



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
IFG CAMPUS GOIÂNIA
MESTRADO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS SUSTENTÁVEIS**

Ricardo de Alcântara Ferreira

**ANÁLISE DA PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO SEDIMENTO
DEPOSITADO EM VIAS PAVIMENTADAS NA REGIÃO DA BACIA DO
CÓRREGO BOTAFOGO, NO MUNICÍPIO DE GOIÂNIA/GO, CONSIDERANDO OS
DIFERENTES PARÂMETROS DOS PONTOS DE COLETAS E A SAZONALIDADE
DO CLIMA**

Goiânia, 2018

**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
IFG CAMPUS GOIÂNIA
MESTRADO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS SUSTENTÁVEIS**

Ricardo de Alcântara Ferreira

**ANÁLISE DA PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO SEDIMENTO
DEPOSITADO EM VIAS PAVIMENTADAS NA REGIÃO DA BACIA DO
CÓRREGO BOTAFOGO, NO MUNICÍPIO DE GOIÂNIA/GO, CONSIDERANDO OS
DIFERENTES PARÂMETROS DOS PONTOS DE COLETAS E A SAZONALIDADE
DO CLIMA**

Programa de Pós-Graduação stricto sensu em
Tecnologia de Processos Sustentáveis do IFG (PPGTPS-
IFG) - Dissertação de Mestrado Profissional. Área de
Concentração: Tecnologia de Sistemas de Produção
Limpa. Linha de Pesquisa: Fontes Alternativas de Água.

Orientadora: Prof. Dr^a. Jussanã Milograna

Goiânia, 2018

F4133a Ferreira, Ricardo de Alcântara.

Análise da produção e caracterização do sedimento depositado em vias pavimentadas na região da Bacia do Córrego Botafogo, no município de Goiânia/GO, considerando os diferentes parâmetros dos pontos de coletas e a sazonalidade do clima / Ricardo de Alcântara Ferreira. – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2018.

122 f.: il.

Orientadora: Profª. Drª. Jussanã Milograna.

Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis, Coordenação do Programa de Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Inclui apêndices e anexo.

1. Sedimentos. 2. Zoneamento urbano. 3. Córrego Botafogo – Goiânia – GO. I. Milograna, Jussanã (orientadora). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. III. Título.

CDD 551.353

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Karol Almeida da Silva Abreu CRB1/ 2.740
Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.

**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
IFG CAMPUS GOIÂNIA
MESTRADO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS SUSTENTÁVEIS**

Ricardo de Alcântara Ferreira

**ANÁLISE DA PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO SEDIMENTO
DEPOSITADO EM VIAS PAVIMENTADAS NA REGIÃO DA BACIA DO
CÓRREGO BOTAFOGO, NO MUNICÍPIO DE GOIÂNIA/GO, CONSIDERANDO OS
DIFERENTES PARÂMETROS DOS PONTOS DE COLETAS E A SAZONALIDADE
DO CLIMA**

Programa de Pós-Graduação stricto sensu em
Tecnologia de Processos Sustentáveis do IFG (PPGTPS-
IFG) - Dissertação de Mestrado Profissional. Área de
Concentração: Tecnologia de Sistemas de Produção
Limpa. Linha de Pesquisa: Fontes Alternativas de Água.

Presidente: Prof.^a. Dr.^a. Jussanã Milograna, IFG - Campus Goiânia

Avaliador 1: Prof. Dr. João Carlos de Oliveira, IFG – Campus Goiânia

Avaliador 2: Prof. Dr. Klebber Teodomiro Martins Formiga, UFG - EEC

Avaliador 3: Prof.^a. Dr.^a. Rosana Gonçalves Barros, IFG – Campus Goiânia

Suplente: Prof.^a. Dr.^a. Patrícia Layne Alves Traldi, IFG – Campus Goiânia

Aprovado em: 07 / 06 / 2018

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás pela oportunidade e satisfação de fazer parte deste programa de mestrado profissional, colocando à minha disposição toda a estrutura desta instituição.

Aos professores, mestres e doutores que se dedicaram e compartilharam o conhecimento, que é a base do desenvolvimento.

Aos coordenadores que se dispuseram a entregar grande parte de seu tempo para que todo o programa fosse cumprido e nos oferecer todo apoio técnico e administrativo necessário.

Em especial à minha orientadora, professora Dra. Jussanã Milograna, que durante toda a pesquisa apresentou alternativas com foco na obtenção dos resultados.

Aos amigos Sandro Borges Vale, técnico do laboratório de solos do IFG, campus Goiânia, Josiene Barcelo da Silva, mestranda neste programa de “Tecnologia de Processos Sustentáveis” e a Débora Pereira da Silva, aluna do curso de Engenharia Civil do IFG, que se dedicaram na preparação das amostras e na realização das análises granulométricas dos sedimentos coletados.

Ao meu amigo Edgar Marcos Ancioto Junior, graduado em Engenharia da Computação, que contribuiu na apresentação dos dados estatísticos.

Ao laboratório Aqualit pela precisão, pontualidade e profissionalismo na apresentação dos resultados das análises dos metais presentes nas amostras dos sedimentos coletados, pela disponibilidade de acesso às suas instalações e por entender a importância da iniciativa privada no fomento à pesquisa.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás – FAPEG, pela disponibilização de recursos financeiros para aquisição de equipamentos e execução das análises laboratoriais.

A minha família que sempre apoiou minha decisão de conquistar nova graduação. Minha esposa e filhos que muitas vezes participaram até mesmo dos processos de coleta de campo, incentivo fundamental, quando neste momento da pesquisa, o mestrando segue sozinho durante dias e noites em busca dos resultados e da elaboração do texto final.

Por fim, agradeço a Deus por me proporcionar condições físicas, emocionais e materiais para o desenvolvimento deste estudo, que exige muitas vezes a utilização de recursos próprios na logística para obtenção dos dados e resultados, em função das dificuldades de captação dos recursos financeiros e da limitação dos mesmos para se realizar pesquisas neste país.

RESUMO

Este estudo visou quantificar e caracterizar os sedimentos coletados nas sarjetas de seis ruas pavimentadas, localizadas na região da Bacia do Córrego Botafogo, no município de Goiânia, GO. Para quantificação dos sedimentos foram realizadas onze campanhas de coletas, entre os meses de setembro de 2015 a junho de 2016, seguindo o método de varrição e aspiração mecânica descrito por Vaze e Chiew (2002). As estimativas de geração dos sedimentos em cada rua foram obtidas por análises estatísticas executadas pelo software Action Stat®, com o emprego da técnica de regressão linear múltipla, considerando os parâmetros declividade, fluxo de veículos, taxa de ocupação do solo e as precipitações ocorridas entre as campanhas de coletas. Para caracterização dos sedimentos, as amostras coletadas foram ensaiadas de acordo com as normas da ABNT NBR 7181:2016 (técnicas de análises granulométricas) e por Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP OES), de acordo com o método 3050 B, USEPA (com ênfase nos metais Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Manganês, Níquel e Zinco). Os resultados obtidos apontam para uma tendência de maior acumulação de sedimentos nas vias com menor declividade e/ou maior fluxo de veículos. Os maiores valores das massas médias coletadas foram obtidos na Avenida Americano do Brasil, variando entre 195,53 e 708,48 g/m², enquanto a Alameda João Elias da Silva registrou os menores valores, entre 2,43 e 164,58 g/m². Os maiores percentuais granulométricos se concentraram na faixa das areias fina, média e grossa (entre os diâmetros de 0,06 a 2,0 mm). Verificou-se que as precipitações agiram diretamente sobre a quantidade, o tamanho das partículas e no arraste dos grãos que compõem a carga dos sedimentos. Registrou-se um aumento das menores granulometrias nos períodos com menor precipitação entre as coletas, provocado pela desagregação dos grãos mais finos, adsorvidos aos sedimentos presentes na carga fixa ao pavimento. Em todas as amostras foram identificadas a presença de metais, mas com diferentes concentrações, variando de acordo com a região do estudo e alternância dos períodos seco e chuvoso. Os metais Cobre, Zinco e Manganês apresentaram as maiores concentrações totais entre todos os metais identificados nas amostras coletadas, com valores médios no período chuvoso de 85,10 mg/kg, 85,38 mg/kg e 72,53 mg/kg, respectivamente. Constatou-se uma redução drástica das concentrações dos metais em todas as amostras coletadas no período seco. O Chumbo apresentou a maior redução percentual das concentrações médias dos metais, ocorrida entre os dois períodos da pesquisa, registrando 18,07 mg/kg no período chuvoso, contra 0,13 mg/kg no período seco. Os resultados confirmaram que a precipitação e o escoamento superficial são agentes de transporte de possíveis contaminantes, indicando a necessidade de desenvolvimento de novas técnicas para o tratamento e o controle das fontes geradoras dos sedimentos urbanos.

PALAVRAS-CHAVE: Sedimento urbano. Estimativa de sedimento. Metais traço.

ABSTRACT

This study aimed to quantify and characterize the sediments collected in the gutters of six paved streets, located in the region of the Botafogo Stream Basin, in the city of Goiânia, GO. For sediment quantification eleven collection campaigns were carried out between September 2015 and June 2016, following the method of sweeping and mechanical aspiration described by Vaze and Chiew (2002). Estimates of sediment generation in each street were obtained by statistical analysis performed by the software Action Stat®, using the multiple linear regression technique, considering the parameters slope, vehicle flow, soil occupation rate and rainfall between collection campaigns. To characterize the sediments, the collected samples were tested according to the standards of ABNT NBR 7181: 2016 (granulometric analysis techniques) and Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP OES) according to the 3050 B method, USEPA (with emphasis on Cadmium, Lead, Copper, Chromium, Manganese, Nickel and Zinc metals). The results obtained point to a trend of greater accumulation of sediment in the roads with less slope and/or greater flow of vehicles. The highest values of the average masses collected were obtained at Avenida Americano do Brasil, varying between 195.53 and 708.48 g/m², while Alameda João Elias da Silva registered the lowest values, between 2.43 and 164.58 g/m². The largest spherulometric percentages were concentrated in the thin, medium and coarse sand range (between 0.06 and 2.0 mm diameters). It was found that the precipitations acted directly on the amount, the size of the particles and on the entrainment of the grains that compose the sediment load. An increase in the smaller granulometry was observed in the periods with lower precipitation between the collections, caused by the disintegration of the finer grains, adsorbed to the sediments present in the fixed load to the pavement. In all the samples were identified the presence of metals, but with different concentrations, varying according to the region of the study and alternation of dry and rainy periods. Copper, Zinc and Manganese metals presented the highest total concentrations among all the metals identified in the collected samples, with rainfall average values of 85.10 mg/kg, 85.38 mg/kg and 72.53 mg/kg, respectively. It was observed a drastic reduction of the concentrations of the metals in all the samples collected in the dry period. Lead had the highest percentage reduction in mean metal concentrations, occurring between the two periods of the survey, registering 18.07 mg/kg in the rainy season, against 0.13 mg/kg in the dry period. The results confirmed that precipitation and surface runoff are agents for the transport of possible contaminants, indicating the need to develop new techniques for the treatment and control of the sources of urban sediment.

KEYWORDS: Urban sediment. Sediment estimation. Trace metals.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processos em um sistema de drenagem	18
Figura 2 - Fontes de sedimentos em ambientes urbanos	21
Figura 3 - Processo de transporte e formação de sedimentos urbanos	24
Figura 4 - Representação hipotética da carga do sedimento na superfície ao longo do tempo	27
Figura 5 - Distribuição temporal dos sedimentos ao longo da seção de uma rua	29
Figura 6 - Acumulação de sólidos na superfície.....	30
Figura 7 - Distribuição dos sedimentos ao longo da seção da rua.....	38
Figura 8 - Localização do município de Goiânia/GO em relação à região Centro Oeste	43
Figura 9 - Regiões da zona urbana do município de Goiânia/GO.....	44
Figura 10 - Bacias hidrográficas do município de Goiânia/GO	45
Figura 11 - Carta de Declividade do Município de Goiânia.....	46
Figura 12 - Bairros e setores abrangidos pela bacia do Córrego Botafogo	47
Figura 13 - Av. Americano do Brasil (PA1)	48
Figura 14 - Rua S-6, esq. com 5ª Radial (PA2).....	48
Figura 15 - Avenida 3ª Radial (JB1)	48
Figura 16 - Al. João E. da S. Caldas (JB2).....	48
Figura 17 - Rua Castorina B. Alves (PF1).....	48
Figura 18 - Rua 46 (PF2).....	48
Figura 19 - Pontos de coletas dos sedimentos	49
Figura 20 - Localização dos pontos de coletas e da estação meteorológica nº 19.....	55
Figura 21 – Distribuição de chuvas (2015)	56
Figura 22 - Distribuição de chuvas (2016)	56
Figura 23 - Posição do quadro metálico em relação ao asfalto e meio fio (vista em corte).....	62
Figura 24 - Posição e distância entre os pontos de coleta (vista em planta).....	62
Figura 25 - Equipamentos utilizados na execução das coletas dos sedimentos	63
Figura 26 - (a) Almofariz; (b) Jogo de peneiras; (c) Agitador; (d) Ensaio de sedimentação ...	64
Figura 27 – Equipamento de ICP OES, modelo Parkin Elmer Optima 7300 DV	65
Figura 28 - Massas médias coletadas nos períodos chuvoso e seco.....	70
Figura 29 - Teste de normalidade dos dados de estimativa do sedimento.....	73
Figura 30 - Distribuição da massa média coletada em PA1	76
Figura 31 - Distribuição das massas médias coletadas em PA2 e JB1	76
Figura 32 - Distribuição das massas médias coletadas em PF1 e PF2	77

Figura 33 - Distribuição das massas médias coletadas em JB2.....	77
Figura 34 - Maiores percentuais granulométricos em PA1 x Precipitação (mm)	81
Figura 35 - Maiores percentuais granulométricos em PA2 x Precipitação (mm)	81
Figura 36 - Maiores percentuais granulométricos em JB1 x Precipitação (mm)	82
Figura 37 - Maiores percentuais granulométricos em JB2 x Precipitação (mm)	83
Figura 38 - Maiores percentuais granulométricos em PF1 x Precipitação (mm)	84
Figura 39 - Maiores percentuais granulométricos em PF2 x Precipitação (mm)	84
Figura 40 - Concentração dos metais em PA1 x Precipitação (mm).....	88
Figura 41 – Concentração dos metais em PA2 x Precipitação (mm)	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Valores calibrados de $M0$ e k'	31
Quadro 2 - Contagem volumétrica e classificação do fluxo de veículos.....	50
Quadro 3 - Taxa de ocupação das áreas de influência das ruas do experimento.....	52
Quadro 4 - Parâmetros e características das ruas do experimento	54
Quadro 5 - Dias dos eventos de coleta do sedimento x Precipitação (mm)	56
Quadro 6 - Dias e volumes das precipitações entre as coletas	57
Quadro 7 - Comparativo das menores e maiores massas coletadas	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Origem e natureza dos poluentes.....	22
Tabela 2 - Produção de sedimentos em áreas de bacias urbanas.....	25
Tabela 3 - Fontes de contaminação por metais encontrados em áreas urbanas.....	35
Tabela 4 - Fontes de metais pesados associados ao tráfego veicular em áreas urbanas.....	36
Tabela 5 - Áreas dos lotes localizadas em cada rua do estudo	51
Tabela 6 - Frequência de varrição das ruas do experimento	53
Tabela 7 - Massa coletada do sedimento seco em vias urbanas (g)	67
Tabela 8 - Massa média coletada por campanha (g/m ²)	69
Tabela 9 - Valores ajustados das massas médias estimadas	72
Tabela 10 - Área de sarjeta de cada rua da pesquisa	73
Tabela 11 - Estimativa de massa depositada nas ruas nas datas das coletas	74
Tabela 12 - Tabela ANOVA gerada pelo software Action Start®.....	75
Tabela 13 - Matriz de correlação de Pearson.....	78
Tabela 14 - Limites mínimos de detecção de metais do ICP OES - Análise do branco.....	85
Tabela 15 - Concentração médias dos metais nos dois períodos: chuvoso e seco	86

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
COMURG	Companhia de Urbanização de Goiânia
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
ICP OES	Espectrometria de emissão óptica com plasma
IFG	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MUBDG	Mapa Urbano Digital de Goiânia
SECIMA	Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Cidades, Infraestrutura e Assuntos Metropolitanos do Estado de Goiás
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
USEPA	United States Environmental Protection Agency

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	PROCESSO DE URBANIZAÇÃO DAS CIDADES E OS IMPACTOS NA DRENAGEM SUPERFICIAL	16
3.1.1	O zoneamento urbano e a geração do sedimento	19
3.2	FONTES DE POLUIÇÃO DIFUSA	21
3.3	INFLUÊNCIA DAS PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO NA GERAÇÃO DO SEDIMENTO URBANO	26
3.4	CARACTERIZAÇÃO E PROPAGAÇÃO DO SEDIMENTO.	27
3.4.1	Metodologias aplicadas à propagação de sedimentos e poluentes	28
3.4.2	Interação entre os sedimentos e contaminantes	33
3.4.3	Definição dos metais traço	34
3.5	METODOLOGIAS APLICADAS PARA COLETAS E ARMAZENAMENTO DOS SEDIMENTOS	37
4	MATERIAIS E MÉTODOS	42
4.1	DESCRIÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO	42
4.2	PARÂMETROS ADOTADOS NA ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE SEDIMENTOS NAS VIAS	50
4.2.1	Fluxo de veículos das vias	50
4.2.2	Taxa de ocupação das áreas de influência das vias	51
4.2.3	Declividade das vias	52
4.2.4	Frequência de varrição das vias	52
4.2.5	Características de urbanização das vias	53
4.2.6	Dados de precipitação entre os eventos de coletas dos sedimentos	55
4.3	COLETA DO SEDIMENTO SECO	57
4.3.1	Procedimento de amostragem	58
4.3.2	Descrição do período e método de coleta do sedimento seco	59
4.3.3	Procedimento adotado para as coletas do sedimento seco	60
4.4	ANÁLISE DAS AMOSTRAS DOS SEDIMENTOS	63
4.4.1	Análise granulométrica dos sedimentos	63
4.4.2	Análise dos metais traço	64
4.5	QUANTIFICAÇÃO E ESTIMATIVA DO SEDIMENTO	66
5	RESULTADOS	67
5.1	QUANTIFICAÇÃO DO SEDIMENTO COLETADO	67
5.2	ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DO SEDIMENTO	72
5.3	CORRELAÇÃO DOS RESULTADOS	75
5.3.1	Correlação entre as massas médias coletadas nas 6 ruas do experimento	75
5.3.2	Correlação entre os parâmetros modelados pelo sistema	78
5.4	GRANULOMETRIA DOS SEDIMENTOS COLETADOS	79
5.5	METAIS TRAÇO	85
6	CONCLUSÕES	90
	REFERÊNCIAS	95
	APÊNDICES	99
	APÊNDICE A: CONTAGEM VOLUMÉTRICA DE VEÍCULOS	99

APÊNDICE B: REGRESSÃO LINEAR EXECUTADA PELO SOFTWARE ACTION START®	102
APÊNDICE C: TABELAS E CURVAS DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA	103
APÊNDICE D: DISTRIBUIÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DOS METAIS TRAÇO.....	114
ANEXO I: PLANILHAS DE VARRIÇÃO DISPONIBILIZADAS PELA COMURG	119

1 INTRODUÇÃO

A expansão desordenada dos grandes centros urbanos e o fluxo migratório da população rural, associado ao desrespeito às normas e às leis municipais estabelecidas no “Plano Diretor” (que é o instrumento básico de orientação da política de desenvolvimento, de ordenamento da expansão urbana e de ocupação do município), exercem uma influência cada vez maior na degradação do meio ambiente.

