</sub>	31,091	SiO <sub>2</sub>	28,263	CaO	31,981	SiO <sub>2</sub>	29,734
CaO	22,823	CaO	28,594	CaO	24,775	SiO <sub>2</sub>	24,236	CaO	22,932
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,227	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,342	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,029	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,463	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,905
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,442	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,080	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,496	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,594	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,063
K <sub>2</sub> O	2,104	K <sub>2</sub> O	1,749	K <sub>2</sub> O	2,109	K <sub>2</sub> O	1,698	K <sub>2</sub> O	2,143
TiO <sub>2</sub>	1,534	TiO <sub>2</sub>	1,149	TiO <sub>2</sub>	1,712	SO <sub>4</sub>	1,222	TiO <sub>2</sub>	1,369
SO <sub>4</sub>	0,898	SO <sub>4</sub>	1,022	SO <sub>4</sub>	0,932	BaO	1,022	SO <sub>4</sub>	1,122
BaO	0,769	BaO	0,519	MgO	0,591	TiO <sub>2</sub>	0,852	BaO	0,767
ZrO <sub>2</sub>	0,615	ZrO <sub>2</sub>	0,503	ZrO <sub>2</sub>	0,496	MgO	0,740	MgO	0,732
MgO	0,613	MgO	0,396	MnO	0,354	MnO	0,302	ZrO <sub>2</sub>	0,420
MnO	0,418	MnO	0,259	BaO	0,316	ZrO <sub>2</sub>	0,210	MnO	0,315
SrO	0,129	SrO	0,158	SrO	0,134	ZnO	0,028	SrO	0,116
NbO	0,048	NbO	0,028	NbO	0,051	NbO	0,025	NbO	0,042
ZnO	0,027	ZnO	0,024	ZnO	0,029	CuO	0,012	ZnO	0,026
CuO	0,015	CuO	0,012	CuO	0,014	NiO	0,010	CuO	0,014
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,013	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,009	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,014	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,008	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,010
NiO	0,012	NiO	0,009	PbO	0,012	Rb <sub>2</sub> O	0,007	PbO	0,010
PbO	0,011	PbO	0,008	Rb <sub>2</sub> O	0,010	PPC	18,590	Rb <sub>2</sub> O	0,010
Rb <sub>2</sub> O	0,009	Rb <sub>2</sub> O	0,007	NiO	0,008			NiO	0,006
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,004	Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,003	Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,005			Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,004
PPC	13,120	PPC	14,040	PPC	14,650			PPC	15,260

Considerando-se que os metais mais comuns encontrados em sedimentos de granulometria fina em ambientes urbanos são o Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn, os óxidos destes metais foram analisados separadamente, tendo sido verificada a variação dos teores em função do tempo durante as campanhas do Bloco 2. Foi verificado que os metais Cd e Cr não foram

detectados pelo método EDXRF nas amostras de sedimentos analisadas, estando presentes os óxidos de Zinco, Cobre, Níquel e Chumbo.

A Figura 23 apresenta as concentrações destes elementos ocorridos durante as campanhas.

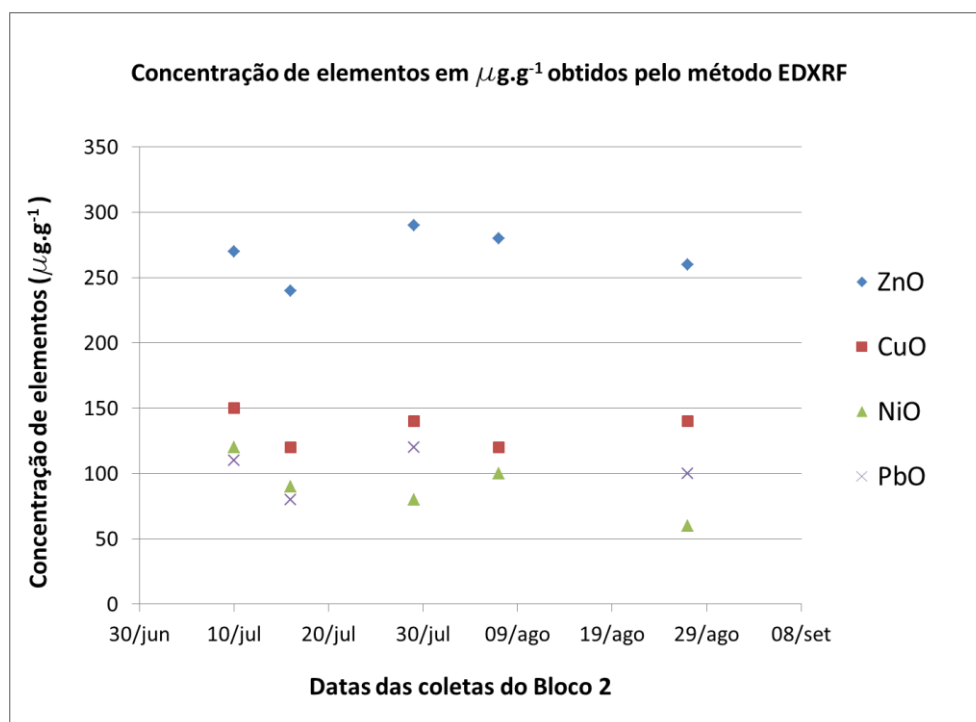


Figura 23 – Concentração de ZnO, CuO, NiO e PbO ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ ) em função do tempo (amostras do Bloco 2)

Pela análise através do método EDXRF constatou-se que dentre os elementos mencionados em todas as amostras o Zn foi o que apresentou maior concentração na forma de ZnO seguido do Cu (CuO). O Ni se apresentou em concentrações maiores do que o Pb nas campanhas dos dias 10/07, 16/07 e 07/08 havendo uma inversão em relação ao Pb nas campanhas dos dias 29/07 e 27/08. Foi verificado que na campanha do dia 07/08 não foi detectada a presença de PbO na amostra. As concentrações obtidas apresentaram variações ao longo do tempo sendo que o NiO apresentou maior desvio padrão relativo entre os elementos analisados (TABELA 24).

Tabela 24 – Concentrações dos elementos detectados pelo método EDXRF.

EDXRF - Concentração de elementos ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )									
Elementos	Camp. 10/jul	Camp. 16/jul	Camp. 29/jul	Camp. 07/ago	Camp. 27/ago	Mediana (conc. $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	Desvio Padrão (conc. $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	Média (conc. $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	Desvio Padrão Relativo (%)
ZnO	270	240	290	280	260	270	19,24	268	7,2
CuO	150	120	140	120	140	140	13,42	134	10,0
NiO	120	90	80	100	60	90	22,36	90	24,8
PbO	110	80	120	...	100	105	17,08	103	16,7

As variações nas concentrações encontradas podem estar relacionadas às variações de períodos secos e chuvosos sendo que alguns metais têm sua dinâmica de dispersão/acumulação diferentemente influenciadas pela ação do escoamento superficial e pela ação dos ventos (DIAMANTINO, 2013).

Foram realizadas análises para verificação da relação entre a ocorrência de eventos de chuva e a alteração na concentração de elementos nos sedimentos amostrados considerando-se os teores verificados na aplicação do método EDXRF. A Figura 24 apresenta esta relação encontrada no período do Bloco 2.

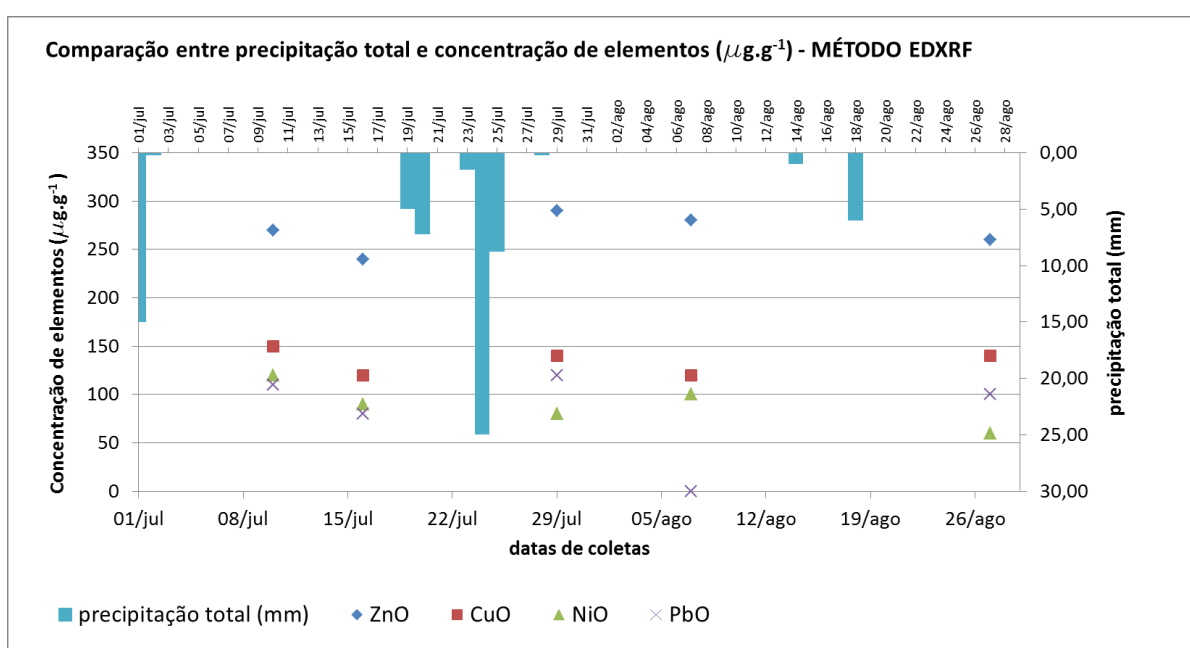


Figura 24 - Concentrações de ZnO, CuO, NiO e PbO ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ ) em função do tempo em relação à chuvas acumuladas (amostras do Bloco 2)

As análises demonstraram que em um período de 8 dias secos (10/07/2014 a 16/07/2014) a concentração dos elementos sofreu um decaimento mantendo, porém, a relação  $ZnO > CuO > NiO > PbO$ . A Tabela 25 apresenta as variações verificadas neste período.

**Tabela 25 – Variação de concentrações entre as campanhas de 10/07 a 16/07**

Elementos	Campanha 10/jul (conc. $\mu g \cdot g^{-1}$ )	Campanha 16/jul (conc. $\mu g \cdot g^{-1}$ )	Decaimento (%)
ZnO	270	240	11,1
CuO	150	120	20,0
NiO	120	90	25,0
PbO	110	80	27,3

No período entre coletas dos dias 16 de julho e 29 de julho ocorreram eventos de chuva com altura acumulada de 47,75mm em 12 dias. Neste período foi constatado um incremento na concentração de ZnO, CuO e PbO e decaimento na concentração de NiO sendo que a relação entre as concentrações dos metais neste período foi de  $ZnO > CuO > PbO > NiO$ . A Tabela 26 apresenta as variações verificadas neste período.

**Tabela 26 - Variação de concentrações entre as campanhas de 16/07 a 29/07**

Elementos	Campanha 16/jul (conc. $\mu g \cdot g^{-1}$ )	Campanha 29/jul (conc. $\mu g \cdot g^{-1}$ )	Decaimento (%)	Incremento (%)
ZnO	240	290	..	20,8
CuO	120	140	..	16,7
NiO	90	80	11,1	..
PbO	80	120	..	50,0

O período entre as coletas dos dias 29 de julho e 07 de agosto foi marcado por dias secos onde foi verificado novamente o decaimento das concentrações dos elementos ocorrendo uma queda brusca na concentração de PbO a níveis não detectáveis pelo método do EDXRF. Neste período a relação entre as concentrações voltou a ser  $ZnO > CuO > NiO > PbO$ . A Tabela 27 apresenta as variações verificadas neste período.

Tabela 27 - Variação de concentrações entre as campanhas de 29/07 a 07/08

Elementos	Campanha 29/jul (conc. $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	Campanha 07/ago (conc. $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	Decaimento (%)	Incremento (%)
ZnO	290	280	3,4	..
CuO	140	120	14,3	..
NiO	80	100	..	25,0
PbO	120	...	100,0	..