A ocupação das áreas verdes e a pavimentação de vias, tem como resultado imediato o aumento da impermeabilização dos solos, que colabora para o incremento da velocidade de escoamento das águas superficiais, diminuindo a capacidade de recarga do lençol freático e a disponibilidade de água para a população.

De acordo com Poletto (2008) uma das primeiras consequências da urbanização é a devastação de grandes áreas de vegetação e a subsequente impermeabilização daquele solo devastado por construções de vários tipos. Associado a esta devastação ocorre o comprometimento do conjunto “das terras drenadas por um rio e seus afluentes”, ou seja, das bacias hidrográficas respectivas.

O conhecimento dos fatores que colocam em risco os recursos hídricos, essenciais para o desenvolvimento das cidades e para a preservação da vida, é um passo importante na direção da elaboração de ações que impactem toda a sociedade.

Este estudo pode proporcionar um maior conhecimento dos processos de geração e acúmulo de sedimentos nas vias pavimentadas das cidades, levando-se em consideração os parâmetros declividade, fluxo de veículos, taxa de ocupação do solo, as características de urbanização de cada região e a interação destes parâmetros com os eventos de precipitação, de acordo com a sazonalidade do clima. Também pode esclarecer como as características de cada região podem interferir na geração, na granulometria e na composição dos sedimentos, apresentando resultados que podem colaborar para avaliação dos riscos de comprometimento dos recursos hídricos e das estruturas de captação pluvial.

A pesquisa apresenta os processos de urbanização das cidades e a influência do zoneamento urbano na geração do sedimento, que é apontado como um dos grandes fatores que impactam o meio ambiente. Também discorre sobre as fontes de poluição difusa, destacando-se como principais geradores dos sedimentos, os materiais depositados nas vias pavimentadas e oriundos de obras dispostas ao longo destas vias, bem como a influência das partículas suspensas na atmosfera na composição do sedimento urbano.

O estudo aborda a caracterização dos processos de acumulação e carreamento, discorre sobre as metodologias aplicadas à propagação do sedimento no meio urbano e verifica a interação entre os sedimentos e os poluentes. Analisa a presença de metais nas amostras coletadas, que podem servir como indicadores de possíveis contaminantes do meio ambiente e dos recursos hídricos.

São apresentadas as metodologias utilizadas nas coletas e armazenamento das amostras dos sedimentos, seguindo os estudos desenvolvidos por Deletic *et al.* (2000), que indicaram a sarjeta como o local de maior acúmulo do sedimento urbano em vias pavimentadas e o método de varrição e aspiração mecânica descrito por Vaze e Chiew (2002).

Esta pesquisa pode oferecer subsídios para formulação de políticas públicas e implantação de ações estruturais nas cidades, que permitam recuperar, proteger e evitar a degradação do meio ambiente, com a utilização de novas tecnologias direcionadas à limpeza urbana e de sistemas de captação, tratamento e controle do escoamento superficial, tornando as cidades espaços cada vez mais adaptados para a vida humana.

O objetivo deste estudo visa quantificar e caracterizar os sedimentos presentes em vias pavimentadas, coletando amostras em dois períodos climáticos distintos (chuvoso e seco). Ainda aborda os fatores que contribuem para geração do sedimento depositado em ruas e avenidas, como premissas importantes na elaboração e execução de ações mitigadoras e de controle das fontes geradoras do sedimento urbano.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Quantificar e caracterizar a geração e o acúmulo de sedimentos em áreas urbanas, a partir da coleta e análise do sedimento seco depositado em ruas pavimentadas, na região da bacia do Córrego Botafogo no município de Goiânia/GO, considerando os diversos parâmetros e características dos pontos de coletas e a sazonalidade do clima.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Coletar amostras de sedimento seco em 06 (seis) ruas pavimentadas da Bacia Hidrográfica do Córrego Botafogo, no município de Goiânia, levando em consideração os parâmetros declividade, fluxo de veículos, frequência de varrição, uso do solo e os dados de precipitação entre os períodos seco e chuvoso;

Caracterizar quantitativa e qualitativamente as amostras de sedimento obtidas nas campanhas de campo;

Estimar o quantitativo médio de sedimentos presentes nas 06 (seis) ruas por meio de análises estatísticas das massas coletadas, considerando as características de cada rua e os dados das precipitações ocorridas no período correspondente às campanhas de campo;

Analisar a granulometria e a presença de metais nos sedimentos coletados em função da sazonalidade do clima.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PROCESSO DE URBANIZAÇÃO DAS CIDADES E OS IMPACTOS NA DRENAGEM SUPERFICIAL

O aumento das populações em áreas periféricas e a tendência do adensamento central nas cidades, em busca dos locais com melhor infraestrutura de negócios, serviços, moradia e lazer, provocam impacto direto sobre a geração de sedimentos no meio urbano.

A presença destes sedimentos no meio urbano aponta para a necessidade de implantação de processos de controle e tratamento dos resíduos produzidos, para a preservação do meio ambiente e da qualidade de vida das populações que habitam as cidades.

O desenvolvimento urbano se acelerou na segunda metade do século XX com a concentração da população nas cidades, produzindo grande competição pelos mesmos recursos naturais, destruindo parte da biodiversidade. O meio formado pelo ambiente natural e pela população (socioeconômico urbano) é um ser vivo e dinâmico, que gera um conjunto de efeitos interligados, que sem controle pode levar a cidade ao caos (SNIS, 2004).

Segundo Poletto (2008) a urbanização das áreas litorâneas e posteriormente do interior do país, trouxe além dos benefícios, impasses relativos ao comprometimento do meio ambiente neste processo civilizatório. Estas intervenções antrópicas provocaram alterações na qualidade do ar, da água, dos sedimentos e do solo, bem como dos organismos vivos.

De acordo com Pitt *et al.* (2004) o escoamento superficial urbano é apontado como um dos grandes fatores de impacto sobre o meio ambiente, principalmente sobre os recursos hídricos (córregos, rios e lagos), em função do carreamento de sedimentos com a presença de agentes poluidores.

Apesar de se mostrar insustentável do ponto de vista do planejamento urbano, o sistema de drenagem mais utilizado no Brasil ainda é o sistema idealizado no período higienista, que consiste na rápida captação do escoamento superficial e o seu lançamento a jusante, transferindo os problemas das inundações para regiões com menores cotas altimétricas e exigindo obras complementares para amortecimento dos impactos gerados por este sistema (SNIS, 2004).

Com utilização do sistema de drenagem que se vale das teorias higienistas, aliado ao incremento da impermeabilização das áreas de drenagem naturais por construções e/ou pavimentação das vias, tem-se registrado um aumento significativo de eventos, como:

- Alagamentos: resultado da combinação de precipitações intensas e consequente geração de elevados escoamentos na superfície, com a superação da capacidade de escoamento do sistema de drenagem;

- Enxurradas: desastres associados a escoamento superficial de alta velocidade e energia em consequência de chuvas intensas e concentradas, frequentes de regiões acidentadas e bacias hidrográficas de dimensões reduzidas;

- Inundações: desastre ocasionado por chuvas prolongadas em áreas planas e em fundo de vale.

De acordo com Baptista *et al.* (2005) verificou-se que a carga poluidora proveniente das águas pluviais é bastante expressiva, sendo muitas vezes equivalente e/ou superior às cargas de esgoto sanitário, quando da ocorrência de eventos de grandes precipitações em breves espaços de tempo, que provocam um enorme arraste de material sedimentar.

O tratamento das águas residuais vai além da garantia da qualidade do abastecimento à população, pois contribui para redução de doenças disseminadas pela água (diarreia infecciosa, cólera, leptospirose, hepatite e esquistossomose, etc.), para diminuição dos gastos com captação em longas distâncias e no menor consumo de produtos químicos para tratamento. Esses fatores poderiam impactar diretamente a economia dos municípios e essa economia disponibilizaria maiores recursos para investimentos em saúde, educação, mobilidade urbana, entre outras políticas públicas. (FUNASA, 2004).

Dentre os fatores que dificultam a implantação de novos sistemas de captação e tratamento das águas residuais se destacam a falta implementação de políticas públicas de gestão dos recursos hídricos e o financiamento por parte do Governo Federal, já que a grande parte dos municípios não dispõem de arrecadação suficiente para execução de obras de saneamento básico e implantação de novos sistemas de drenagem urbana (infraestrutura).

A quantificação e a caracterização dos sedimentos presentes no escoamento superficial urbano contribuem para o desenvolvimento e implantação de sistemas de captação, que executem o tratamento e/ou encaminhem os sedimentos para locais mais adequados.

De acordo com Poletto e Merten (2013) os sedimentos contaminados por metais pesados podem exercer um grande impacto sobre a vida aquática, através da bioacumulação (transferências de substâncias do meio externo para os organismos vivos em concentrações superiores à do meio em que se encontram) e também pela biomagnificação (aumento progressivo da concentração de substâncias químicas nos organismos vivos à medida que percorre a cadeia alimentar, passando a se acumular no nível trófico mais elevado). Além disso, as cargas de sedimentos podem apresentar grandes volumes de resíduos e concentrações de

materiais químicos e/ou metais, que causam assoreamento dos cursos d'água, alteram o meio ambiente e muitas vezes decretam a “morte” de cursos d'água, sendo indicados como uma importante fonte de poluição difusa.

O universo de formas em que os sedimentos influenciam os ecossistemas aquáticos não é pequeno. Diversos são os estudos que enfatizam as influências químicas, físicas e biológicas (biogeoquímica) dos sedimentos nos corpos d'água (POLETO E MERTEN, 2013, p. 237).

Os processos que ocorrem num sistema de drenagem urbana podem ser apresentados conforme descrição abaixo e esquematizado na Figura 1.

Processos em um sistema de drenagem:

1. Abstração inicial da precipitação:
 - 1a. detenção superficial;
 - 1b. infiltração.
2. Escoamento superficial
 - 2a. nas superfícies dos terrenos;
 - 2b. nas sarjetas.
3. Escoamento na rede de drenagem.

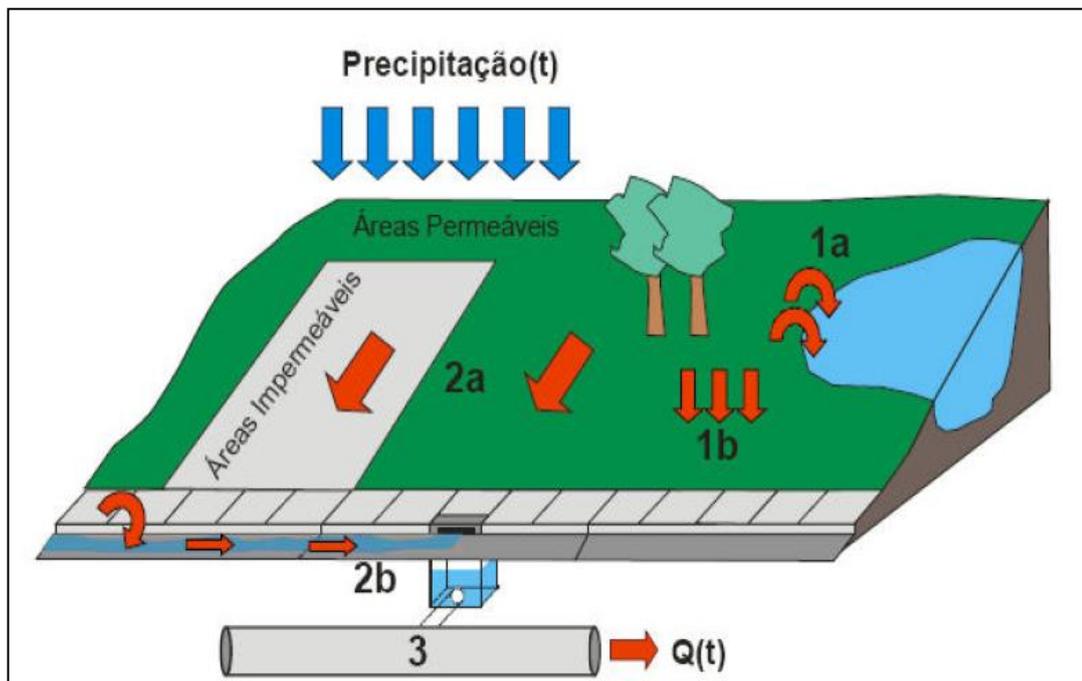


Figura 1 - Processos em um sistema de drenagem. Fonte: Meller (2004)

De acordo com os resultados apresentados no estudo de Dotto (2006), as amostras de sedimento seco coletadas na cidade de Santa Maria/RS, indicaram que o processo de acumulação dos sedimentos nas superfícies pavimentadas ocorre relativamente rápido após um evento de precipitação. O carreamento das partículas acumuladas nas superfícies depende das características da precipitação e do escoamento, sendo que as redes de drenagem urbana são responsáveis pela veiculação dessas cargas sedimentares que constituem importantes fontes de degradação de rios, lagos e estuários.

A análise dos sedimentos presentes no pavimento urbano como fonte de poluição difusa se torna mais importante à medida que a urbanização ocorre com o crescimento das cidades.

Ações políticas visam atender às principais demandas da população, que considera a pavimentação das vias como o maior dos benefícios à qualidade de vida. Esta visão imediatista que orienta as políticas de urbanização, com a pavimentação de vias sem a devida implantação das estruturas de captação pluvial, além de proporcionar um aumento substancial da impermeabilização das áreas nas cidades, ainda contribui para a degradação e contaminação dos recursos hídricos, em função da deposição dos sedimentos nos cursos d'água, que são carreados pelo incremento do volume do escoamento superficial.

3.1.1 O zoneamento urbano e a geração do sedimento

Com intuito de se estabelecer regras para a ocupação urbana é que se torna imprescindível o planejamento do uso do solo, respeitando-se as características do relevo e a vocação econômica da região. Dentre as regras de ocupação das cidades destacam-se o zoneamento e o planejamento urbano.

As diretrizes gerais do zoneamento urbano são aquelas que se apresentam como vetores de desenvolvimento e que regulamentam a ocupação do espaço urbano e as atividades comerciais/industriais, responsáveis muitas vezes, pela geração e acúmulo de sedimentos nas áreas urbanas. Dentre estas diretrizes destacam-se:

- A ordenação e controle do uso do solo.
- A ocupação prioritária dos vazios urbanos.
- A proteção, preservação e recuperação do meio ambiente, natural e construído.
- A fixação de atividades econômicas de polarização regional.
- A criação de oportunidades imobiliárias.
- A definição de estratégias de consolidação, revitalização, preservação e reestruturação da estrutura urbana.

As diretrizes de desenvolvimento do município são traçadas e definidas com intuito de promover o desenvolvimento sustentável e alcançar o ordenamento do território, como descrito na Lei Complementar Nº 171, de 29 de maio de 2007, que dispõem sobre Plano Diretor e o processo de planejamento urbano do Município de Goiânia (BRASIL, 2007).

Segundo Leung (2002), o zoneamento urbano foi utilizado pela primeira vez pela Alemanha, mas foi nos Estados Unidos que ele ganhou força, a partir do início do século XX. Alguns de seus principais objetivos são: controle do crescimento urbano, proteção de áreas inadequadas à ocupação urbana, minimização dos conflitos entre usos e atividades, controle do tráfego, manutenção dos valores das propriedades e do “status quo”.

De acordo com Andrade (2004), além do zoneamento urbano que determina quais áreas podem ser ocupadas, o planejamento urbano do uso e ocupação do solo é de extrema importância, pois ele define como essas áreas devem ser ocupadas.

A Lei Federal nº 6938/81, que dispõem sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, define como importante instrumento o zoneamento ambiental, delimitando as áreas a serem ocupadas, autorizando ou restringindo-se determinadas atividades, de modo absoluto ou relativo, o exercício de outras, em razão das características ambientais, sociais e econômicas do local.

A Constituição Federal de 1988 atribuiu ao Poder Público Municipal competência para, através do Plano Diretor, promover o adequado ordenamento territorial (zoneamento urbano) mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano, visando à proteção da qualidade de vida da população.

O uso do solo irá dispor sobre o tipo de taxa de ocupação do terreno (superficial e do subsolo), índice de permeabilidade do terreno, afastamentos, altura máxima das edificações, além dos parâmetros descritos para as atividades econômicas, como: controle da localização das atividades, listagem de atividades, área para serviço de carga e descarga e da área de reserva técnica destinado a estacionamento de veículos para o funcionamento de atividades econômicas específicas.

De acordo com Silva (2014) a quantidade de sedimento gerado depende do tipo e do uso do solo, das características hidrológicas e topográficas, da cobertura vegetal, da estação do ano, da eficiência da limpeza das ruas, entre outros fatores.

Muthukaruppan *et al.* (2002) apontam o tipo de uso do solo e as condições socioeconômicas como sendo os dois fatores principais causadores da variação dos elementos contidos nas cargas de poluentes em áreas urbanas. Enquanto o uso do solo pode indicar a variedade e as concentrações dos sedimentos, a intensidade e duração dos eventos de

precipitação intensificam o volume de arraste e do transporte de sedimentos até as estruturas de captação e deposição. O período entre os eventos de precipitação também altera a qualidade e a quantidade de sedimento no escoamento superficial, em função do maior ou menor volume acumulado de sedimentos nas superfícies impermeáveis entre os eventos.

3.2 FONTES DE POLUIÇÃO DIFUSA

Conforme abordado por Butler e Clark (1995) apesar de conhecidas, as fontes geradoras do sedimento urbano ainda oferecem dificuldades à identificação e a determinação do grau de importância relativa de cada uma delas, devido à variedade destas fontes e da heterogeneidade na propagação do sedimento através da bacia hidrográfica, desde sua produção até a captação pelos sistemas de drenagem urbana (redes de micro e macrodrenagem).

Na Figura 2 estão representadas as principais fontes geradoras dos sedimentos urbanos descritos por Poletto *et al.* (2009).