No último período analisado, entre as coletas dos dias 07 de agosto e 27 de agosto, a relação entre as concentrações se aproximou da situação encontrada em 29/07 embora tenha ocorrido uma altura acumulada de chuva de apenas 9,5mm. A Tabela 28 apresenta as variações verificadas neste período.

Tabela 28 - Variação de concentrações entre as campanhas de 07/08 a 27/08

Elementos	Campanha 07/ago (conc. $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	Campanha 27/08 (conc. $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	Decaimento (%)	Incremento (%)
ZnO	280	260	7,1	..
CuO	120	140	..	16,7
NiO	100	60	40,0	..
PbO	..	100	..	Não se aplica

Considerando-se o pequeno período de amostragens empregado na análise, pode-se notar que a ocorrência de chuvas tende a provocar um incremento nas concentrações de metais. Esse acréscimo verificado após a ocorrência de chuvas, pode ser explicado como decorrente da lavagem das superfícies urbanas e precipitação de poluentes atmosféricos transportados pelas gotas de chuva. Apesar de ter sido verificada variação nas concentrações dos elementos em função de variações nas condições de chuvas não se pode descartar a ocorrência de interações físico-químicas entre os metais e as demais partículas de outros diâmetros além daquela submetida à análise e, também, à ocorrência de partículas aerossóis às quais alguns destes elementos geralmente se ligam (DIAMANTINO, 2013). A relação entre concentrações neste período foi de  $\text{ZnO} > \text{CuO} > \text{PbO} > \text{NiO}$ .

Analisando-se especificamente o Níquel (NiO), foi verificado que sua concentração foi a que mais variou no período amostrado sendo possível verificar que este elemento apresentou o maior desvio padrão relativo (24,8%) após período de chuva acumulada de 47,75mm o que pode indicar que esse tipo de poluente tenha sido acumulado nas superfícies em função da atividade de tráfego de veículos sendo, posteriormente, transportado pelo escoamento gerado nos eventos de chuvas.

Com o objetivo de caracterizar o aporte potencial de metais traço para o meio ambiente durante cada campanha do Bloco 2, foram calculadas as cargas dos elementos ZnO, CuO, NiO e PbO. Para esta pesquisa definiu-se como sendo Carga do elemento (C) o produto da massa média de sedimentos de fração <math> < 63 \mu\text{m}</math> pela concentração de elementos em massa (<math> \mu\text{g.g}^{-1}</math>). Para o cálculo das cargas foram utilizados os valores de  $M_f$  obtidos no item 6.1.4 na Tabela 17 e os valores de concentração de elemento indicados na Tabela 24 conforme a Equação 9.

$$C = M_f \cdot c \quad \text{eq. 9}$$

Em que:

$C_{\text{metal}}$  = carga de metal por metro quadrado de sarjeta (<math> \mu\text{g.m}^{-2}</math>).

$M_f$  = massa média de sedimentos de fração fina acumulados por campanha do Bloco 2 (<math> \text{g.m}^{-2}</math>).

C = concentração de elemento (<math> \mu\text{g.g}^{-1}</math>).

A Tabela 29 apresenta os valores das cargas de metais calculados.

**Tabela 29- Cálculo da carga de metais nas campanhas do Bloco 2.**

Campanhas	$M_f$ (<math> \text{g.m}^{-2}</math>) (Equação 7)	ZnO (C <math> \mu\text{g.m}^{-2}</math>)	CuO (C <math> \mu\text{g.m}^{-2}</math>)	NiO (C <math> \mu\text{g.m}^{-2}</math>)	PbO (C <math> \mu\text{g.m}^{-2}</math>)
10/07	10,91	2945,7	1636,5	1309,2	1200,1
16/07	8,57	2056,8	1028,4	771,3	685,6
29/07	8,25	2392,5	1155,0	660,0	990,0
07/08	8,14	2279,2	976,8	814,0	...
27/08	9,19	2389,4	1286,6	551,4	919,0
Mediana	-----	2389,4	1155,0	771,3	954,5

Foi verificado que em termos de carga de poluentes a relação entre eles foi  $ZnO < CuO < PbO < NiO$ . Pode-se concluir que em cada metro quadrado de sarjeta da área de estudos,  $954,5 \mu g$  de  $PbO$  foram acumulados, tornando-se potencialmente disponíveis aos processos de transporte para o curso d'água à jusante.

A Tabela 30 indica as massas totais dos elementos que, em valores médios, estiveram disponíveis como poluentes nas superfícies das sarjetas durante o período de amostragem do Bloco 2.

**Tabela 30 – Massa de elementos acumulados sobre as sarjetas**

Elementos	Mediana ( $\mu g.m^{-2}$ )	Área total de sarjetas nas Zonas de amostragem $S_i$ ( $m^2$ )	massa total acumulada nas sarjetas (g)
<b>ZnO</b>	2389,4	3394,8	8,11
<b>CuO</b>	1155,0	3394,8	3,92
<b>NiO</b>	771,3	3394,8	2,62
<b>PbO</b>	954,5	3394,8	3,20

Dos valores de mediana encontrados ressalta-se a carga de  $PbO$  que potencialmente atingirá o curso d'água à jusante. Uma vez que a extensão total das sarjetas das zonas estudadas tem uma área de  $3394,77 m^2$ , pode-se admitir uma carga total de  $PbO$  acumulada sobre as sarjetas de  $3,20g$  de  $PbO$ . Considerando-se que a OMS admite que o chumbo é reconhecido como um dos elementos químicos mais perigosos à saúde humana (VANZ *et al.*, 2003) e que não há valores mínimos seguros para a saúde, sendo este metal de elevada toxicidade mesmo em níveis traço (WHO, 2013), a presença desse metal nas sarjetas na quantidade calculada implica em um nível elevado de poluição ambiental podendo atingir diferentes compartimentos do meio ambiente.

### 6.3.2 – Análise por Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES)

Os sedimentos de diâmetro menor ou igual a  $63\mu\text{m}$  das amostras compostas do Bloco 2 foram submetidos à análise por ICP-OES. Foram obtidas os teores em porcentagem de massa dos metais Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, As, Pb e Sn.

A Tabela 31 apresenta os metais encontrados e os respectivos teores.