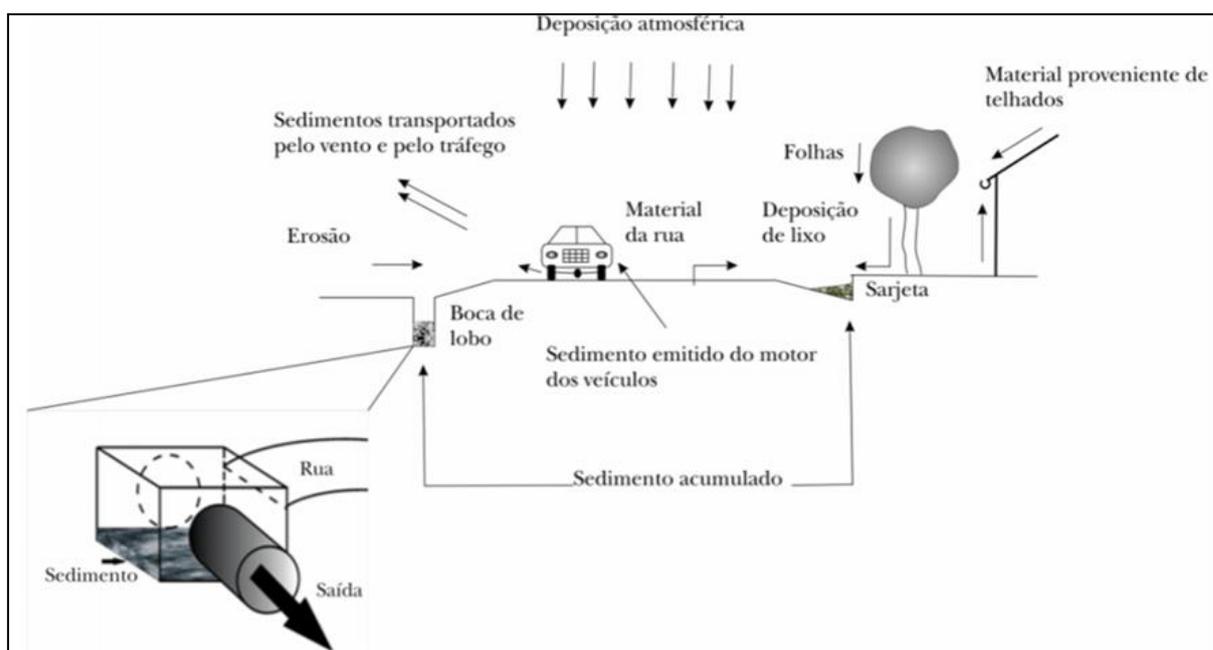


Figura 2 - Fontes de sedimentos em ambientes urbanos. Fonte: Poletto *et al.* (2009).

Butler e Clark (1995) destacam como principais fontes de sedimentos urbanos os materiais originalmente encontrados nas vias pavimentadas e de obras dispostas ao longo destas vias, bem como os resíduos gerados a partir do uso de veículos e das atividades comerciais e industriais. Além destes, também configuram como fontes de sedimento urbano a vegetação, o esgoto sanitário lançado irregularmente nas redes de drenagem pluviais (bocas de lobo e redes

coletoras), descarte de papéis, embalagens metálicas, restos de alimentos, resíduos provenientes dos telhados e da deposição atmosférica que são carreados através da precipitação das chuvas.

Segundo Poletto e Merten (2013), os poluentes antropogênicos, como são classificadas todas essas fontes de origem poluidoras, são adsorvidos aos sólidos em suspensão e podem se apresentar em altas concentrações no escoamento superficial urbano.

A Tabela 1 traz uma descrição da origem e da natureza dos principais poluentes urbanos, adaptado de Chocat (1997).

Tabela 1 - Origem e natureza dos poluentes.

Origem	Natureza dos poluentes
Circulação de automóveis	<ul style="list-style-type: none"> • Hidrocarbonetos (óleos, graxas e gasolina) • Metais provenientes do desgaste dos pneus (cádmio, cobre), dos freios (zinco) e de peças metálicas (titânio, cromo, alumínio) • Óxido de nitrogênio (gases de escapamento)
Indústria	<ul style="list-style-type: none"> • Metais (chumbo, cádmio, zinco) • Resíduos de petróleo e micro poluentes orgânicos rejeitados sob a forma líquida ou gasosa podendo ser carreados por longas distâncias
Animais	<ul style="list-style-type: none"> • Matéria orgânica proveniente de dejetos de animais (domésticos ou selvagens) que podem constituir-se em fonte de contaminação bacteriana ou viral
Resíduos sólidos	<ul style="list-style-type: none"> • Matéria orgânica, plásticos, metais diversos, papéis, etc. rejeitados diretamente nas bocas de lobo, provenientes da lixiviação das superfícies urbanas pelas águas pluviais, de depósitos ilegais de resíduos sólidos ou de aterros sanitários mal geridos • Poeiras contendo diferentes poluentes (em particular, o zinco que provém de usinas de incineração emitindo grandes quantidades de poluentes)
Erosão dos solos, dos pavimentos e em canteiro de obras	<ul style="list-style-type: none"> • Matéria em suspensão (poluição mineral: pode conter agentes ativos como asfalto) • Poluentes provenientes da erosão de pavimentos de vias (elementos procedentes do cimento ou do pavimento das calçadas, das pinturas do pavimento, notadamente o chumbo)
Vegetação	<ul style="list-style-type: none"> • Matérias carbônicas, mais ou menos biodegradáveis (folhas mortas, pólenes) • Nitratos e fosfatos provenientes de adubos • Compostos organoclorados (pesticidas e herbicidas)

Adaptado de: Chocat (1997).

A ação de transporte de sedimentos é também detalhada por Vaze e Chiew (2002), que ressaltam as grandes concentrações de sedimentos e poluentes principalmente na primeira porção do escoamento (first flush). Este fenômeno foi simulado em superfícies asfálticas por

Silva (2014), com intuito de quantificar o carreamento de poluentes nestas superfícies. Observou-se que as concentrações de poluentes são elevadas no início das precipitações e decrescem com o decorrer dos eventos chuvosos.

Dotto (2006) concluiu que a acumulação em superfícies impermeáveis pode ser descrita por um processo de equilíbrio dinâmico, ocorrendo entre a acumulação e o carreamento em um ponto e entre áreas de contribuição ou não. Esse equilíbrio dinâmico, de acordo com a física, é o estado que um corpo se encontra em um movimento retilíneo e uniforme, gerando estabilidade no sistema.

Segundo Taylor (2007), os sedimentos gerados em bacias hidrográficas urbanas podem ter sua origem natural e antrópica. Os sedimentos de origem natural são considerados como fontes intrínsecas, como: materiais de solos, plantas, deposição atmosférica. E os sedimentos de origem antrópica são considerados como fontes extrínsecas. Estas fontes extrínsecas são diretamente ligadas à ação humana, tais como: resíduos gerados na descarga dos escapamentos de veículos, desgaste de pneus, materiais de construção, materiais gerados por atividades industriais, entre outros.

Poleto (2008) apresentou um fluxograma exemplificando o movimento dos sedimentos nas bacias urbanas, destacando o vínculo entre as fontes, os agentes de transporte e a deposição final dos sedimentos gerados, como ilustrado na Figura 3. O fluxograma destaca a mistura que é depositada na bacia urbana, formada pela interação entre os sedimentos e contaminantes que são transportados de acordo com as características da granulometria das partículas, podendo estar sujeito à remistura e/ou passar por alterações físicas e químicas. O material sólido poderá ser removido pelo sistema de drenagem até a sua deposição final nos recursos hídricos (córregos, rios e lagos), permanecer acumulado em áreas impermeáveis ou ficar depositado no sistema de drenagem até a sua limpeza ou remoção. Ao atingir os corpos d'água, os sedimentos podem sofrer deposição e acúmulo ou serem transportados como sedimentos em suspensão, sofrendo alterações físicoquímicas durante o processo de transporte.

Ainda de acordo com Charlesworth e Lees (1999), a presença do sedimento em vias urbanas é provisória e transitória, em função das ações físicas e das intempéries, que provocam o seu deslocamento.

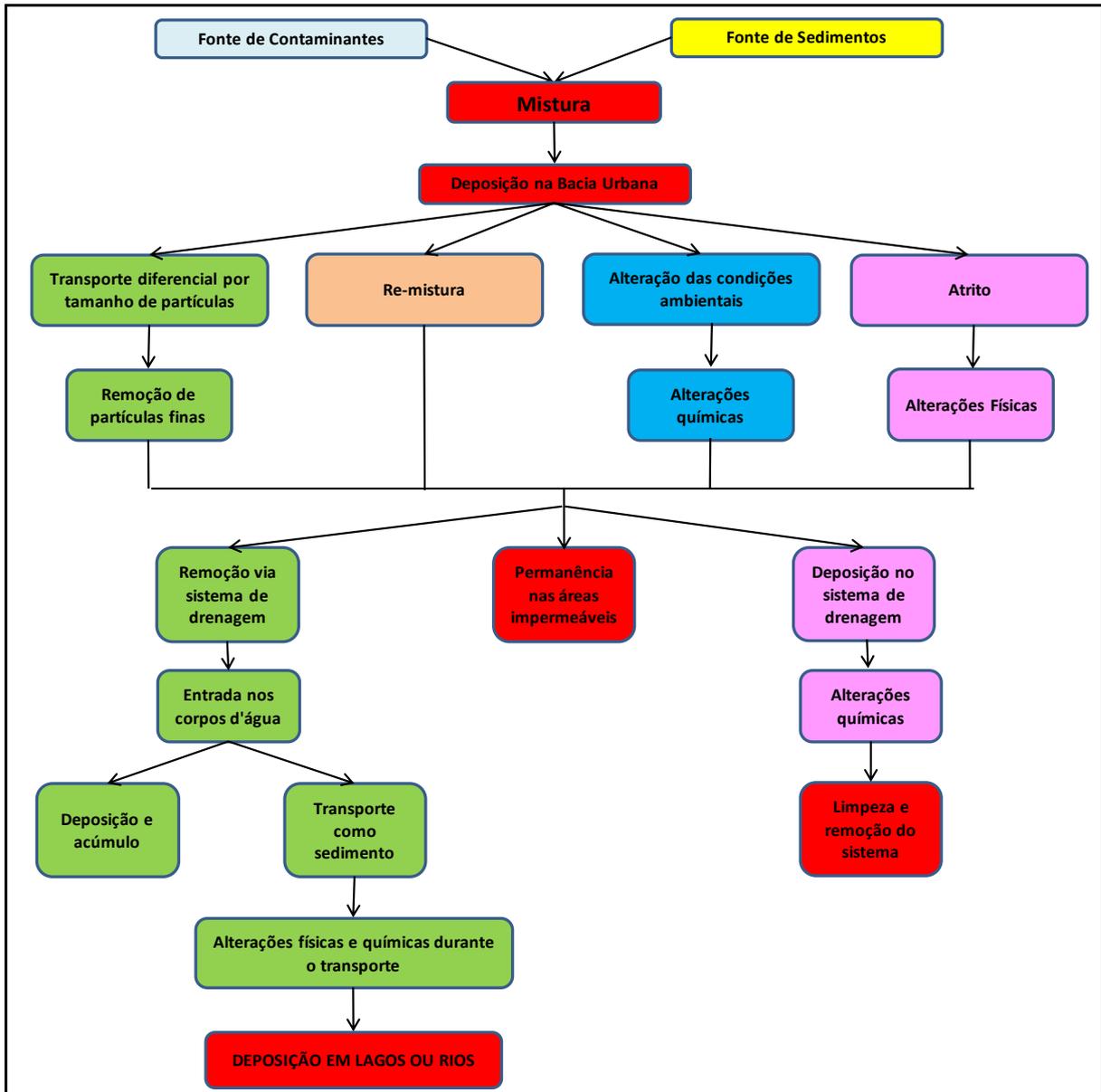


Figura 3 - Processo de transporte e formação de sedimentos urbanos. Fonte: Poletto (2008).

De acordo com Silva *et al.* (2014), a produção de sedimentos em áreas comerciais é muito maior que em áreas residenciais, o qual pode estar associado às forças das atividades econômicas presentes e pelo gradiente de poluição atmosférica presente nestas áreas. As superfícies associadas ao tráfego veicular apresentam uma alta produção de sedimento (normalmente definidas em toneladas de sedimentos por unidade de longitude), em função do número e das características do parque automotor, situação que se torna mais crítica na medida em que a cidade se converte em polo de desenvolvimento.

Nelson e Booth (2002) apresentaram um estudo sobre o balanço de sedimentos em uma bacia, avaliando as diferentes fontes geradoras de sedimentos produzidos por diversos processos erosivos a montante e que são continuamente agravados por atividades antrópicas.

Os valores de produção de sedimento em distintas áreas urbanas são apresentados na Tabela 2. Os coeficientes representam os sólidos totais suspensos analisados numa região no noroeste do Pacífico, e foram utilizados em vários estudos sobre o uso do solo urbano, incluindo residenciais e desenvolvimento comercial, áreas de construção, pedreira, erosão da superfície da estrada.

Tabela 2 - Produção de sedimentos em áreas de bacias urbanas.

Uso do Solo	Área de estudo	Taxa de produção de sedimentos
Urbanização	Residencial baixa densidade	50 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹
	Residencial densidade moderada	322 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹
	Residencial alta densidade	350 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹
	Comercial	805 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹
Construção	Erosão da superfície	97 ton km ⁻² ano ⁻¹
Ruas e estradas	Estradas pavimentadas	502 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹
	Estradas em terra	3,4 ton km ⁻² ano ⁻¹

Adaptada de: Nelson e Booth (2002).

Inúmeros fatores colaboram para o surgimento das fontes de poluição difusa, bem como na propagação dos sedimentos numa determinada área. Esses fatores, que inicialmente podem ser considerados como obstáculos na obtenção dos resultados, também estão associados com as características de cada uma das regiões estudadas, podendo até se tornar parâmetro comparativo para outras regiões, com características semelhantes às das áreas do experimento, tais como: grau de desenvolvimento e urbanização, declividades e condições do pavimento, tráfego de veículos e clima onde a região está inserida.

De acordo com Martínez (2011) a análise do sedimento coletado em vias pavimentadas, possibilita determinar as características urbanas que expressam as atividades predominantes de cada região.

Porto (1995) afirma que a identificação das fontes geradoras dos sedimentos presentes no escoamento superficial, que constitui a carga difusa, é extremamente importante para que se possa avaliar corretamente seu potencial poluidor, inferir sobre os impactos gerados por esses sedimentos e apontar medidas de controle adequadas e eficientes destas fontes.

3.3 INFLUÊNCIA DAS PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO NA GERAÇÃO DO SEDIMENTO URBANO

De acordo com o Relatório Anual de Partículas Totais em Suspensão de 2015, elaborado pela Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Cidades, Infraestrutura e Assuntos Metropolitanos do Estado de Goiás (SECIMA, 2016), a poluição do ar é um dos fatores ambientais de maior efeito deletério sobre a saúde da população. Segundo dados estimados pela Organização Mundial da Saúde, somente em 2012, cerca de 3,7 milhões de pessoas morreram prematuramente devido à poluição do ar. Essas mortes ocorreram principalmente pela ação de material particulado fino (menor que 10 micrômetros).

No que diz respeito à qualidade do ar, em muitas regiões do mundo, a poluição por material particulado atmosférico (MP) é a principal causa dos problemas de saúde da população. O MP pode ser emitido por diversas fontes, porém se destacam: a queima de combustíveis (diesel, gasolina, etanol) e de biomassa (florestas, carvão).

O MP também pode influenciar diretamente no clima devido a sua capacidade de refletir e dispersar, ou ainda, de absorver os raios solares que atingem a atmosfera. Um efeito indireto das partículas no clima, ocorre devido a sua habilidade de absorver água e formar nuvens, alterando os padrões de chuvas (SECIMA, 2016).

De acordo com a agência internacional de pesquisa sobre o câncer, as partículas atmosféricas são maléficas à saúde, pois penetram no corpo humano e podem causar doenças respiratórias e cardiovasculares.

Na região central do país, em especial no Estado de Goiás, as mudanças ambientais relacionadas às variáveis climáticas, tais como: baixa umidade do ar, elevadas temperaturas, grandes amplitudes térmicas, assoreamentos, inundações e alagamentos, tem potencializado o aumento e a dispersão do material particulado na atmosfera.

No período de maio a setembro, a região Centro Oeste sofre influência de um sistema atmosférico de alta pressão, que dificulta a ascensão do ar e a ocorrência de precipitações. Estas condições se apresentam como fator preponderante para o incremento e a dispersão do MP na atmosfera, que após a deposição acaba sendo incorporado aos sedimentos presentes nas vias urbanas.

A presença deste MP disperso no ar e sua posterior deposição no meio ambiente, constitui outra fonte geradora do sedimento seco depositado nas vias pavimentadas, que irão adsorver estes potenciais contaminantes, que em função do grau de concentração podem se tornar agentes poluidores e prejudiciais a saúde humana.

3.4 CARACTERIZAÇÃO E PROPAGAÇÃO DO SEDIMENTO.

Do ponto de vista da qualidade dos sedimentos, estes são produto de uma composição de partículas primárias como grãos de quartzo ou argilominerais, combinados com a matéria orgânica e óxidos, formando um agregado (POLETO, 2008).

Segundo Droppo (2002), o sedimento é um microssistema individual, representado como uma partícula composta de uma matriz de água, material inorgânico e podendo apresentar ou não material orgânico, que possui funções ou comportamentos físicos, químicos e biológicos autônomos e interativos com o meio.

Segundo Poleto (2008), dentre os fatores ou características físicas mais significativas está a granulometria. Esta característica expressa a capacidade de controlar a concentração e a retenção de poluentes, como a interação com os metais. De acordo com Horowitz (1991), existe uma forte relação positiva entre a diminuição do tamanho das partículas e aumento das concentrações de elementos traço, em função da maior área superficial da partícula e aumento da CTC (capacidade de troca de cátions).

As diversas atividades antrópicas e as condições ambientais naturais são apontadas como responsáveis pela geração e acumulação do sedimento, que através da chuva são incorporados ao escoamento superficial até a deposição final nos corpos d'água.

Vaze e Chiew (2002) apresentaram duas hipóteses relacionadas aos processos de acumulação dos sedimentos nas superfícies descritos na Figura 4.

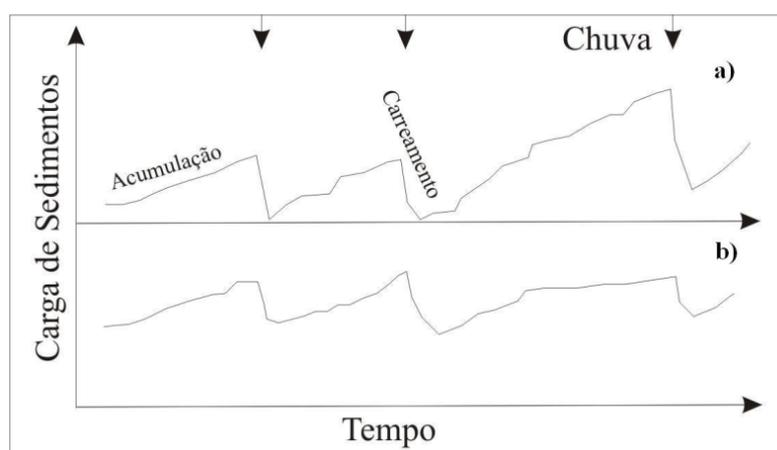


Figura 4 - Representação hipotética da carga do sedimento na superfície ao longo do tempo. Fonte: Vaze e Chiew, (2002).