Tabela 31 - Composição (%) de metais encontrados nas amostras de sedimentos finos obtidos em análise por ICP

Elemento	Campanha 10/07/2013 teor (%)	Campanha 16/07/2013 teor (%)	Campanha 29/07/2013 teor (%)	Campanha 07/08/2013 teor (%)	Campanha 27/08/2013 teor (%)
Cr	1,09	0,77	0,66	0,57	0,74
Ni	2,62	1,03	1,07	1,22	0,74
Cu	0,76	0,43	0,50	0,41	0,64
Zn	2,95	2,06	2,48	2,20	2,30
Cd	0,20	0,11	0,14	0,11	0,14
As	3,38	2,23	2,72	2,28	2,76
Pb	5,35	3,26	3,71	3,09	3,68
Sn	1,09	0,69	0,83	0,65	0,83

A Figura 25 apresenta as concentrações dos metais identificados durante as campanhas em  $\mu\text{g.g}^{-1}$ .

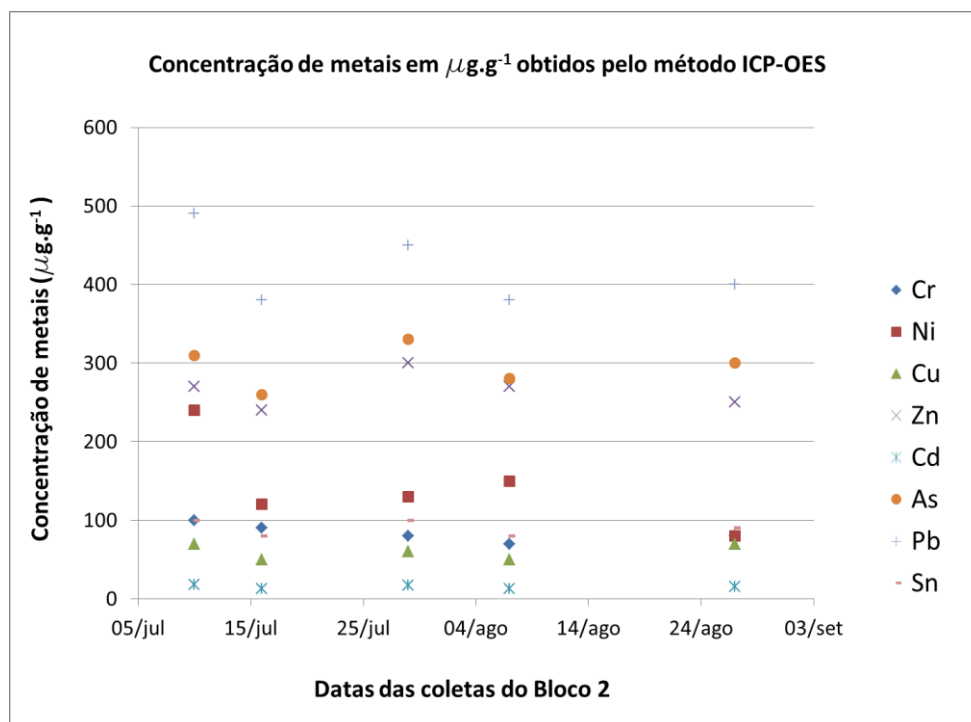


Figura 25 - Concentrações de metais ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ ) em função do tempo – ICP-OES (amostras do Bloco 2)

Através da análise de metais totais por ICP-OES, constatou-se que em todas as amostras o Pb foi o metal que apresentou maior concentração. A menor concentração detectada foi do Cd em todas as campanhas. O Ni foi o metal com maior desvio padrão relativo

Tabela 32 - Concentrações dos elementos detectados pelo método ICP-OES

ICP-OES - Concentração de poluentes em $\mu\text{g.g}^{-1}$									
Elementos	Camp. 10/jul	Camp. 16/jul	Camp. 29/jul	Camp. 07/ago	Camp. 27/ago	Mediana (conc. $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	Desvio Padrão (conc. $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	Média (conc. $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	Desvio Padrão Relativo (%)
Cr	100	90	80	70	80	80	11,40	84	13,6
Ni	240	120	130	150	80	130	59,41	144	41,3
Cu	70	50	60	50	70	60	10,00	60	16,7
Zn	270	240	300	270	250	270	23,02	266	8,7
Cd	18	13	17	13	15	15	2,28	15	15,0
As	310	260	330	280	300	300	27,02	296	9,1
Pb	490	380	450	380	400	400	48,48	420	11,5
Sn	100	80	100	80	90	90	10,00	90	11,1

Os resultados obtidos possibilitaram constatar a presença de potenciais poluentes nos sedimentos urbanos, os quais serão carregados para os cursos d'água à jusante permanecendo acumulados nesse meio até que mecanismos físico-químicos interajam para sua disponibilização no ambiente aquático. A partir da análise por método mais preciso ICP-OES, a verificação da ocorrência de Pb com a maior concentração ressalta a importância desse metal como poluente ambiental em áreas urbanas dadas suas características de toxicidade em diversos compartimentos ambientais.

Foram realizadas análises para verificação da relação entre a ocorrência de eventos de chuva e a alteração na concentração de metais nos sedimentos amostrados. A Figura 26 apresenta esta relação.