Na 1ª hipótese (a), que é a mais adotada na maioria dos modelos de qualidade da água, a carga de poluentes acumula-se a partir do ponto tendendo a zero e vai aumentando durante os

dias secos e que durante os eventos de precipitação quase toda a carga disponível é lavada. Na 2ª hipótese (b), os eventos de precipitação removem apenas uma pequena quantidade da carga acumulada na superfície e a acumulação ocorre de maneira relativamente rápida após os eventos de precipitação. Com o retorno do período seco o acúmulo de sedimentos tende a retornar aos níveis iniciais observados anterior às precipitações. Dentre estes processos se destacam o de acumulação (*buildup*) e o de carreamento (*whasoff*). O processo de carreamento é considerado o responsável pela propagação do sedimento, que está relacionado às características da precipitação, do escoamento e local do estudo.

3.4.1 Metodologias aplicadas à propagação de sedimentos e poluentes

Vaze e Chiew (2002) concluíram que a carga de sedimentos de superfície aumenta de acordo com o período seco antecedente das precipitações.

Dotto (2006) atribui ao processo de acumulação toda a variedade de processos relacionadas ao tempo seco que ocorrem entre os eventos de precipitação: deposição, erosão devido à ação do vento, processo de limpeza das ruas, entre outros. Já o processo de carreamento do sedimento ocorre quando o sedimento seco depositado em superfície impermeável é removido durante os eventos de precipitação, por meio do escoamento superficial, e é incorporado ao mesmo.

Dotto (2006) concluiu que a redistribuição dos sedimentos ao longo dos dias secos resulta em uma quantidade praticamente uniforme de sedimentos ao longo da superfície nos diferentes períodos. Afirma também que a acumulação de sedimentos ao longo de dias secos ocorre relativamente rápido após um evento de precipitação e vai diminuindo ao longo dos dias subsequentes.

Levando-se em consideração que a deposição de sedimentos é constante e que a remoção dos mesmos através da limpeza urbana e pela chuva é proporcional a quantidade deste sedimento presente na superfície, Butler e Clark (1995) propuseram a seguinte equação:

$$M(t) = M_0 (1 - e^{-kt}) \quad (1)$$

Onde:

M(t)	massa de sólidos carreados da superfície (mg/m ²);
M ₀	massa inicial de sólidos na superfície (mg/m ²);
K	coeficiente de carreamento (mm ⁻¹);
t	tempo (min).

A Equação 1 produz uma curva exponencial de acumulação, que é assintótica (bastante próxima) à carga máxima ou de equilíbrio M_0 (Figura 5).

Desta forma Butler e Clark (1995) concluíram que, a quantidade de sedimento na superfície está diretamente relacionada à taxa de acumulação e é inversamente proporcional à constante de remoção. A carga máxima ou de equilíbrio (M_0) é definida conforme Equação 2:

$$M_0 = a/b \quad (2)$$

Onde:

- a taxa de acumulação ($\text{g/m}^2/\text{semana}$);
 b constante de remoção ($\text{g/m}^2/\text{semana}$).

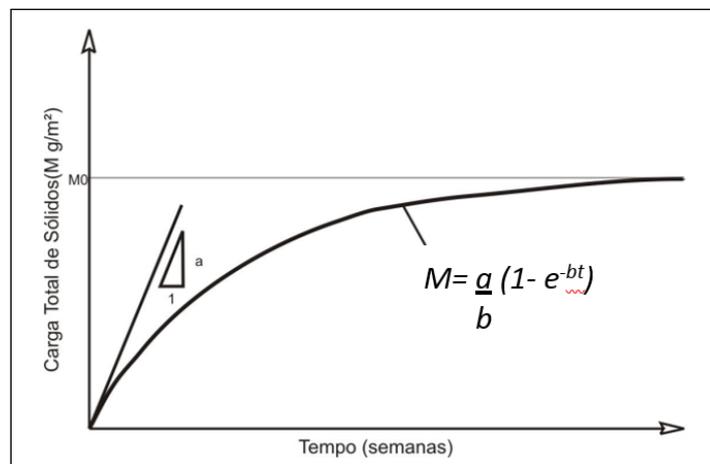


Figura 5 - Distribuição temporal dos sedimentos ao longo da seção de uma rua. Fonte: Butler e Clark (1995).

Em outro estudo Chen e Adams (2007) consideraram que a taxa de carreamento dos poluentes é proporcional à quantidade de poluentes formados e ao volume escoado, descrito de acordo com a Equação 3.

$$M_w = M_b (1 - e^{-K_w V_r}) \quad (3)$$

Onde:

- M_w quantidade de poluente carregado na superfície (Kg/m^2);
 M_b quantidade de poluente na superfície (Kg/m^2);
 K_w coeficiente de decaimento (mm^{-1});
 V_r intensidade da chuva.

Sartor e Boyd (1972) sugeriram uma relação exponencial entre a quantidade de sólidos disponíveis na superfície (M), e a duração do tempo seco antecedente (t_{dry}), conforme

mostrado pela Equação 4. Esta equação foi definida a partir de uma série de eventos de precipitação e tem sido aceita por outros autores. Também é utilizada na prática em alguns modelos na determinação da quantidade de sólidos em superfícies, sendo descrita da seguinte forma:

$$M(T) = M0 (1 - e^{-k'(tdry + t')}) \quad (4)$$

Onde:

M	quantidade de sólidos na superfície (g/m ²);
T	período decorrente desde o início da primeira chuva da série (dia);
tdry	duração do período seco antecedente;
t'	período virtual (dia);
M0	a máxima quantidade de sólidos esperados na superfície (g/m ²);
k'	constante de acumulação (dia ⁻¹).

Na Equação 4 existem dois parâmetros de calibração, M0 e k', que devem ser determinados para cada local. O período virtual (t') é utilizado para auxiliar na aplicação da relação exponencial para uma série de precipitações e é calculado assumindo que a deposição é zero em t' dias, antes do começo da chuva antecedente. Nesta equação, a função de acumulação admite que todo o sedimento acumulado na superfície é totalmente carregado pela última precipitação, não restando qualquer resíduo após essa última precipitação.

A Figura 6 apresenta a acumulação dos sólidos na superfície conforme descrito na Equação 4.

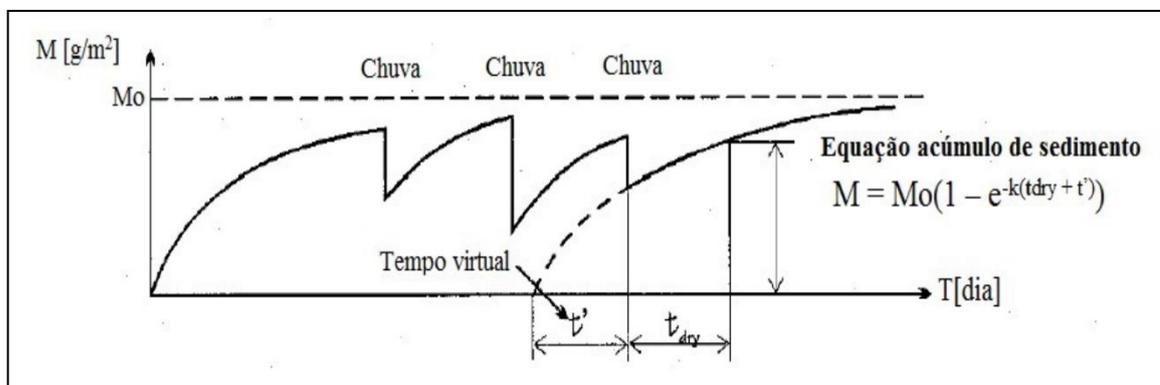


Figura 6 - Acumulação de sólidos na superfície. Fonte: Sartor e Boyd (1972).

No Quadro 1 são apresentados os valores de calibração dos parâmetros M0 e k para superfícies pavimentadas (asfalto) e que apresentam diferentes usos do solo.

Quadro 1 - Valores calibrados de M0 e k'.

Local	Fonte	Uso do solo	M0 (g/m ²)	k' (dia ⁻¹)
Beechwood, Dundee, Escócia	Deletic <i>et al.</i> , 2000	Residencial, estacionamento	27	0,015
Comercial Street, Dundee, Escócia	Deletic <i>et al.</i> , 2000	Rua com tráfego intenso	100	0,100
Miljakovac, Belgrado, Suécia	Deletic <i>et al.</i> , 1997	Rua com tráfego médio	10	0,045
Lund, Suécia	Deletic <i>et al.</i> , 1997	Estacionamento	18	0,015

Fonte: Deletic *et al.* (2000) e Dotto (2006).

Alley e Smith (1981) determinaram que a taxa de acumulação de poluentes tem uma influência em relação à quantidade residual de poluentes que permanece na superfície, após um evento de precipitação ou da ação da limpeza urbana. Assim estabeleceram que a quantidade de massa acumulada em determinada superfície pode ser definida em duas parcelas, uma que se acumula durante o período seco e a outra que se forma a partir dos poluentes residuais não lavados por ocasião da última precipitação.

A mudança na taxa de acumulação dos poluentes foi descrita por Chen e Adams (2007) é expressa pela Equação 5:

$$M_b = \frac{(1 - h)m_d\beta_1 + hm_w\beta_2\eta}{k_b} \left(1 - e^{-k_b^b b^b}\right) + M_0 e^{-k_b^b} \quad (5)$$

Onde:

- M_b quantidade de poluente na superfície (Kg/m²);
- h fração de área impermeável;
- m_d taxa constante de poluente depositada (Kg/m²h);
- m_w quantidade de poluente na superfície (Kg/m²);
- β₁ parâmetro de conversão da massa de partículas em suspensão em um parâmetro de um determinado tipo de poluente;
- β₂ parâmetro de conversão da massa de partículas varridas em um parâmetro de um determinado tipo de poluente;
- η parâmetro de eficiência de remoção da rua;
- k_b taxa de remoção dos poluentes (h⁻¹);
- b duração do período seco antecedente (h);
- M₀ quantidade residual de poluente (Kg/m²).

Na Equação 5 existem quatro parâmetros de ajuste que devem ser determinados de acordo com o local da pesquisa e do tipo do poluente. Os parâmetros de ajustes que devem ser observados são: M_0 , β_1 , β_2 e k_b .

Vários parâmetros estão relacionados à geração dos sedimentos em superfícies asfálticas, o que dificulta a determinação da massa acumulada em cada ponto do experimento.

No estudo da geração do sedimento, cabe analisar a relação entre uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes (que afetam a resposta e podem ser definidas ou medidas pelo experimentador: variáveis preditoras), utilizando-se a técnica estatística de “Regressão Linear”.

Neste experimento, onde são necessárias as análises de mais de uma variável independente, a técnica multivariada adotada foi a regressão linear múltipla, cuja finalidade é encontrar a relação matemática entre as variáveis pré-estabelecidas, declividade, fluxo de veículos, frequência de varrição, uso do solo e sazonalidade dos períodos seco e chuvoso, com o restante das variáveis que descrevem o sistema.

A principal aplicação da técnica de Regressão Linear, após a obtenção da relação matemática, é poder estimar valores para a variável resposta utilizando de alterações nas variáveis independentes (LAPPONI, 2005).

De acordo com Montgomery *et al.* (2012) o modelo de regressão linear múltipla com N variáveis é representado pela Equação 6.

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_N X_N + \varepsilon \quad (6)$$

Onde:

y	massa estimada de sedimentos (g/m^2);
β_0	intercepto do eixo y;
β_i	coeficiente angular da i-ésima variável;
X	variáveis independentes;
N	número de variáveis independentes;
ε	variável aleatória que interfere na verdadeira relação linear.

Na Equação 6 são avaliadas as relações entre os parâmetros característicos de cada rua do experimento e os dados relativos à precipitação ocorrida entre os eventos de coletas realizados entre os meses de setembro/2015 a junho/2016.

3.4.2 Interação entre os sedimentos e contaminantes

Devido à capacidade de associação dos sedimentos aos agentes contaminantes, tais como os metais pesados que são habitualmente encontrados nas atividades industriais, os sedimentos urbanos podem se caracterizar como potenciais fontes poluidoras, com alto poder de contaminação dos corpos hídricos, pela ação do escoamento superficial (POLETO, 2008).

Ainda de acordo com Poleto (2008) os termos contaminação e poluição não possuem o mesmo significado. A contaminação por algum elemento ocorre quando há um aumento de suas concentrações em relação às concentrações naturais, que são encontradas normalmente no meio ambiente. Já a poluição está relacionada com o aumento destas concentrações em quantidades que são capazes de causar efeitos nocivos para os componentes bióticos do ecossistema, comprometendo sua funcionalidade e sustentabilidade. Muitos elementos contaminantes são encontrados nos sedimentos, pois são derivados das rochas que dão origem ao solo, que posteriormente serão carregados pelos eventos de precipitação.

A absorção de metais pesados ou não, bem como de elementos químicos presentes em diversos produtos industrializados e agropecuários, que vão se associar aos sedimentos depositados em vias e superfícies impermeáveis, está diretamente ligada à granulometria destes sedimentos. A interação entre o sedimento e os metais e/ou contaminantes ocorre principalmente com as frações mais finas destes sedimentos (SUTHERLAND, 2003; CHARLESWORTH *et al*, 2003).

Segundo Poleto e Merten (2013) existem diferentes mecanismos de associação entre os elementos ou substâncias químicas com o sedimento e a compreensão destes mecanismos, proporciona um melhor entendimento sobre o aumento e/ou diminuição das reações que ocorrem no meio ambiente. As reações que ocorrem são determinadas pelas formas de fixação e pelas características do meio que o influenciam. Os mecanismos de conexão se apresentam de formas semelhantes apesar das diferentes origens, formas químicas e do meio onde ocorrem. Existem fatores físicos e químicos que determinam:

- a. Capacidade de alguns elementos serem utilizados como traçadores naturais: estabelecer em que condições os elementos químicos estão retidos pelos sedimentos e em que condições irão se desprender do sedimento;
- b. Fatores que afetam a capacidade dos sedimentos em transportar e tornar disponíveis os contaminantes das diferentes fontes: como os contaminantes são transportados pelos sedimentos e em que condições esses contaminantes se tornam disponíveis ao ambiente, provocando a poluição.

Ainda segundo Poletto e Merten (2013), o desenvolvimento de técnicas que utilizam as características químicas e físicas dos sedimentos tem aumentado a capacidade de identificar as fontes geradoras e a contribuição das diferentes fontes na produção dos sedimentos e dos contaminantes encontrados nos recursos hídricos.

Segundo Egodawatta *et al.* (2014) a produção do sedimento e a concentração de poluentes durante o processo de acumulação (*buildup*) é um sistema dinâmico, que varia principalmente com o período seco antecedente, influenciado por uma variedade de fatores como tráfego de veículos, uso do solo e parâmetros relacionados ao solo. O tamanho das partículas dos sedimentos pode se tornar relativamente maior com o aumento no período seco antecedente, como resultado da turbulência do vento e do tráfego sobre as partículas mais finas, concentrando as maiores partículas nas superfícies rodoviárias. Já a quantidade de sedimentos e/ou poluentes no processo de carreamento (*washoff*) em uma superfície impermeável, é influenciada principalmente pela quantidade de sedimentos e/ou poluentes disponíveis na superfície, que, por sua vez, se relaciona com a carga destes acumulada durante o período seco antecedente.

A caracterização do sedimento urbano é de extrema importância para avaliação correta de seu potencial poluidor e/ou dos agentes que dão origem à sua formação e deposição.

3.4.3 Definição dos metais traço

Segundo Taylor (2007), as alterações observadas no ecossistema das bacias hidrográficas são reflexo, mesmo que parciais, dos impactos sofridos pelo ecossistema terrestre, sendo os sedimentos uma importante fonte de ligação entre os dois ecossistemas. Os estudos realizados em várias partes do mundo para caracterização da qualidade dos sedimentos podem ser utilizados como um bom indicador das alterações sofridas em áreas urbanas, pois apontam um aumento das concentrações de contaminantes nos sedimentos a partir da industrialização e da urbanização.

Em geral, as partículas ou substâncias antrópicas são estranhas ao meio, e quando não, são descartadas em quantidades ambientalmente indesejáveis ou insustentáveis. Nestas condições, segundo Poletto (2008), esses materiais são considerados como poluentes:

- Esgotos domésticos: matéria orgânica e organismos patogênicos;
- Orgânicos sintéticos: praguicidas, solventes, diversos subprodutos industriais;
- Metais traços: Cr, Pb, Ni, Hg, etc.

Segundo Baird (2002), grande parte do material que é descartado em áreas urbanas corresponde ao lixo doméstico e/ou resíduo sólido. A solução para a geração e acúmulo de resíduos sólidos em perímetros urbanos vai além de se estabelecer locais para sua deposição.

Na Tabela 3 estão descritas as fontes de contaminação do meio ambiente, fazendo referência aos metais encontrados em áreas urbanas.

Tabela 3 - Fontes de contaminação por metais encontradas em áreas urbanas.

Metal	Fontes
Cádmio (Cd)	Galvanoplastia, fabricação de ligas, varetas de soldas, baterias, varetas de reatores, pigmentos, esmaltes e tinturas têxteis. Fotografia, litografia e pirotecnia, estabilizador plástico, fabricação de semicondutores, células solares, retificadores e lasers. Fertilizantes fosfatados, fabricação de cimento, da queima de combustíveis fósseis, desgastes de pneus, lixo urbano e sedimentos de esgotos.
Chumbo (Pb)	Indústrias extrativa, petrolífera, baterias, tintas, corantes, cerâmica, cabos, tubulações e munições.
Cobre (Cu)	Fabricação de condutores elétricos: cabos de alta e baixa tensão, conectores e contatos elétricos em geral (destino de aproximadamente 45% do consumo anual de cobre). Fabricação de motores e equipamentos: aquecedores solares, condutores de calor, tubulações de água. Fabricação de eletroeletrônicos, como televisores, computadores e celulares. Utilizado em diversos setores: automobilística, arquitetura, mecânica, construção civil, metalúrgica, objetos decorativos, bélica, mineração, construção naval e exploração petrolífera.
Cromo (Cr)	Galvanoplastia, soldagens, produção de ligas ferro-cromo, curtume, produção de cromatos, dicromatos, pigmentos e vernizes.
Manganês (Mn)	Fabricação ligas não-ferrosas (com cobre e níquel), esmaltes, fertilizantes, fungicidas, rações, eletrodos para solda, magnetos, catalisadores, vidros, tintas, cerâmicas, materiais elétricos e produtos farmacêuticos.
Níquel (Ni)	Utilizado na indústria têxtil, aditivos de óleos de motores e de lubrificantes. Fabricação de ligas: aços inoxidáveis para a indústria de construção, metalmecânica, aços especiais para a indústria aeronáutica, cunhagem de moedas, cutelaria, objetos decorativos e de uso doméstico, etc.
Zinco (Zn)	Utilizado na produção de ligas ou na galvanização de estruturas de aço, nas indústrias de cerâmicas, borrachas e fabricação de tintas. Tem aplicação na indústria têxtil, no enriquecimento de solos pobres em zinco e na preservação de madeiras.