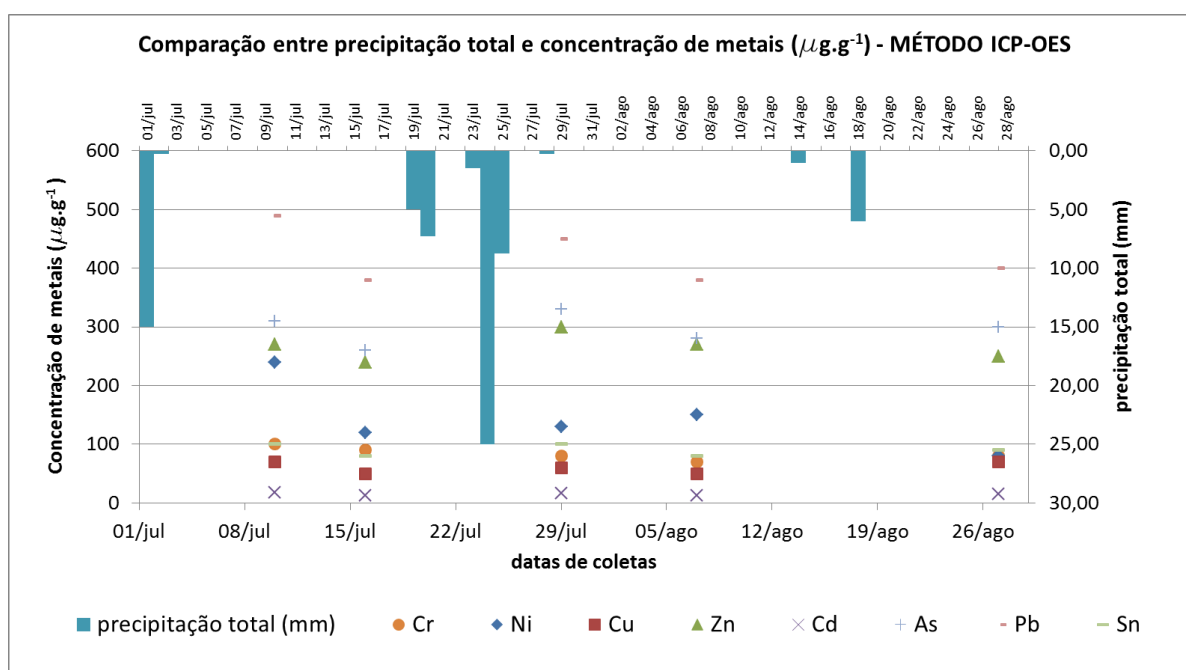


Figura 26 – Comparação entre as concentrações de metais obtidas por ICP ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ ) em função do tempo em relação à chuvas acumuladas (amostras do Bloco 2)

As análises demonstraram que em um período de 8 dias secos (10/07/2014 a 16/07/2014), a concentração dos elementos sofreu um decaimento, mas mantendo a relação  $\text{Pb} > \text{As} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Cr} \approx \text{Sn} > \text{Cu} > \text{Cd}$ .

A Tabela 33 apresenta as variações nas concentrações verificadas no período.

Tabela 33 - Variação de concentrações entre as campanhas de 10/07 a 16/07

Elementos	Campanha 10/jul (conc. $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	Campanha 16/jul (conc. $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	Decaimento (%)	Incremento (%)
Cr	100	90	10,0	..
Ni	240	120	50,0	..
Cu	70	50	28,6	..
Zn	270	240	11,1	..
Cd	18	13	27,8	..
As	310	260	16,1	..
Pb	490	380	22,4	..
Sn	100	80	20,0	..

No período entre coletas dos dias 16 de julho e 29 de julho ocorreram eventos de chuva com altura acumulada de 47,75mm em 12 dias. Neste período foi constatado um incremento na concentração de Pb, As e Zn em relação à última amostragem, sendo que os demais metais apresentaram concentrações com pequena variabilidade. A relação entre as concentrações dos metais neste período foi a mesma do período anterior, havendo pequena variação entre as concentrações de Sn e Cr.

A Tabela 34 apresenta as variações nas concentrações verificadas no período.

Tabela 34 - Variação de concentrações entre as campanhas de 16/07 a 29/07

Elementos	Campanha 16/jul (conc. $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	Campanha 29/jul (conc. $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	Decaimento (%)	Incremento (%)
Cr	90	80	11,1	..
Ni	120	130	..	8,3
Cu	50	60	..	20,0
Zn	240	300	..	25,0
Cd	13	17	..	30,8
As	260	330	..	26,9
Pb	380	450	..	18,4
Sn	80	100	..	25,0

O período entre as coletas dos dias 29 de julho e 07 de agosto foi marcado por um período seco onde foi verificado novamente o decaimento das concentrações dos elementos, excluindo-se uma elevação de Ni, sendo a relação entre os elementos assim descrita  $Pb > As \approx Zn > Ni > Sn \approx Cr > Cu > Cd$ . A Tabela 35 apresenta as variações nas concentrações verificadas no período.

**Tabela 35 - Variação de concentrações entre as campanhas de 29/07 a 07/08**

Elementos	Campanha 29/jul (conc. $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	Campanha 07/08 (conc. $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	Decaimento (%)	Incremento (%)
Cr	80	70	12,5	..
Ni	130	150	..	15,4
Cu	60	50	16,7	..
Zn	300	270	10,0	..
Cd	17	13	23,5	..
As	330	280	15,2	..
Pb	450	380	15,6	..
Sn	100	80	20,0	..

No último período analisado, entre as coletas dos dias 07 de agosto e 27 de agosto ocorreu uma altura acumulada de chuva de 9,5mm, havendo variações pequenas nas concentrações de Pb, As e Zn em relação a última coleta tendo sido mais significativa a variação na concentração de Ni sendo identificado seu decréscimo. A relação entre os elementos ficou descrita como  $Pb > As > Zn > Ni \approx Sn \approx Cu \approx Cr > Cd$ . Tabela 36 as variações nas concentrações verificadas no período.

Tabela 36 - Variação de concentrações entre as campanhas de 07/08 a 27/08.

Elementos	Campanha 07/jul (conc. $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	Campanha 27/08 (conc. $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	Decaimento (%)	Incremento (%)
Cr	70	80	..	14,3
Ni	150	80	46,7	..
Cu	50	70	..	40,0
Zn	270	250	7,4	..
Cd	13	15	..	15,4
As	280	300	..	7,1
Pb	380	400	..	5,3
Sn	80	90	..	12,5

De modo geral, foi detectado que as concentrações de Pb, As e Zn apesar de sofrerem variações nas concentrações apresentaram relações semelhantes entre si em todas as campanhas, sendo estas as concentrações mais significativas. As concentrações de Pb e Zn tendem a confirmar Diamantino (2013) com relação ao transporte desses metais pela ação do escoamento. O Pb apresentou maior desvio padrão, seguido do Ni, sendo que os metais Cr, Sn e Cu apresentaram concentrações muito próximas. O Cd apresentou as menores concentrações, sendo, também, muito constante no período amostrado.

Assim como na análise pelo método EDXRF, os resultados das concentrações relacionados com os dias secos e chuvosos entre as campanhas indicaram uma tendência de que entre eventos de maior altura acumulada e maior duração ocorreu um acréscimo na concentração de poluentes nos sedimentos da área de estudos. Porém, não se pode desconsiderar interações físico-químicas entre os metais e as demais frações de sedimentos na alteração das concentrações de poluentes no decorrer do tempo amostrado.

Com o objetivo de caracterizar o aporte potencial de metais traço para o meio ambiente, foram estudadas as cargas dos elementos dadas em microgramas por metro quadrado de sarjeta.

Para o cálculo das cargas foram utilizados os valores de  $M_{fc}$  obtidos no item 6.1.4 na Tabela 17 e os valores de concentração de elemento indicados na Tabela 32, conforme a Equação 9.

A Tabela 37 apresenta os valores das cargas de metais calculados.

Tabela 37- Cálculo da carga de poluentes nas campanhas do Bloco 2.

Campanhas	$M_f$ (g/m <sup>2</sup> ) (Equação 7)	Cr (C $\mu$ g/m <sup>3</sup> )	Ni (C $\mu$ g/m <sup>3</sup> )	Cu (C $\mu$ g/m <sup>3</sup> )	Zn (C $\mu$ g/m <sup>3</sup> )	Cd (C $\mu$ g/m <sup>3</sup> )	As (C $\mu$ g/m <sup>3</sup> )	Pb (C $\mu$ g/m <sup>3</sup> )	Sn (C $\mu$ g/m <sup>3</sup> )
10/07	10,91	1091,0	2618,4	763,7	2945,7	196,4	3382,1	5345,9	1091,0
16/07	8,57	771,3	1028,4	428,5	2056,8	111,4	2228,2	3256,6	685,6
29/07	8,25	660,0	1072,5	495,0	2475,0	140,3	2722,5	3712,5	825,0
07/08	8,14	569,8	1221,0	407,0	2197,8	105,8	2279,2	3093,2	651,2
27/08	9,19	735,2	735,2	643,3	2297,5	137,9	2757,0	3676,0	827,1
Mediana	-----	735,2	1072,5	495,0	2297,5	137,9	2722,5	3676,0	825,0

Obs.:  $M_f$  = massa média de sedimentos de fração fina acumulados por campanha do Bloco 2

Foi verificado que em termos de carga de poluentes (mediana), a relação entre os elementos foi  $Pb > As > Zn > Ni > Sn > Cr > Cu > Cd$ . Pelo método do ICP-OES, sendo ele mais preciso para detecção dos metais totais existentes nas amostras, pode-se verificar que, medianamente, em cada metro quadrado de sarjeta da área de estudos 3676,0  $\mu$ g de Pb foram acumulados, tornando-se potencialmente disponíveis aos processos de transporte para o curso d'água à jusante.

A Tabela 38 indica as cargas totais dos metais que, em valores medianos, estiveram disponíveis como poluentes nas superfícies das sarjetas durante o período de amostragem do Bloco 2.

Tabela 38 - Massa de elementos acumulados sobre as sarjetas

Elementos	Mediana ( $\mu\text{g}/\text{m}^2$ )	Área total de sarjetas nas Zonas de amostragem $S_i$ ( $\text{m}^2$ )	Massa total acumulada nas sarjetas (g)
Cr	735,2	3394,8	2,50
Ni	1072,5	3394,8	3,64
Cu	495,0	3394,8	1,68
Zn	2297,5	3394,8	7,80
Cd	137,9	3394,8	0,47
As	2722,5	3394,8	9,24
Pb	3676,0	3394,8	12,48
Sn	825,0	3394,8	2,50

Dos valores de mediana encontrados ressalta-se a carga de Pb que potencialmente atingirá o curso d'água. Uma vez que a extensão total das sarjetas das zonas estudadas tem uma área de 3394,77  $\text{m}^2$ , pode-se estimar uma carga total de Pb acumulada sobre as sarjetas de 12,48g de Pb.

## 7 CONCLUSÕES

Através do estudo da acumulação dos sedimentos por zonas de amostragem foi possível confirmar a característica complexa do fenômeno de acumulação a partir das variações de massa coletada em cada seção no decorrer das campanhas, sendo possível concluir que as variáveis “tipologia de ocupação” (cobertura vegetal, lotes impermeáveis e atividade de construção) e “declividade das vias” (topografia das áreas estudadas e geometria do leito carroçável) influenciam no comportamento do fenômeno de deposição. Outras variáveis tais como níveis de tráfego, periodicidade de chuvas, fase construtiva do loteamento, características dos ventos e usos e também foram indicadas como influentes no processo.

Concluiu-se que tanto a as frações totais de sedimentos como para a fração fina, as zonas que demonstraram menor acúmulo de sedimentos estão relacionadas às maiores taxas de áreas sem ocupação, permeáveis e com vegetação significativa, especialmente vegetação nativa, pois estas características em conjunto servem para dificultar principalmente o acúmulo de sedimentos finos podendo constituir-se em elemento de controle na acumulação desses sedimentos sobre as superfícies impermeáveis. Conseqüentemente, conclui-se que as características de uso e ocupação relativas à manutenção de áreas verdes ou, no mínimo, vegetadas, são uma boa medida para o controle de sedimentos, mais especificamente os sedimentos com diâmetro  $\leq 63\mu\text{m}$  e, conseqüentemente, os poluentes que estiverem adsorvidos à essas partículas.

Foi possível calcular as massas médias de sedimentos acumulados por Zonas e por Campanhas, tanto para todos os diâmetros quanto para o diâmetro específico menor ou igual a  $63\mu\text{m}$  estimando a quantidade de sedimentos acumulada sobre a área estudada.

Não foram verificadas claras relações entre o comportamento granulométrico dos sedimentos e o tipo de ocupação dos lotes ou a declividade, o que pode indicar que as variáveis: (i) tipo de ocupação geral da

área estudada, (ii) o nível de tráfego, (iii) velocidade dos veículos, (iv) características dos ventos e (v) fase construtiva das construções; irão influenciar a granulometria das amostras, confirmando a característica de deposição de sedimentos como um fenômeno randômico e cuja complexidade se manifesta na distribuição de sedimentos entre as áreas estudadas. Foi possível perceber uma tendência de que os sedimentos Não Aderidos são os que mais sofrem influência das variáveis mencionadas em virtude da maior variação constatada entre as curvas desses sedimentos. Também foi constatado que, embora a acumulação de sedimentos seja um fenômeno complexo é possível estabelecer uma faixa granulométrica característica das áreas urbanizadas (areia média), o que se confirma em comparações os com outros estudos mencionados. Essa constatação é importante, pois pode orientar formas de contenção, controle e tratamento destes sedimentos.