Fonte: Mundo Químico (2010).

De acordo com Souza *et al.* (2003) a presença de elementos como Zn, Cr, Cu, Pb e Ni nos sedimentos em níveis superiores aos normais é geralmente um indicativo de crescimento urbano, pois estes metais são encontrados na composição de vários materiais, componentes, sistema construtivo e até mesmo na indústria alimentícia.

Diamantino (2016) considera que os metais possuem uma concentração natural no ambiente e podem ser encontrados em várias formas químicas. Quanto aos mecanismos de dispersão, admite que a disseminação do Cu e do Pb é realizada essencialmente pelo escoamento superficial, sendo a componente de dispersão pelo vento menos significativa. Já no caso do Cr e o Zn, tanto o escoamento superficial quanto o vento são importantes mecanismos de dispersão.

Porto (1995) indica que os metais relacionados a seguir, fazem parte de um grupo de elementos químicos que aparece com bastante frequência em áreas urbanizadas. São eles: o cádmio (Cd), o cobre (Cu), o cromo (Cr), o chumbo (Pb), o mercúrio (Hb), o níquel (Ni), o zinco (Zn) e ainda, o arsênio (As), o cobalto (Co) e o selênio (Se).

Fontes antrópicas são responsáveis pela introdução dos metais no meio ambiente. A circulação de veículos corresponde a uma das fontes antrópicas mais presentes no meio urbano das grandes cidades. A Tabela 4 apresenta a descrição de algumas fontes antrópicas oriundas do tráfego de veículos automotores, responsáveis pela presença dos metais mais encontrados no ambiente urbano.

Tabela 4 - Fontes de metais pesados associados ao tráfego veicular em áreas urbanas.

Constituinte	Fonte
Chumbo (Pb)	Escapamentos de veículos, uso de pneus, óleo lubrificante, peças soldadas e tintas.
Zinco (Zn)	Uso de pneus, óleo de motor e pastilhas de freios.
Cobre (Cu)	Galvanizado de metais, uso de pneus, peças de veículos e pastilhas de freios.
Cádmio (Ca)	Uso de pneus e escapamentos de veículos.
Ferro (Fe)	Corrosão de veículos, estruturas de aço e partes do motor.
Cromo (Cr)	Galvanizado de metais, partes do motor e pastilhas de freios.
Níquel (Ni)	Combustível diesel, óleo lubrificante, galvanizado de metais, pastilhas de freios e pavimento asfáltico.
Manganês (Mn)	Pneus e pastilhas de freios.

Fonte: Poletto e Mertem (2013).

Analisando-se os dados da Tabela 4 verifica-se que os metais pesados, como cádmio, cobre, chumbo, cromo, níquel, zinco apresentam-se em destaque e tem como fonte antropogênica os veículos automotores. Ainda se apresentam como fontes de metais substâncias tais como: tintas, materiais galvanizados e pavimento asfáltico presentes no sedimento acumulado em áreas urbanas.

De acordo com Horowitz (1995), o próprio sedimento é um poluente, já que muitos elementos traço como Cu, Zn, Cd, Cr, Pb e Ni, são frequentemente identificados no escoamento urbano associados ao sedimento presente no pavimento. Os grandes centros urbanos convivem com a presença dos metais em função das atividades comerciais e industriais, e até mesmo em função das relações de consumo, que introduzem estes metais como subprodutos das atividades humanas.

De acordo com Poletto *et al.* (2012) os elementos traço, em especial os metais pesados, estão entre os poluentes mais comuns presentes no meio ambiente. Possuem alta densidade e sua deposição final ocorre nos solos e nos sedimentos, sendo que muitos destes representam riscos à saúde humana. Estes metais pesados, por não serem biologicamente ou quimicamente degradados são considerados contaminantes, conservam suas propriedades, podendo se acumular em um determinado local ou serem transportados por longas distâncias.

É importante considerar que programas de monitoramento hidrossedimentológico não sejam limitados apenas às quantificações dos sedimentos, mas que também sejam incorporados nestes estudos avaliações da qualidade destes sedimentos. A combinação dos estudos quantitativos e qualitativos sem dúvida irá possibilitar grandes avanços no que diz respeito à gestão integrada dos recursos hídricos (POLETO E MERTEN, 2013).

3.5 METODOLOGIAS APLICADAS PARA COLETAS E ARMAZENAMENTO DOS SEDIMENTOS

Segundo Martínez (2011), no estudo da poluição difusa urbana é comum a escolha de coleta de amostras de sedimentos em vias pavimentadas, em função de que as ruas estão diretamente ligadas às diversas atividades humanas, o que oferece dados bastante representativos, facilidade no processo de coleta e pequena probabilidade de alterações significativas da propriedade química da amostragem. As calçadas e as ruas são os locais de destino transitório dos sedimentos (deposição provisória) e consideradas os meios de difusão da poluição urbana quando dos eventos de precipitação pluvial.

Diferentes metodologias têm sido utilizadas no estudo sobre a acumulação, quantificação e caracterização do sedimento urbano, com pequenas variações no que diz respeito às formas adotadas e/ou procedimentos de coleta do sedimento.

Como observado no estudo das fontes de poluição difusa e no espalhamento do sedimento no ambiente urbano, já abordado por Butler e Clark (1995), verifica-se que a distribuição do sedimento ao longo de uma via pavimentada é muito assimétrica, com mais de 80% dos sedimentos ocupando uma faixa situada a 15 cm do meio fio (sarjeta), conforme ilustrado na Figura 7.

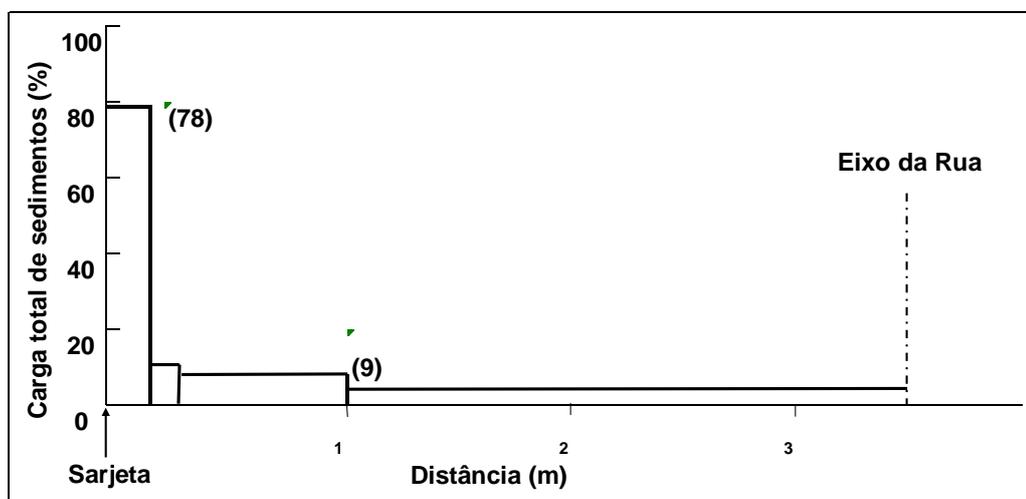


Figura 7 - Distribuição dos sedimentos ao longo da seção da rua. Fonte: Butler e Clark (1995).

Já os estudos apresentados por Deletic *et al.* (2000), afirmam que as cargas de sedimentos se encontram distribuídas na superfície do pavimento da seguinte maneira: 10% localizadas no eixo da via e 90% depositado na sarjeta, sendo a sarjeta definida como uma faixa de 50 cm de largura a partir do meio fio.

Dotto (2006) coletou os sedimentos secos em superfícies asfálticas na área urbana de Santa Maria/RS, ao longo das sarjetas durante três períodos, utilizando um aspirador de pó, conforme estudos já realizados por Deletic *et al.* (2000) e Vaze e Chiew (2002). Os pontos de coleta do estudo foram definidos por sorteio e subdivididos em subáreas. As coletas foram realizadas em superfícies com área aproximada de 0,50 m², delimitada por um quadro de madeira com dimensões de 0,707m x 0,707m. Após coletado o sedimento em uma área pré-definida, a mesma área só seria utilizada novamente, caso sorteada, após um evento de precipitação. Seguindo a metodologia de Vaze e Chiew (2002) foram coletadas duas diferentes cargas de sedimentos: carga livre e a carga fixa. A primeira carga (carga livre) se caracteriza pela coleta direta do sedimento não aderido ao pavimento dentro da área delimitada pelo quadro

de madeira, através de aspiração mecânica. A segunda carga (carga fixa), após coletada a carga livre, foi obtida na mesma área através da escovação manual (utilizando-se uma escova de fibra), para que os sedimentos finos aderidos à superfície fossem desprendidos e posteriormente também aspirados.

Júnior (2014) propôs um experimento semelhante em vias pavimentadas em um loteamento da cidade de Poços de Caldas/MG, com utilização do método de varrição a seco, adaptado à metodologia citada por Charlesworth *et al.* (2003). As coletas foram realizadas somente no período tipicamente seco. As campanhas de coletas ocorreram durante o período da manhã, entre 8:00 e 11:00 horas, com espaço mínimo de 7 dias, precedidas de no mínimo 24 horas sem ocorrências de chuvas para obtenção das amostras secas. A característica das vias escolhidas é de pertencerem a um mesmo sistema de drenagem de águas pluviais. Para obtenção das amostras as vias foram divididas em 5 zonas considerando: continuidade das superfícies e similaridade de declividade visando estabelecer zonas homogêneas em relação ao potencial de acumulação de sedimentos. As seções de amostragem foram posicionadas juntas às sarjetas e demarcadas utilizando-se régua metálica e giz para definição da seção de 1 m² para cada campanha (seção demarcada de 1,0 m x 1,0 m). A varrição para obtenção das amostras foi executada com o uso de trincha e escova de cerdas de nylon e pincel de cerdas de pelo animal. Quanto à forma, os sedimentos coletados foram classificados como: primeira varrição foram os “Não-Aderidos” (NA) e na segunda varrição os “Aderidos” (A). Não foi utilizada a aspiração mecânica no experimento. Todo material foi coletado através de uma pá de material plástico e acondicionado em sacos plásticos com a devida identificação de cada amostra (data, nº da seção amostrada e tipo de sedimento) e posteriormente armazenados em caixas térmicas secas. Ao final do processo de coleta foi possível identificar o total dos sedimentos acumulados nas seções com o somatório das frações do material (NA) e (A).

Santana *et al.* (2014) realizaram estudo de monitoramento da carga de sedimentos em vias asfaltadas do município de Campos dos Goytacazes/RJ, no qual foram tomados 3 pontos aleatórios (P1, P2 e P3) em ruas e avenidas do município destacado acima, levando-se em consideração que todos os pontos foram situados em vias públicas pavimentadas e com sistema de drenagem ativo. Destacou-se também neste experimento a periodicidade da varrição diária das vias e o fato dos pontos escolhidos serem próximos a dois dos principais recursos hídricos do município: Lagoa do Vigário e o Rio Paraíba do Sul. Foi utilizado no processo de coleta dos sedimentos o sistema de varrição, primeiramente com vassoura de cerdas duras e posteriormente o uso de pincel de cerdas macias para ajuntamento dos sedimentos finos e grossos em um único recipiente. Para cada ponto, foi definida uma área de coleta de 0,90 m²,

com dimensões de 3,0 m x 0,30 m, demarcada com régua de madeira e delimitada com o uso de fita crepe ao longo da sarjeta. Neste estudo, concluíram que os maiores intervalos entre as precipitações apresentam uma maior ligação com as variações do sedimento fino e que o fluxo de veículos aliado ao processo de urbanização, também contribuíram para a geração e o acúmulo de sedimentos urbanos.

Silva (2014) realizou experimento em três vias pavimentadas no município de Goiânia, sendo que o material acumulado na superfície pavimentada foi coletado em duas campanhas entre julho e agosto de 2013, usando a técnica de aspiração e escovação a seco (VAZE e CHIEW, 2002). As amostras foram coletadas em seis parcelas distribuídas ao longo de 200 m de cada rua durante 14 dias, sendo coletadas amostras no 1º, 2º, 3º, 5º, 7º e 14º dias secos antecedentes a um evento de chuva, em uma área de 0,5 m², delimitada por uma moldura de madeira colocada entre a sarjeta e a faixa central da estrada. Para coleta do sedimento, primeiro a superfície da rua foi aspirada utilizando um aspirador de pó e água, modelo Flex S com potência de 1400W, depois foi escovada levemente utilizando uma escova de fibra para desagregar os finos do pavimento, e então aspirada novamente. As amostras foram aspiradas para dentro de sacos coletores do próprio aspirador. Desta forma, foram obtidas seis amostras em cada rua por campanha. Após determinação da massa diária, as amostras de cada rua foram agrupadas para determinação de metais tóxicos e distribuição granulométrica.

Santos (2015) realizou experimento em três locais de amostragem no município de Goiânia, contidos nas regiões central, sul e leste, em vias pavimentadas, para permitir uma comparação entre as diferentes intensidades de fluxo veicular e estabelecer uma relação destes com a acumulação de sedimentos e parâmetros de granulometria, metais pesados e sólidos. Foram realizadas cinco campanhas de coletas de sedimentos, realizadas no período de junho a outubro, em quatro dias por mês, sendo no 1º, 3º, 7º e 15º dia de cada mês, utilizando do método de escovação e aspiração proposto por Vaze e Chiew (2002). Foram utilizados um aspirador de pó portátil de potência 12 V e uma escova plástica para escovação das áreas delimitadas. As amostras deste experimento foram coletadas junto à sarjeta das vias. A área total de cada coleta foi de 3m², junto à sarjeta de cada via, divididos em 6 parcelas de 0,5m² (0,707 m x 0,707 m). A área de aspiração foi delimitada por uma moldura de madeira, distantes 5 metros de cada superfície de amostragem. As amostras coletadas por área aspirada, foram obtidas em duas etapas. A 1ª etapa corresponde à coleta de material aspirado diretamente na superfície, sem a utilização de qualquer ferramenta para desagregar os sedimentos aderidos ao pavimento, denominado "Carga Livre" (CL). Na 2ª etapa, a mesma superfície já aspirada foi varrida com uma escova de fibra, de modo que os sedimentos finos aderidos ao sedimento ficassem

disponíveis para aspiração. O sedimento coletado na 2ª etapa, após a varredura, foi denominado de "Carga Fixa" (CF). A "Carga Total" (CT) depositada sobre a superfície foi o somatório das cargas "CL" e a "CF".

Vaze e Chiew (2002) executaram o experimento na rua Bouverie, em Melbourne, Austrália. A via escolhida possuía quatro pistas de rolamento, sendo duas em cada sentido, com três áreas de estacionamento localizadas uma ao centro e as outras duas nas bordas externas das vias. A inclinação longitudinal da via escolhida é de 10% e inclinação lateral de 4%. Ambos os lados da via eram totalmente ocupados com edifícios e praticamente toda a área era pavimentada em concreto impermeável e superfícies asfálticas. As amostras do sedimento seco foram coletadas no eixo central da via (no estacionamento central) ao longo de 300 metros, por um período de 36 dias, compreendidos entre os dias 20 de agosto e 24 de setembro de 1999. A área escolhida possuía árvores em toda a extensão da via e um tráfego médio de 30.000 veículos por dia. A via contava com o serviço de limpeza mecanizada (1 vez por semana) com a utilização de um pequeno veículo com escovas rotativas e vassoura de sucção. Neste experimento o local das coletas foi dividido em 3 zonas com 11 subdivisões para cada zona. As amostras foram coletadas utilizando-se um aspirador de pó e um quadro de madeira com dimensões (0,707 x 0,707) m, delimitando uma área de coleta de 0,50 m². A superfície delimitada era então aspirada sem qualquer escovamento e esta carga definida como "carga livre". Após esta primeira etapa a mesma superfície era escovada levemente com escova de fibras para obtenção dos sedimentos mais finos, que na sequência também eram aspirados obtendo-se a "carga fixa". Na análise da correlação entre as cargas coletadas nas 3 zonas ao longo dos 36 dias, o resultado obtido por Vaze e Chiew (2002) foi relativamente baixo (geralmente inferior a 40%), indicando que a variação da carga de superfície é bastante alta.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO

O estudo foi desenvolvido na região da Bacia do Córrego Botafogo, no município de Goiânia/GO.

A Bacia Hidrográfica do Córrego Botafogo integra a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Anicuns, afluente do Rio Meia Ponte pela margem direita, e situa-se nas porções das regiões sul e central do município de Goiânia. A Bacia Hidrográfica do Córrego Botafogo possui área de aproximadamente 32,84 km² com extensão do córrego principal de aproximadamente 10,93 km, da nascente ao exutório, no Ribeirão Anicuns. Suas nascentes, localizam-se no Parque unicipal Jardim Botânico Amália Hermano Teixeira, região sul de Goiânia. Geograficamente, a bacia do Córrego Botafogo localiza-se entre os paralelos sul 685078,21 m e 685588,54 m e meridianos de longitude oeste 8159097,63 m e 8149655,25 m, abrangendo os municípios de Goiânia e Aparecida de Goiânia, na região centro-oeste do Brasil, Estado de Goiás (MARTINS JÚNIOR, 1996).

A bacia do Córrego Botafogo teve suas características originais bastante alteradas pela urbanização, com a presença de edificações residenciais, comerciais, pequenas indústrias e grandes áreas de ruas e avenidas pavimentadas. Esta bacia é formada pelo Córrego Sumidouro (margem direita), e pelos Córregos Areião e Capim Puba (margem esquerda). Poucas áreas ainda apresentam alguma forma de vegetação nativa, como é o caso dos parques Areião, Jardim Botânico e Flamboyant, com remanescentes de mata ciliar, além de grande parte dos córregos canalizados por estruturas de concreto e gabião.

De acordo com Santos (2015) o clima da região de Goiânia é predominantemente tropical, com duas estações bem definidas e distribuídas ao longo do ano. Uma é a estação chuvosa, que está compreendida entre os meses de dezembro a março, e a outra é a estação seca, que predomina entre os meses de junho a agosto. A altitude média da capital é de 790 metros e a temperatura média anual é de aproximadamente 22° C.

Dados do estudo realizado por Cardoso *et al.* (2011), mostram o mapeamento da precipitação pluviométrica na região metropolitana de Goiânia e de seu entorno, a partir da análise das 21 estações pluviométricas, onde a variação da média anual de chuvas da região está entre 1200 mm e 2100 mm. As figuras que apresentam o mapeamento da área de estudo produzidas pelo autor, foram confeccionadas a partir dos dados vetoriais disponíveis no Mapa

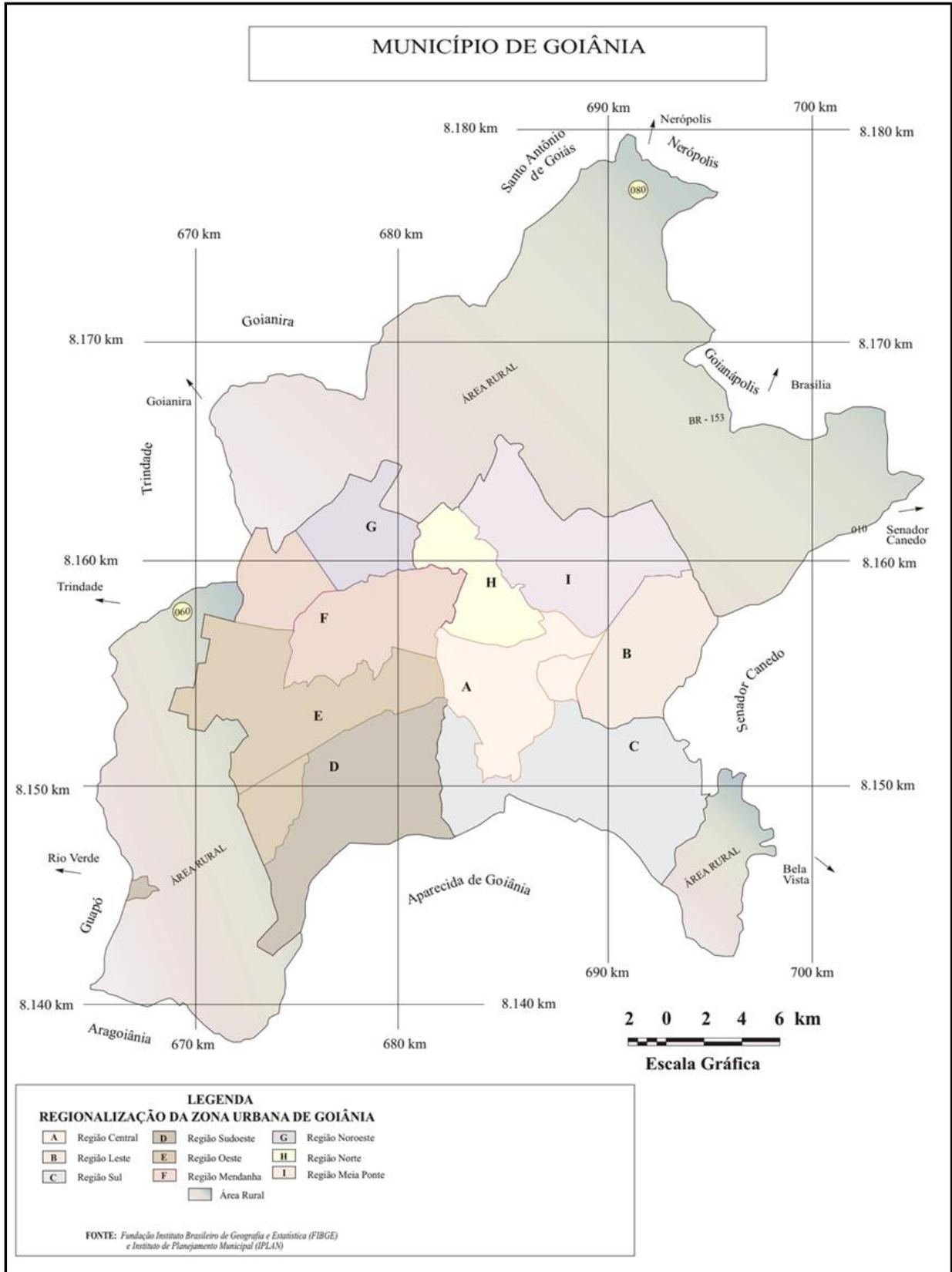


Figura 9 - Regiões da zona urbana do município de Goiânia/GO. Fonte: MUBDG.

A Figura 10 apresenta as diversas bacias hidrográficas do município de Goiânia. A bacia do córrego Botafogo, está destacada na legenda da figura, representada pelo número 4.

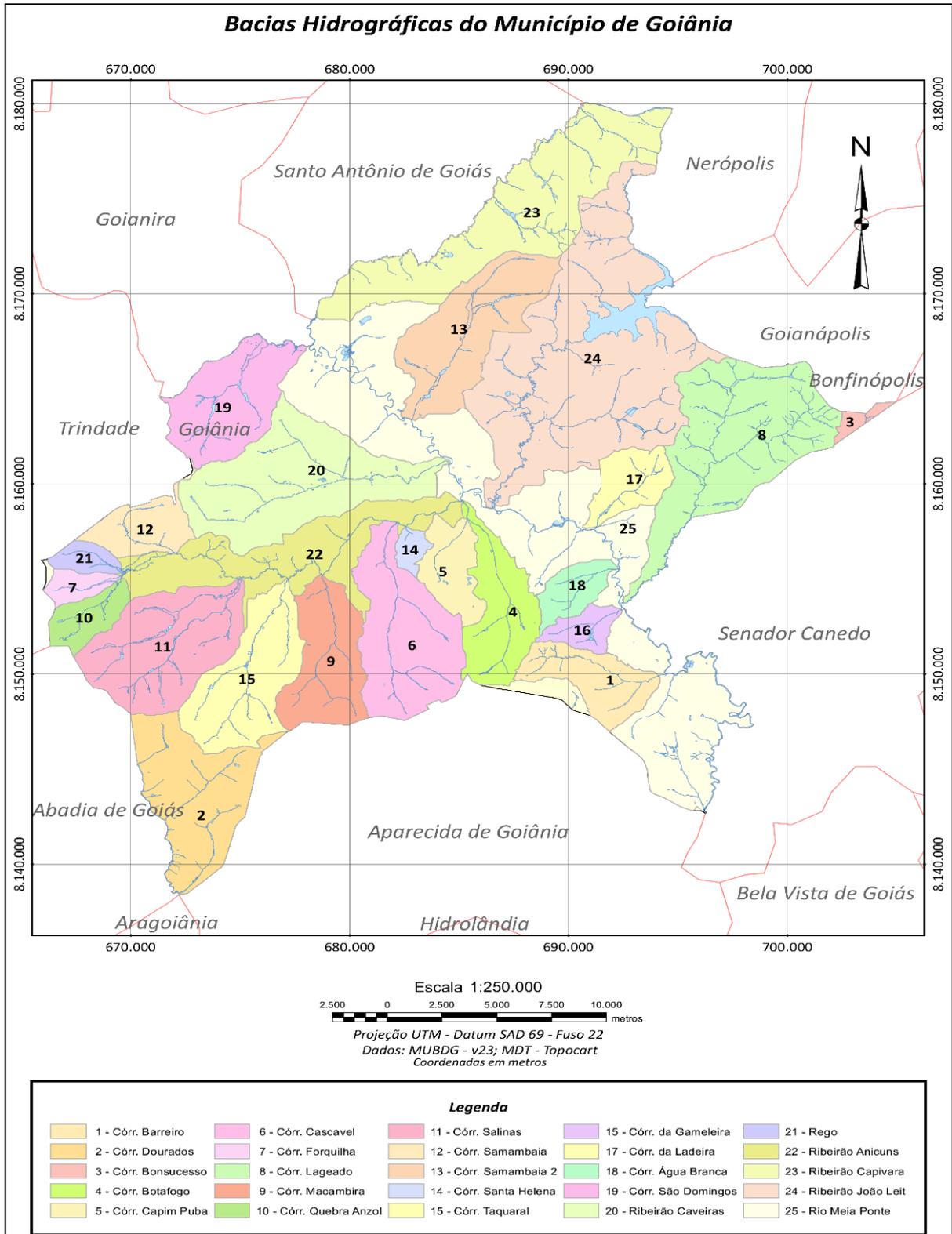


Figura 10 - Bacias hidrográficas do município de Goiânia/GO. Fonte: MUBDG.

A Figura 11 apresenta a carta de declividade do município de Goiânia e o posicionamento da bacia do córrego Botafogo. Declividade das ruas do experimento estão posicionadas numa faixa que varia entre 1,14% a 6,11%.

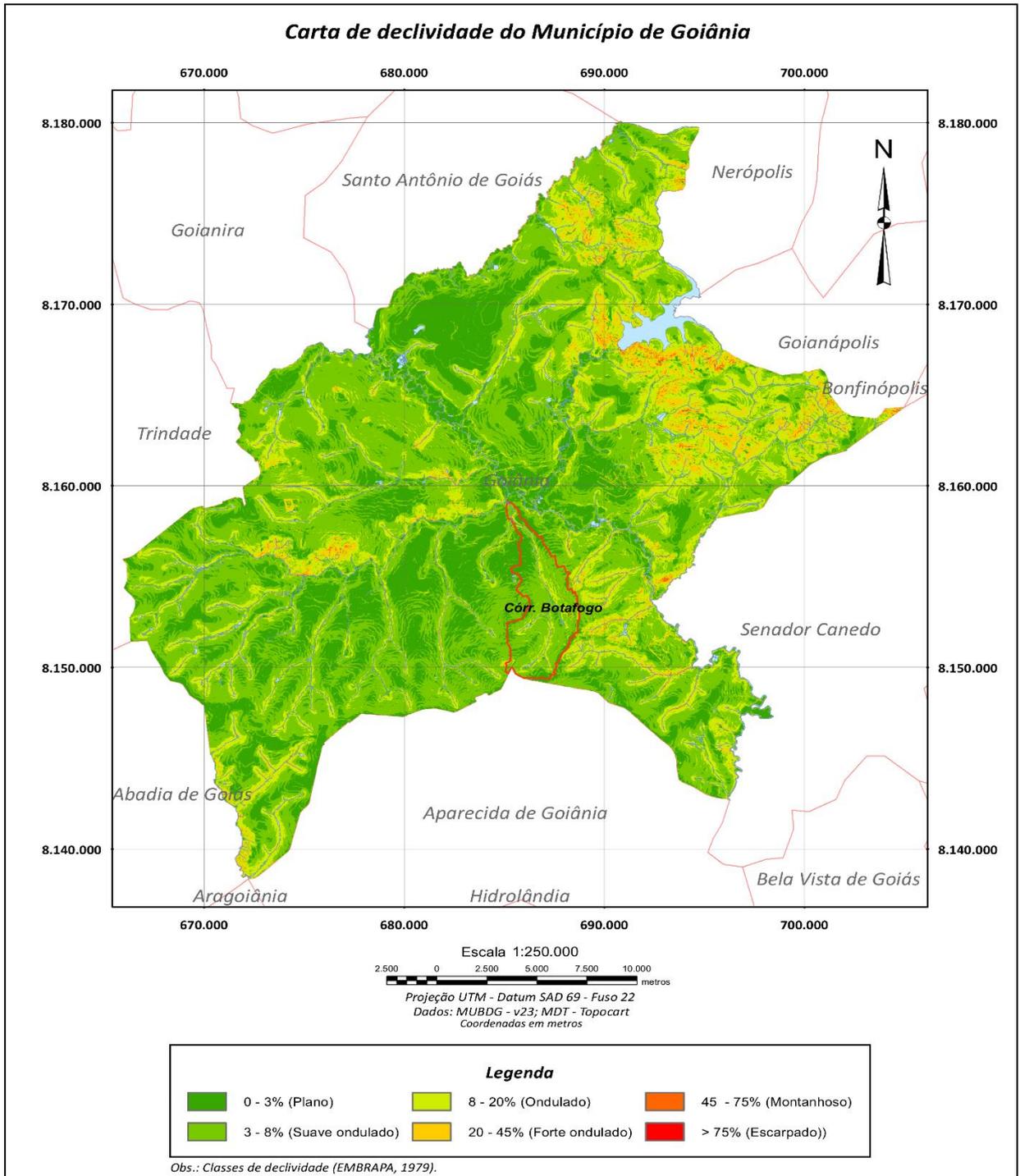


Figura 11 - Carta de Declividade do Município de Goiânia. Fonte: MUBDG.

A Figura 12 apresenta os bairros que pertencem à bacia do Córrego Botafogo, com destaque para: Setor Sul (nº 14), Setor Marista (nº 15), Setor Pedro Ludovico (nº 21), Jardim Santo Antônio (nº 25) e Jardim Goiás (nº 29), onde estão localizadas as ruas escolhidas para realização do experimento.

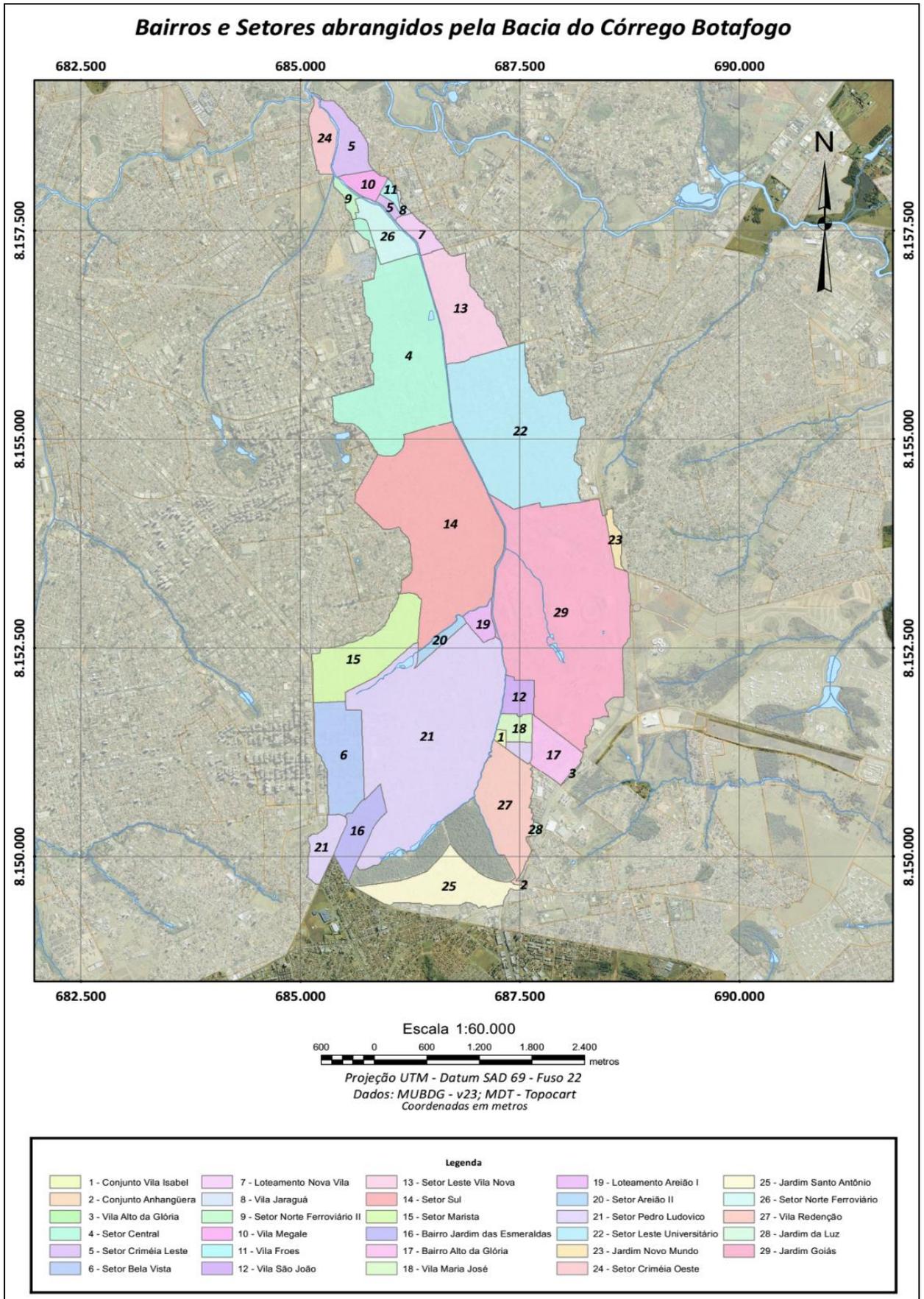


Figura 12 - Bairros e setores abrangidos pela bacia do Córrego Botafogo. Fonte: MUBDG.

As amostras de sedimentos foram coletadas em 06 (seis) ruas de 03 (três) regiões distintas: Parques Areião, Jardim Botânico e Parque Flamboyant. As ruas escolhidas para realização das coletas dos sedimentos estão ilustradas nas Figuras de 13 a 18.



Figura 13 - Av. Americano do Brasil (PA1).



Figura 14 - Rua S-6, esq. com 5ª Radial (PA2).



Figura 15 - Avenida 3ª Radial (JB1).



Figura 16 - Al. João E. da S. Caldas (JB2).

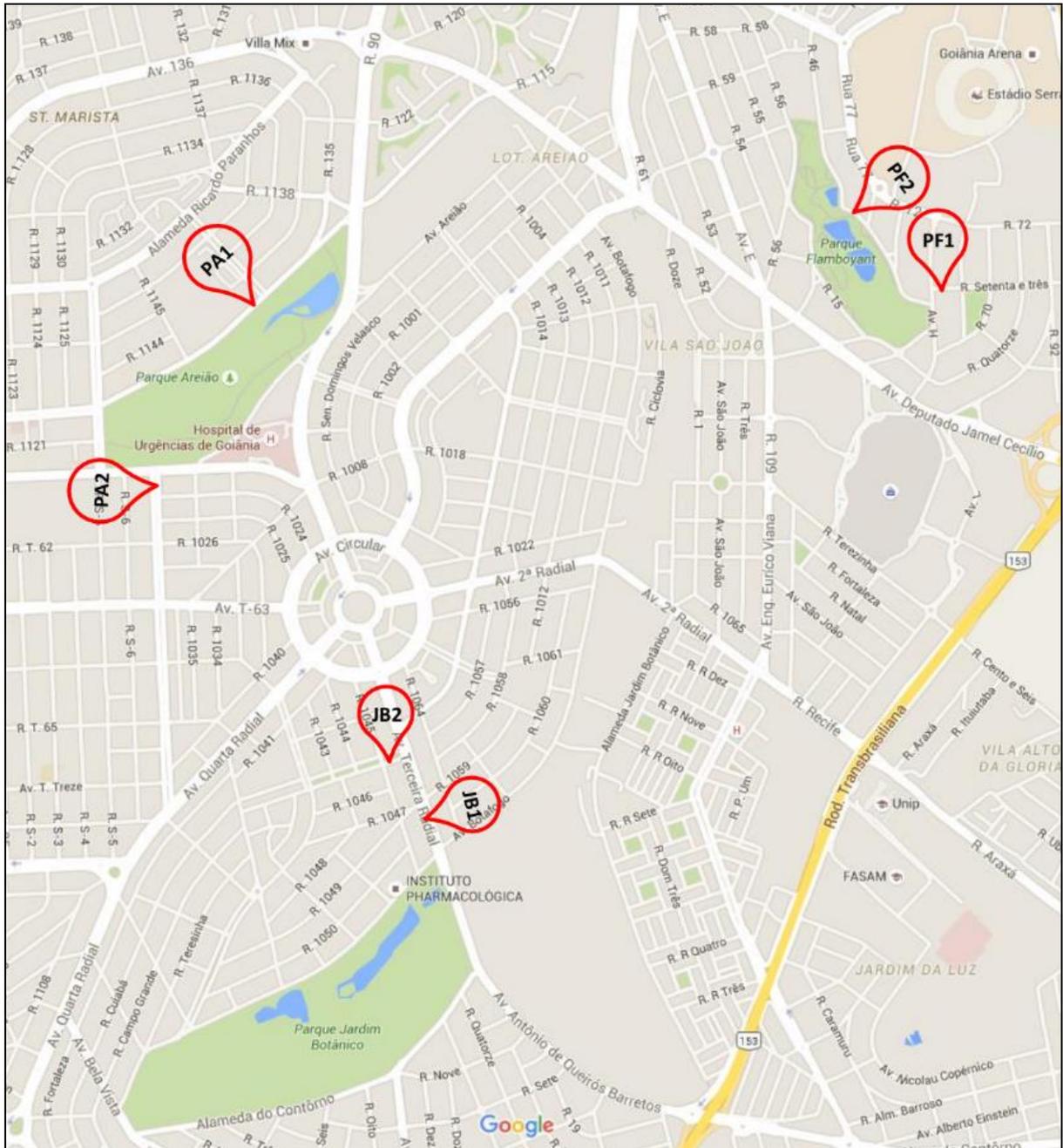


Figura 17 - Rua Castorina B. Alves (PF1).