O emprego de dois métodos distintos de análise de metais em sedimentos (EDXRF e ICP-OES) permitiu caracterizar a presença dos principais metais traço presentes em ambientes urbanos (Cr, Cd, Pb, Zn, Ni e Cu) além de traços de As e Sn.

A partir da análise por ICP-OES, verificou-se a ocorrência de Pb como sendo o metal pesado com maior concentração sobre as sarjetas, podendo ser calculada uma carga de Pb de  $3676 \mu\text{g}/\text{m}^2$  e uma massa acumulada de chumbo de 12,48g em toda a área de estudo. Esse resultado ressalta a relevância desse metal como poluente ambiental em áreas urbanas dadas suas características de toxicidade em diversos compartimentos ambientais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT

AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; COSTA, L.M.; DIAS, L.E. & BARROS, N.F. Aplicação de resíduo siderúrgico em um Latossolo: efeitos na correção do solo e na disponibilidade de nutrientes e metais traço. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 17:299-304, 1993.

ARAÚJO, G.H. de S; ALMEIDA, J.R. de; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. 320 p.

BICALHO, Cristina Caetano. **Estudo do transporte de sedimentos em suspensão na bacia do rio descoberto**. 2006. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

BAPTISTA, Márcio; NASCIMENTO, Nilo; BARRAUD, Sylvie. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005. 266 p.

BATISTA NETO, J.A., SMITH, B.J., MCALLISTER, J.J., 2000, "Heavy Metal Concentrations in Surface Sediments in a Nearshore Environment, Jurujuba Sound, Southeast Brazil", **Environ. Pollution**. v. 109, 1.

BORTOLUZZI, E.C.; POLETO, C. Metodologias para estudos de sedimentos: ênfase na proporção e a natureza mineralógica das partículas. In: POLETO, C; MERTEN, G. (Org) **Qualidade dos Sedimentos**. Porto Alegre: Ed. ABRH, p. 83 – 140, 2006.

CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. **A review of the contaminants and toxicity associated with particles in stormwater runoff**. Sacramento: Caltrans, 2003. 172 p.

CARVALHO, N.O. et al.. **Guia de práticas sedimentométricas**. Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de estudos e informações Hidrológicas, 154 p. 2000.

CHARLESWORTH, S.M.; LEES, J.A. Particulate-associated heavy metals in the urban environment: their transport from the source to deposit, Coventry, UK. **Chemosphere**, v. 39, n.5, p. 833 – 848, 1999.

CHARLESWORTH, S. et al.. A comparative study of heavy metal concentration and distribution in deposited street dusts in a large and a small urban area: Birmingham and Coventry, West Midlands, UK. **Environmental International**. Londres, p. 563-573. jan. 2003.

DIAMANTINO, Catarina; LEITÃO, Teresa E.; SILVA, Manuel Oliveira da. **Estudo da poluição causada pelo tráfego rodoviário nos solos e nas**

**águas subterrâneas, realizado na EN10 – Recta do Cabo.** Disponível em: <[www.aprh.pt/congressoagua2004/PDF/R\\_76.PDF](http://www.aprh.pt/congressoagua2004/PDF/R_76.PDF)>. Acesso em: 27 set. 2013.

DOTTO, Cintia Brum Siqueira. **Avaliação e Balanço de Sedimentos em Superfícies Asfálticas em Área Urbana de Santa Maria – RS.** 2006. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Avaliação e Balanço de Sedimentos em Superfícies Asfálticas em Área Urbana de Santa Maria – RS, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

DUZGOREN-AYDIN, N.S.; WONG, C.S.; AYDIN, A.; SONG, Z.; YOU, M.; LI, X.D. Heavy metal contamination and distribution in the urban environment of Guangzhou, SE China. **Environmental Geochemistry and Health**, n. 38, p. 375 – 391, 2006.

GASTALDINI, Maria do Carmo Cauduro; SILVA, Ana Roberta Victoria. Estudo da Distribuição de Poluentes em Superfícies Urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 17, n. 4, p.97-107, 2012.

GOMES, Ana Paula. **Acumulação e transporte de sedimentos na microdrenagem: Monitoramento e Modelagem.** 2008. 146 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

HOROWITZ, A.J.; ELRICK, K.A.; SMITH, J.J. Estimating suspended sediment and trace element fluxes in large river basins: Methodological considerations as applied to the NASQAN programme. **Hydrological Processes**, v. 15, p. 1107 – 1132, 2001.

HVITVED-JACOBSEN, T. & YOUSEF, Y. A. (1991) Highway runoff quality, environmental impacts and control. In: Hamilton, R.S. & Harrison, R.M. (eds.) **Highway Pollution**. Studies in Environmental Science 44. Elsevier. Amsterdam. pp 165-208.

HVITVED-JACOBSEN, Thorkild; VOLLERTSEN, Jes; NIELSEN, Asbjørn Haaning. **Urban and Highway Stormwater Pollution**. Boca Raton: Crc Press, 2010. 347 p.

JARTUN M.; OTTESENA, R.; STEINNESB, E.; VOLDENA, T. Runoff of particle bound pollutants from urban impervious surfaces studied by analysis of sediments from stormwater traps. **Science of the Total Environment**, n. 396, p. 147 – 163, 2008.

LINDGREN, Asa. **Asphalt wear and pollution transport**. Science Of The Total Environment. Copenhagen, p. 281-286. out. 1995.

MARLLUS, G.F.P. das neves; TUCCI, Carlos E.M. Resíduos Sólidos na Drenagem Urbana: Estudo de Caso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p.43-53, 2008.

MARTÍNEZ, Leidy Luz García. **Distribuição de poluição difusa por sedimentos urbanos em áreas impermeáveis em Porto Alegre**. 2010. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

MERTEN, Gustavo; POLETO, Cristiano. **Qualidade dos Sedimentos**. Porto Alegre: ABRH, 2006. 397 p.

MOHIUDDIN, K.C. et al.. Heavy metals contamination in the water and sediments of an urban river in a developing country. **Journal Of Environment Scien.tech.**, v. 4, n. 8, p.723-736, 2011.