Figura 18 - Rua 46 (PF2).

Na Figura 19 destacam-se as localizações dos pontos de coletas representados de acordo com o critério de identificação das amostras e a ordem de envio ao laboratório (cada rua foi codificada de acordo com a região a que pertence e a ordem de realização da coleta na região).



PA1- Parque Areião 1 Av. Americano do Brasil	JB1- Jardim Botânico 1 Av. 3ª Radial	PF1- Parque Flamboyant 1 Rua Castorina Bitencourt Alves
PA2- Parque Areião 2 Rua S-6	JB2- Jardim Botânico 2 Al. João Elias da Silva Caldas	PF2- Parque Flamboyant 2 Rua 46

Figura 19 - Pontos de coletas dos sedimentos.

Na escolha dos 06 (seis) pontos de coletas foram observados aspectos estruturais e de conservação homogêneos para a pavimentação, de forma que as amostras não sofressem interferências além dos parâmetros adotados na pesquisa. Todas as ruas possuíam sarjetas e meio fio executados em concreto e apresentavam boas condições de conservação do asfalto, sem a presença de desgastes excessivos e/ou buracos, que pudessem alterar o volume de retenção de sedimento e/ou causar obstáculos à drenagem superficial.

4.2 PARÂMETROS ADOTADOS NA ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE SEDIMENTOS NAS VIAS

Para a estimativa de geração da massa de sedimentos em cada rua do experimento foram adotados os parâmetros de fluxo de veículos, declividade, frequência de varrição, taxa de ocupação das ruas, características de urbanização e os dados de precipitação entre os eventos de coletas das amostras.

4.2.1 Fluxo de veículos das vias

O fluxo de veículos das vias foi definido por contagem volumétrica, com base no Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2006). No Quadro 2 estão descritos os resultados da classificação do fluxo em cada via, obtido pela média dos valores de pico apontados nas contagens volumétricas.

Quadro 2 - Contagem volumétrica e classificação do fluxo de veículos.

<i>Período de Análise</i>	<i>VOLUME HORA DE PICO (VHP) - PONTOS DE COLETA</i>					
	PA1	PA2	JB1	JB2	PF1	PF2
Manhã	668	85	630	375	1025	714
Almoço	597	93	695	290	649	246
Tarde	606	82	812	347	702	398
Média dos 3 Períodos	624	87	712	337	792	453
Classificação de Fluxo	Alto	Baixo	Alto	Médio	Alto	Médio
Legenda: Faixa de classificação de fluxo de veículos. Média dos volumes de hora de pico (VHP)			Baixo < 250	250 < Médio < 500	Alto > 500	

A contagem volumétrica visa determinar a quantidade, o sentido e a composição do fluxo de veículos que passa por um ou vários pontos selecionados do sistema viário, num determinado tempo. A contagem volumétrica que gerou os dados para montagem do Quadro 2 está discriminada no apêndice A.

4.2.2 Taxa de ocupação das áreas de influências das vias

A taxa de ocupação de cada rua foi calculada utilizando-se os valores das áreas de influências dos lotes apontadas nos mapas fornecidos pela Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos de Goiânia. Foram consideradas as áreas ocupadas (edificações prontas ou em execução) e as áreas desocupadas (lotes baldios) no período da realização do estudo.

Na Tabela 5 estão descritas todas as áreas dos lotes que compunham as áreas de influências referentes a cada rua, utilizadas no cálculo da “taxa de ocupação” por rua.

Tabela 5 – Áreas dos lotes localizados em cada rua do estudo.

Pontos de Coletas	Nº das Quadras	Área Construída (m²)	Lotes Baldios (m²)
PA1	253	7.056,89	508,90
	255	10.599,55	0,00
	263	6.234,21	2.641,74
	TOTAL	23.890,65	3.150,64
PA2	S-27	4.571,61	0,00
	S-28	5.178,07	0,00
	S-33	5.526,46	1.031,87
	S-34	4.325,37	0,00
	TOTAL	19.601,51	1.031,87
JB1	86	3.030,29	0,00
	92	6.363,16	0,00
	96	3.218,89	0,00
	106	3.268,56	934,63
	TOTAL	15.880,90	934,63
JB2	95	6.410,21	0,00
	96	1.741,31	0,00
	TOTAL	8.151,52	0,00
PF1	C-12, C-13 e C-14	1.465,17	2.972,65
	C-16 e C-17	1.972,10	1.675,23
	C-20 e C-21	1.675,23	1.532,87
	C-26 e C-27	2.638,00	0,00
	TOTAL	7.750,50	6.180,75
PF2	C-2	4.039,38	6.026,61
	C-6	2.952,56	0,00
	TOTAL	6.991,94	6.026,61

A taxa de ocupação de cada rua do estudo foi descrita como um percentual, calculado como a fração entre o somatório das áreas ocupadas pela área total (áreas ocupadas + áreas desocupadas).

No Quadro 3 estão descritas as áreas construídas e as áreas dos lotes baldios, com seus respectivos percentuais, vinculadas à cada rua do experimento.

Quadro 3 - Taxa de ocupação das áreas de influência das ruas do experimento.

Estágio de ocupação das ruas do experimento	PA1	PA2	JB1	JB2	PF1	PF2
	(m ²)					
Lotes Baldios	3.150,64	1.031,87	934,63	0,00	6.180,75	6.026,61
% Lotes Baldios	11,65%	5,00%	5,56%	0,00%	44,37%	46,29%
Área Construída	23.890,65	19.601,51	15.880,90	8.151,52	7.750,50	6.991,94
Área total de influência das ruas do estudo	27.041,29	20.633,38	16.815,53	8.151,52	13.931,25	13.018,55
Taxa de ocupação das ruas do experimento	88,35%	95,00%	94,44%	100,00%	55,63%	53,71%

4.2.3 Declividade das vias

As declividades de cada rua do estudo estão descritas no Quadro 4 e foram determinadas por meio do MUBDG, com os dados vetoriais manipulados na plataforma ArcGis.

4.2.4 Frequência de varrição das vias

A frequência de varrição das ruas foi verificada a partir das planilhas fornecidas pela Companhia de Urbanização de Goiânia (COMURG, 2015 e 2016). As programações de varrição foram checadas nos pontos de coletas, nas datas apontadas nas planilhas e por visitas ao departamento de limpeza urbana da COMURG. As planilhas oficiais com as programações das varrições das ruas encontram-se disponíveis no Anexo 1 desta pesquisa.

A Tabela 6 apresenta o resumo das planilhas de varrição fornecidas pela COMURG (2015 e 2016).

Tabela 6 - Frequência de varrição das ruas do experimento.

Nome da rua	Ponto de Coleta	Região	Setor	Circuito	Frequência
Av. Americano do Brasil	PA1	02 - Sul	Marista	10 - 02	Diária Diurna
Rua S-6	PA2	02 - Sul	Pd. Ludovico	06 - 02	Diária Diurna
Av. 3ª Radial	JB1	02 - Sul	Pd. Ludovico	09 - 02	(3x) por semana Noturna
Al. João Elias da S. Caldas	JB2	02 - Sul	Pd. Ludovico	49 - 02	(3x) por semana Noturna
Rua Castorina B. Alves	PF1	02 - Sul	Jd. Goiás	08 - 02	(3x) por semana Diurna
Rua 46	PF2	02 - Sul	Jd. Goiás	08 - 02	(3x) por semana Diurna

4.2.5 Características de urbanização das vias

As características de urbanização foram levantadas durante as campanhas de coleta, considerando todos os imóveis existentes nas vias e a destinação dada a cada um deles por ocasião das coletas, de setembro/2015 a junho/2016. As características predominantes de cada uma das ruas do experimento foram assim classificadas:

- PA1. Residencial/Comercial: casas, prédios, clínicas e laboratórios;
- PA2. Residencial/Comercial: casas, prédios, hospitais, clínicas e laboratórios;
- JB1. Residencial/Comercial: casas, oficinas, serralherias, posto de gasolina e pontos comerciais;
- JB2. Residencial: basicamente casas residenciais e alguns comércios;
- PF1. Residencial: edifícios residenciais;
- PF2. Residencial: edifícios residenciais.

No Quadro 4 estão as informações complementares, que juntamente com os valores das massas coletadas dos sedimentos nas campanhas de campo, serviram de base para as análises de quantificação, estimativas de massa e caracterização dos sedimentos coletados. Também são apresentados os parâmetros e características de cada rua do estudo e os dados da localização geográfica de cada ponto de realização das coletas.

Quadro 4 - Parâmetros e características das ruas do experimento.

Pontos de Coletas	Nome da Rua	Características de Urbanização	Arborização	Características das Calçadas	Declividade	Frequência de Varrição	Fluxo Médio (veículos/hora)	Eixos	Coordenadas
PA1	Av. Americano do Brasil	Residencial	Vegetação abundante em função da proximidade com o parque Areião. Árvores de grande porte.	Calçada impermeabilizada em asfalto, com pequena faixa de grama junto ao meio fio, com largura de 50 cm em média.	1,14%	Diária	624	Lat	16° 42' 18" S
		Comercial						Long	49° 15' 20" W
PA2	Rua S-6	Residencial	Presença de árvores de pequeno porte a cada 5 metros de distância entre elas.	Calçada impermeabilizada em concreto	3,85%	Diária	87	Lat	16° 42' 36" S
		Comercial						Long	49° 15' 35" W
JB1	Av. 3ª Radial	Residencial	Vegetação abundante. Árvores de grande porte plantadas no canteiro central da avenida. Distância de 5 metros entre elas.	Calçada impermeabilizada em concreto	5,72%	3 vezes por semana	712	Lat	16° 43' 12" S
		Comercial						Long	49° 15' 02" W
JB2	Al. João Elias da Silva Caldas	Residencial	Presença de árvores de pequeno porte a cada 5 metros de distância e de vegetação rasteira na praça localizada em suas margens.	Calçada impermeabilizada em concreto	3,93%	3 vezes por semana	337	Lat	16° 43' 05" S
		Comercial						Long	49° 15' 06" W
PF1	Rua Castorina Bittencourt Alves	Residencial	Ausência de arborização	Calçada impermeabilizada em concreto	6,11%	3 vezes por semana	752	Lat	16° 42' 17" S
								Long	49° 14' 06" W
PF2	Rua 46	Residencial	Vegetação abundante em função da proximidade com o parque Flamboyant.	Calçada impermeabilizada em asfalto com pequena faixa de grama junto ao meio fio, com 50 cm de largura em média.	3,24%	3 vezes por semana	453	Lat	16° 42' 14" S
								Long	49° 14' 12" W

4.2.6 Dados de precipitação entre os eventos de coletas dos sedimentos

Os volumes das precipitações diárias de setembro de 2015 a junho de 2016 foram registrados pela estação meteorológica nº 19 e disponibilizados pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Goiás (UFG), situada na Praça Universitária, no setor Leste Universitário, local onde a estação está instalada, conforme ilustrado na Figura 20.



Figura 20 – Localização dos pontos de coletas e da estação meteorológica nº 19.

No Quadro 5 estão descritos os dias de execução dos eventos de coletas dos sedimentos e os dias de ocorrência das chuvas, com os respectivos valores de precipitações diárias.

Nas Figuras 21 e 22 ilustram as precipitações totais ocorridas na região metropolitana de Goiânia, com os dados fornecidos pelo INMET (2016), destacando-se as normais climatológicas, que apontaram para uma redução dos valores mensais das às séries históricas de precipitação durante o período da pesquisa.

Quadro 5 - Dias dos eventos de coleta do sedimento x Precipitação (mm).

Ano	Mês	Dia	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total Mensal (mm)		
2015	Setembro										23,2	0,2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	1 ^a		0,2				23,6		
	Outubro		0,2							0,2	1	2 ^a											2,2	0,4	1,8	1	3 ^a	0,4	0,2	0,6	0,2		12,8	19,0		
	Novembro		6,6	4,8			8,6	1	4 ^a	3,2						2,6	19,2	7,4			6,0	0,2	16,8	10,8	0,6	3,0	28,4			23,0	1	5 ^a	6,8		149,0	
	Dezembro								5,4		2,0		0,6			8,8	1	2	3	6 ^a	14,4	19,6	1,4	1,6	6,8	7,0		1,0	0,2	9,0	2,4	5,8	0,4		89,4	
2016	Janeiro		0,4	2,4	10,2	7,2	17,8	1,2	2,0	3,8	2,8	4,8	8,8	19,0																2,2	5,6	5		92,8		
	Fevereiro		3,4	2,4	2,8	2,4	2,2	1,6	1,4	1,2	1,8	2,4	2,2	1,8	1,8	1,6	1,6	1,6	1,4	1,0	0,8	0,6	0,8	0,8	0,4	0,2				3,6	3,2			45,0		
	Março		23,4	31,8	4,4	4,2	0,4	15,0	8,4	0,2			8,0	24,8	1,0	23,8									2,6		4,0	6,8	5,0	6,0	0,2	1	2	3	170,0	
	Abril		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	7 ^a							1,6			0,2	1			1,8
	Mai		2	3	4	5	6	7	8	8 ^a						12,6	1,4		1,2		18,0	1	2	3	4	5	6	7	8	9 ^a	9	10	11	12	33,2	
	Junho		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	10 ^a	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	11 ^a			0,0	

Legenda:	■ Dias de Coleta de Sedimento	■ Volume Diário de Precipitação (mm)	■ Nº dias sem chuva antes das coletas
-----------------	---	--	--

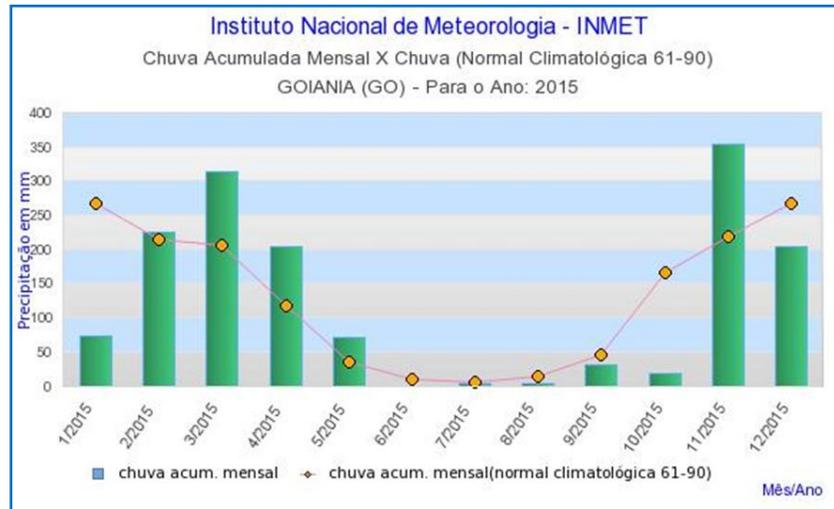


Figura 21 - Distribuição de chuvas (2015).

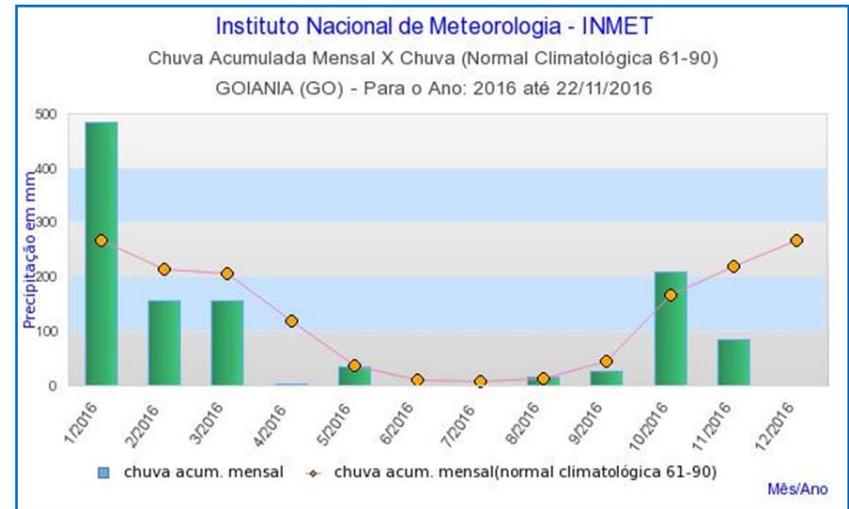


Figura 22 - Distribuição de chuvas (2016).

O Quadro 6 especifica os volumes de precipitação entre os eventos de coleta e o número de dias sem a ocorrência de chuvas antes das coletas. Foram descartados os volumes de precipitação abaixo de 1 mm para contagem dos dias antecedentes sem ocorrência de chuva.

O período amostral da pesquisa foi dividido em 2 etapas, período seco e chuvoso. Nos meses de janeiro a março de 2016 não ocorreram coletas de sedimento em função das constantes precipitações, que impediram a obtenção das amostras de acordo com o procedimento adotado.

Quadro 6 - Dias e volumes de precipitações entre as coletas.