MUDROCH, A.; AZCUE, J.M. **Manual of aquatic sediment sampling**. Florida, EUA: CRC press, 1995. 219 p.

MUSCHACK, W. Pollution of street runoff by traffic and local conditions. **The Science of the Total Environment**, 93, 419-431. 1990.

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

NASCIMENTO FILHO, Virgílio F. **Técnicas analíticas nucleares de fluorescência de raios x por dispersão de energia (ED-XRF) e por reflexão total (TXRF)**. Piracicaba: Esalq, 1999. 32 p.

NOVOTNY, V. **Nonpoint Pollution - An International Problem**. Proc. Symp. Surface and Groundwater Quality, Cleveland, OH, AWRA, Bethesda, MD, February 24-28, 1991.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Programa Internacional de Segurança Química Substâncias químicas perigosas à saúde e ao ambiente**. tradução Janaína Conrado Lyra da Fonseca, Mary Rosa Rodrigues de Marchi, Jassyara Conrado Lyra da Fonseca. -- São Paulo: Cultura Acadêmica, 2008.

PAZ, Marcio Ferreira. **Estudo comparativo da carga de lavagem em bacias urbana e rural**. 2004. 178 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

PITT, R. **Demonstration of Nonpoint Pollution Abatement Through Improved Street Cleaning Practices**. EPA-600/12-79-161. U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati, OH. August. 1979

PITT, Robert et al. (Ed.). Sources of Pollutants in Urban Areas (Part 2) – Recent Sheetflow Monitoring. In: **Effective Modeling of Urban Water Systems**. 13. ed.: Chi., Cap. 24. p. 485-506. 2004.

PITT, R., WILLIAMSON, D., BANNERMAN, R. Sources of pollutants in urban areas. In **Stormwater and Urban Water Systems Modeling Conference**. Computational Hydraulics, Inc. Toronto. February 19-29, 2004.

PERNAGORDA, Paulo Jorge Ramísio. **Retenção de Metais traço de Escorrências Rodoviárias por Filtração Reactiva**. 2007. 408 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Braga, 2007.

POLETO, Cristiano; MERTEN, Gustavo H. (Org.). **Qualidade dos Sedimentos**. Porto Alegre: Abrh, 2006. 383 p.

POLETO, Cristiano. **Fontes potenciais e qualidade dos sedimentos fluviais em suspensão em ambiente urbano**. 2007. 137 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa Pós Graduação em Recursos Hídricos e Gestão Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

POLETO, C.; CASTILHO, Z.C. Impacto por poluição difusa de sedimentos em bacias urbanas. In: POLETO, C. (Org.) **Ambiente e Sedimentos**. Porto Alegre: Ed. ABRH, p. 193 – 227, 2008a.

POLETO, Cristiano; MERTEN, Gustavo Henrique. Estudos de Zn e Ni em Sedimentos Fluviais em Suspensão e o Risco Potencial aos Recursos Hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 13, n. 3, p.147-154, 2008b.

POLETO, Cristiano; CARDOSO, Alice Rodrigues. Concentrações de Zinco e Níquel em Sedimentos Urbanos de Trinta Municípios do Rio Grande do Sul: Riscos aos Recursos Hídricos Estaduais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 17, n. 3, p.93-100, 2012.

PORTO, M.F.A. Aspectos Qualitativos do Escoamento Superficial em Áreas Urbanas. In: BRAGA, B.; TUCCI,C.E.M.; TOZZI,M. **Drenagem Urbana: Gerenciamento, simulação, controle**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ABRH, 1998, p.387-428.

PRODANOFF, Jorge Henrique. **Avaliação da Poluição Difusa Gerada por Enxurradas em Meio Urbano**. 2005. 266 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós Graduação em Engenharia, Departamento de Coppe/RJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

SANTOS, Alexandre Augusto Moreira et al. (Org.). SISTEMA DE PREVENÇÃO DE CHEIAS DO MUNICÍPIO DE POÇOS DE CALDAS: Plano Diretor de Drenagem Urbana: Proposta. Itajubá. Cerne, 2008. 237 p.

SANSALONE, J. J. et al.. Fractionation of heavy metals in pavement runoff. **The Science of the Total Environment**, 189/190: 371-378. 1996.

SARTOR, J.D., G.B., BOYD. **Water Pollution Aspects of Street Surface Contaminants**. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, EPA-R1-72-081. NTIS No. PB 214 408, November. 1972.

SILVA, Ana Roberta Victoria. **Estudo da distribuição de poluentes em superfícies urbanas**. 2009. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

SUTHERLAND, R. Lead in grain size fractions of road-deposited sediment. **Environmental Pollution**, n. 121, p. 229 – 237, 2003.

TAYLOR, K. Urban Environments. In: TAYLOR, K.; PERRY, C. **Environmental Sedimentology**. Manchester: Blackwell, p. 191–222, 2007.

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.. **Gestão das Inundações Urbanas**. Porto Alegre. Associação Mundial Del Água/UNESCO, 2005. 200 p.

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.

VIEIRA, Paulo de Castro. **Avaliação das condições de qualidade da água em tempo seco e durante eventos de chuvas em uma microbacia urbanizada no Município de Belo Horizonte**. 2008. 213 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2a ed., Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 243 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 1). 1996.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Preventing disease through healthy environments: Exposure to lead: A major public health concern**. Disponível em: <<http://www.who.int/ipcs/features/lead..pdf?ua=1>>. Acesso em: 04 maio 2013.

YETIMOGLU, Ece K.; ERCAN, Özgen. Multivariate Analysis of Metal Contamination in Street Dusts of Istanbul D-100 Highway. **Journal Brazilian Chemical Society**. Brazil, v. 7, n. 19, p.1399-1404, 2008

ZAFRA, C. A. et al.. Particle size distribution of accumulated sediments on an urban road in rainy weather. **Environmental Technology**, U.K., v. 29, n. 5, p.571-582, maio 2008.

ZAFRA, Carlos Alfonso; GONZÁLEZ, Javier Temprano; MONZÓN, Iñaki Tejero. Evaluación de la contaminación por escorrentía urbana: sedimentos depositados sobre la superficie de una vía. **Revista Ingeniería e Investigación**, Bogotá, v. 29, n. 1, p.101-108, abr. 2009.