Período	Nº da coleta	Data da coleta	Número de dias antecedentes sem ocorrência de chuvas	Volume de precipitação total entre as coletas (mm)
<i>Chuvoso</i>	1ª	26/09/2015	15	23,40
	2ª	10/10/2015	01	0,60
	3ª	24/10/2015	01	4,40
	4ª	07/11/2015	01	35,20
	5ª	29/11/2015	01	121,20
	6ª	17/12/2015	03	23,60
<i>Seco</i>	7ª	20/04/2016	22	0,00
	8ª	07/05/2016	08	1,80
	9ª	27/05/2016	08	33,20
	10ª	11/06/2016	22	0,00
	11ª	30/06/2016	40	0,00

4.3 COLETA DO SEDIMENTO SECO

O procedimento adotado para coleta do sedimento seco, visando a obtenção dos resultados quantitativos e qualitativos das amostras no meio urbano, foi realizado com a utilização do método de escovação manual e aspiração mecânica, conforme experimento realizado por Vaze e Chiew (2002), compreendendo os períodos de seca e o de chuva. Neste experimento a carga livre e a carga aderida ao pavimento do sedimento foram coletadas, acondicionadas e homogêneas em sacos plásticos e as análises laboratoriais efetuadas sobre a carga total coletada em cada rua, por evento de coleta.

4.3.1 Procedimento de amostragem

Para execução de coletas de sedimentos nos pavimentos asfálticos, armazenamento e acondicionamento, foram observadas recomendações descritas na NBR 10007:2004, que trata da “Amostragem de resíduos sólidos”.

Seguindo o item 2 da NBR 10007:2004, que define a caracterização de amostras, como:

- Amostra composta: soma de parcelas individuais do resíduo a ser estudada, obtidas em pontos, profundidades e/ou instantes diferentes, através dos processos de amostragem. Estas parcelas devem ser misturadas de forma a se obter uma amostra homogênea;

- Amostra representativa: parcela do resíduo a ser estudada, obtida através de um processo de amostragem, e que, quando analisada, apresenta as mesmas características e propriedades da massa total do resíduo;

- Amostra simples: parcela do resíduo a ser estudada, obtida através de um processo de amostragem em um único ponto ou profundidade;

- Amostrador: equipamento ou aparelho utilizado para coleta de amostras;

- Contêiner de resíduos: qualquer recipiente portátil no qual o resíduo pode ser transportado, armazenado, tratado ou de outra forma, manuseado.

Também seguindo requisitos gerais da NBR 10007:2004, que discorrem sobre a preparação e preservação das amostras, foram considerados a avaliação do local, forma de armazenamento, pontos de amostragem, tipos de amostradores, número de amostras a serem coletadas, tipo de amostra (composta), recipientes de armazenamento (saco do aspirador de pó) e tempo de armazenagem, assim como os tipos de equipamentos de proteção a serem utilizados durante as coletas.

Os pontos de amostragem, de acordo com o item 3.1.3.4 da NBR 10007:2004, são os locais de coleta, ou seja, as seis ruas pavimentadas. Esta norma orienta a divisão da superfície a ser coletada em uma rede quadriculada imaginária e de cada quadrícula retirar uma amostra representativa.

O item da norma 3.1.3.5, que discorre sobre o número de amostras a serem coletadas, especifica que para obtenção da concentração média do resíduo deve ser coletada uma ou mais amostras compostas, e para obtenção da faixa de variação da concentração do resíduo devem ser coletadas no mínimo três amostras simples.

Além das referências citadas acima, foram consultadas as orientações da NBR 10007:2004 (Amostragem de Resíduos Sólidos), NBR 13463:1995 (Coleta de Resíduos Sólidos), NBR 16434:2015 (Amostragem de Resíduos Sólidos, Solos e Sedimentos) e a NBR

16435:2015 (Controle da Qualidade da Amostragem para Fins de Investigação de Áreas Contaminadas), como forma de garantir que os procedimentos de coleta, transporte e armazenamento seguissem um parâmetro capaz de referendar os dados obtidos nas campanhas de campo.

As amostras coletadas foram utilizadas na quantificação, estimativa e caracterização do sedimento em vias pavimentadas da bacia do Córrego Botafogo.

4.3.2 Descrição do período e método de coleta do sedimento seco

O período de coleta do sedimento seco contemplou todo o ciclo entre a estação seca e a estação chuvosa, que são características bem definidas da região Centro Oeste, onde está inserida a bacia do Córrego Botafogo, que apresenta precipitações mal distribuídas, com a maior parte das chuvas no verão e o inverno com períodos muito secos.

No período de maio a setembro os índices pluviométricos mensais da região Centro Oeste são bastantes reduzidos, podendo chegar a zero, que resulta numa estação seca com período de duração de três a cinco meses. No início deste período, a ocorrência de nevoeiros é comum nas primeiras horas das manhãs, formando-se grande quantidade de orvalho sobre as plantas e umedecendo o solo. Já no período da tarde os índices de umidade relativa do ar caem bastante, podendo baixar a valores próximos a 15%, principalmente nos meses de julho e agosto.

A coleta do sedimento seco nas 06 (seis) ruas pavimentadas teve início no mês de setembro de 2015 (período crítico de seca) e se estendeu até meados de junho de 2016. Dentro deste espaço amostral, as coletas dos sedimentos secos ocorreram em intervalos nunca inferiores a 24 horas em relação à última precipitação, preservando assim a condição de se obter o sedimento seco e com periodicidade aproximada de 15 dias entre os eventos de coleta.

Para cada etapa de campo foi utilizado o método de varrição a seco e aspiração mecânica do sedimento localizado nas sarjetas das vias pavimentadas, de acordo com os experimentos realizados por Vaze e Chiew (2002), Dotto (2006), Silva (2014) e Santos (2015).

O horário de realização das coletas foi sempre entre às 7:00 e 11:00 horas, em função deste horário propiciar maiores períodos de sol. De acordo com os dados de precipitação do INMET (2016), os maiores volumes de chuvas de verão ocorrem no período da tarde, o que prejudicaria os procedimentos de coleta do sedimento seco.

Foram efetuadas onze (11) campanhas de coletas. Em cada campanha foram coletadas amostras de sedimentos em todas as seis (06) ruas escolhidas para o experimento, perfazendo um total de sessenta e seis (66) amostras de sedimento seco coletado em toda pesquisa.

4.3.3 Procedimento adotado para as coletas do sedimento seco

A coleta do sedimento foi realizada em três (03) seções por cada rua, em cada evento de coleta, seguindo a orientação do item 3.1.3.5.2 da NBR 10007:2004, que estabelece “para obtenção da faixa de variação da concentração do resíduo, devem ser coletadas no mínimo três amostras simples”.

As três seções de coleta foram posicionadas a cinco (05) metros uma da outra, marcados a partir da face externa do quadro, conforme experimento realizado por Santos (2015), sendo que a primeira seção a ser coletada, foi posicionada tendo como referência uma boca de lobo no ponto a ser coletado. Desta forma, facilitou-se a identificação física dos pontos de coletas em todos os eventos de campo, além de garantir o mesmo sentido de escoamento da captação pluvial, divergindo apenas na velocidade do escoamento em função da declividade das vias.

O quadro metálico foi posicionado junto ao meio fio, seguindo os estudos realizados por Buttler e Clark (1995) e Deletic *et al.* (2000), que indicaram a sarjeta como sendo o local de maior concentração do sedimento em vias pavimentadas no ambiente urbano.

Realizada a aspiração do sedimento presente nas três (03) seções de cada rua, o saco do aspirador de pó era retirado do equipamento, acondicionado em sacos plásticos hermeticamente vedados (para evitar contaminação da amostra) e enviado ao laboratório de Solos do IFG, campus Goiânia/GO. Para execução da próxima coleta (próxima rua) o saco do aspirador de pó era substituído por um novo.

Após a retirada das amostras do sedimento coletado de dentro do saco do aspirador de pó, realizada no laboratório de Solos do IFG, os sacos armazenadores do aspirador eram descartados. O material coletado era pesado, homogeneizado e armazenado em novos sacos plásticos e destinadas para os ensaios de granulometria. Uma pequena fração, aproximadamente 1 grama, era enviada para o laboratório responsável pelas análises dos metais presentes nos sedimentos coletados.

A área de coleta de cada uma das três seções, que compunham a amostra total de cada rua, tinha aproximadamente 0,50 m², delimitada por um quadro confeccionado em perfil metálico, com dimensões de (70,7 x 70,7) cm. Sendo assim, cada rua descrita no Quadro 4,

apresentou uma amostra total correspondente a 1,50 m² de área de varrição de sarjeta, coletadas em três seções distintas ao longo do pavimento, em cada evento.

O procedimento de coleta das amostras seguiu conforme descrição:

- Isolamento da área de coleta através da utilização de cones de sinalização;
- Posicionamento do quadro metálico a 5,0 m do eixo da boca de lobo para execução da aspiração 1^a seção;
- Aspiração da carga livre da 1^a seção (sedimento não aderido ao pavimento) dentro da área delimitada pelo quadro metálico (área aproximada 0,5 m²);
- Após aspiração da carga livre, escovação da 1^a seção delimitada pelo quadro metálico para desprendimento da carga fixa (sedimento aderido ao pavimento). Aspiração mecânica da carga fixa (recolhimento das partículas mais finas). Conclusão da aspiração da 1^a seção;
- Reposicionamento do quadro metálico a 5,0 metros da face externa da 1^a seção aspirada, para coleta do sedimento presente na 2^a seção da amostra (uso da trena metálica para determinação da distância). Repetição do procedimento utilizado na 1^a seção coletada, para obtenção das cargas livres e fixas da 2^a seção;
- Reposicionamento do quadro metálico a 5,0 metros da face externa da 2^a seção aspirada para obtenção das cargas livres e fixas dos sedimentos presentes na 3^a seção da amostra, repetindo os procedimentos adotados para a 1^a e 2^a seções coletadas. Conclusão da 3^a seção da amostra. Obtenção da amostra total composta pelas três seções do ponto de coleta.

Portanto, foram coletadas 03 (três) seções para compor uma única amostra do sedimento seco, para cada rua, e utilizado um único saco do aspirador de pó, que armazenou todo o material aspirado das três seções amostrais.

O recipiente contendo a amostra de cada rua foi retirado do equipamento, identificado (local, dia e hora da coleta) e armazenado dentro de um saco plástico, hermeticamente fechado para evitar perdas das amostras coletadas, absorção de umidade e contaminação da amostra por poeira ou outros materiais.

Ao final de cada dia de coleta haviam 06 (seis) amostras coletadas, identificadas e encaminhadas para o laboratório de Solos do Instituto Federal de Goiás, Campus Goiânia (IFG).

A Figura 23 ilustra o posicionamento do quadro de coleta em relação ao pavimento, ao meio fio e à calçada para realização das coletas de campo (vista em corte transversal à rua).

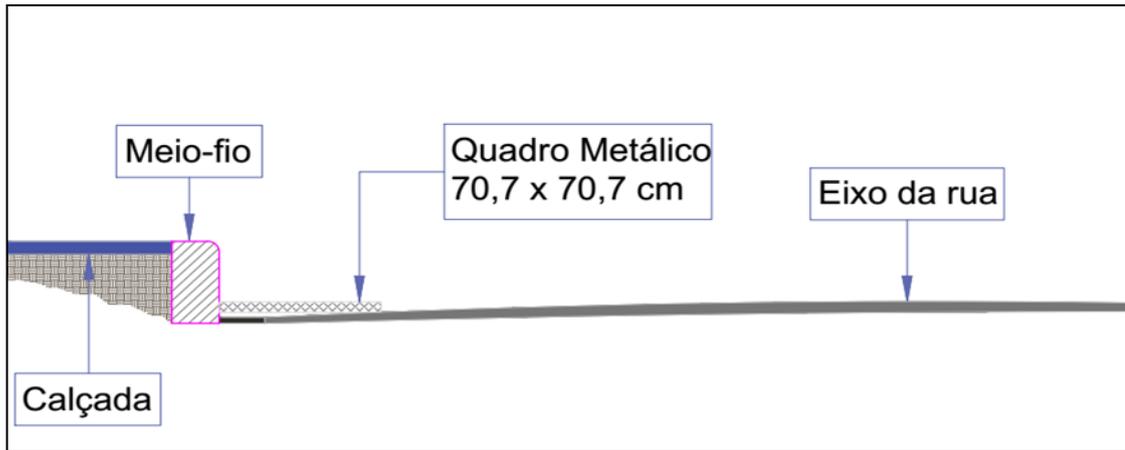


Figura 23 - Posição do quadro metálico em relação ao asfalto e meio fio (vista em corte).

A Figura 24 ilustra a sequência da coleta de campo, com o posicionamento do quadro metálico relativo às 3 seções coletadas por rua (vista em planta).

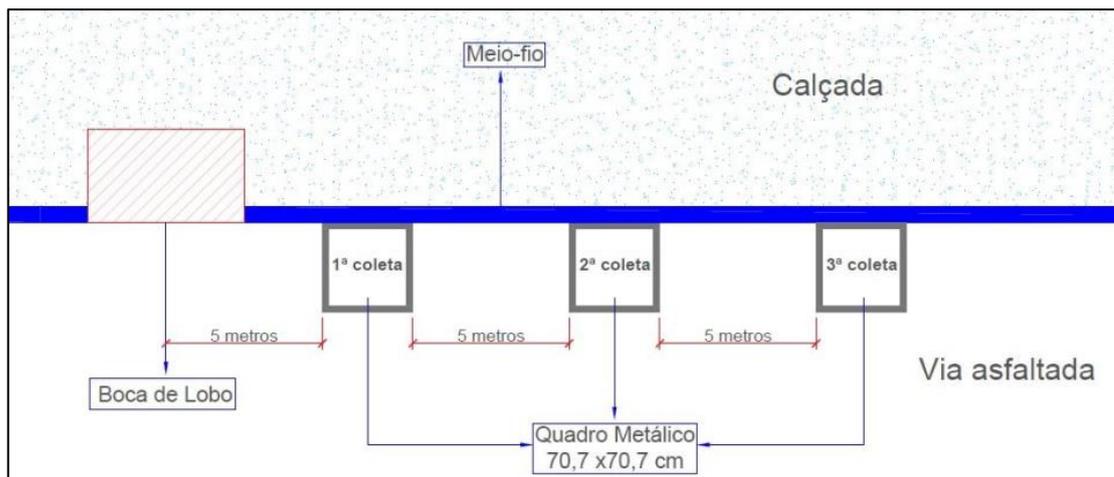


Figura 24 – Posição e distância entre os pontos de coleta (vista em planta).

Os equipamentos utilizados para a execução das coletas de sedimento são descritos a seguir e apresentados na Figura 25.

- Aspirador de água/pó Eletrolux-AQP 20, potência de 1200 W e grupo gerador da marca BRANCO, potência 2200 W;
- Quadro em perfil metálico com dimensões de (70,7 x 70,7) cm e trena metálica de 8 metros;
- Escova com pelo de malta para escovação do pavimento (obtenção da CF);
- Cone de sinalização e isolamento do local da coleta.



Figura 25- Equipamentos utilizados na execução das coletas dos sedimentos.

4.4 ANÁLISE DAS AMOSTRAS DOS SEDIMENTOS

Foram efetuadas análises laboratoriais do sedimento seco coletado nas vias pavimentadas descritas no Quadro 1, sendo:

- Análise granulométrica executada no laboratório de Solos do IFG, Campus Goiânia, utilizando-se os ensaios de peneiramento e sedimentação;
- Análise química dos sedimentos para detecção dos metais traço das amostras, realizada pelo laboratório Aqualit.

4.4.1 Análise granulométrica dos sedimentos

As amostras coletadas foram pesadas para determinação da massa total obtida em cada uma das 06 (seis) ruas descritas no Quadro 4, por cada evento realizado. A seguir foi efetuada a extração do material orgânico estranho às amostras, e preparadas as mesmas para ensaio conforme descrito na norma da ABNT NBR 6457:2016.

As amostras passaram por um período mínimo de secagem de 24 horas. Após esse período de 24 horas, foram executados os procedimentos de desmanche dos torrões (utilizando-se o almofariz) e a passagem do material seco pela peneira de 2,0 mm, conforme descrito na ABNT NBR 7181:2016, que prescreve o método de análise granulométrica de solos por peneiramento ou por uma combinação de sedimentação e peneiramento.

O sedimento retido na peneira de 2,0mm correspondente à fração grossa, foi submetido ao processo de lavagem visando eliminar as partículas finas aderentes. Posteriormente secado em estufa a 105°C por 24 horas, até atingir a constância da massa. Na sequência, foi realizado novo procedimento de peneiramento, utilizando-se as peneiras de malha 19mm, 9,5mm e 4,8mm. O material “passante” na peneira de 2,0mm foi utilizado no ensaio de sedimentação.

A Figura 26 ilustra os equipamentos utilizados nas análises granulométricas dos sedimentos.

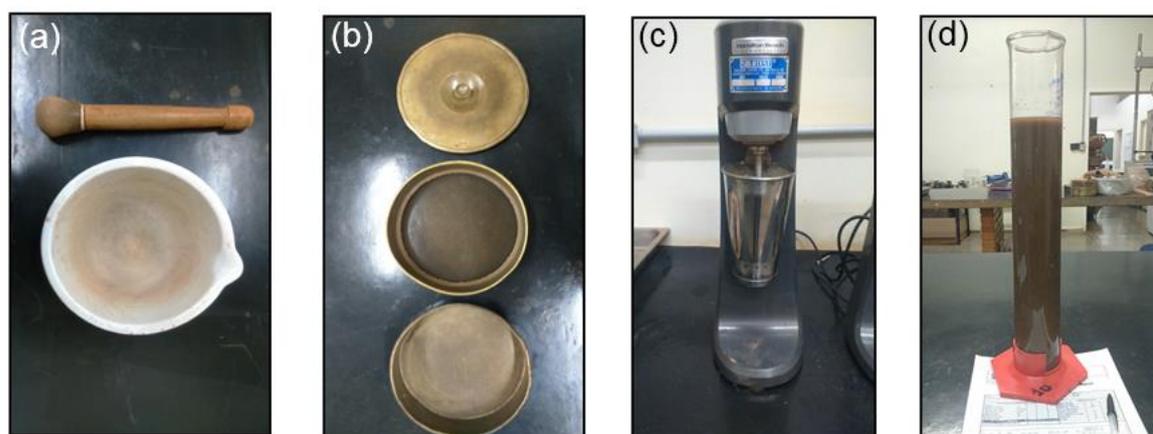


Figura 26 - (a) Almofariz; (b) Jogo de peneiras; (c) Agitador; (d) Ensaio de sedimentação.

4.4.2 Análise dos metais traço

Após a homogeneização das amostras dos sedimentos secos, no laboratório de solos do IFG, uma pequena parte (no máximo 1 g por amostra) foi encaminhada ao laboratório para execução dos ensaios de verificação da presença dos metais traço e suas concentrações. Também foram analisados os recipientes utilizados na coleta e armazenamento dos sedimentos (saco descartável do aspirador de pó e o saco plástico para preservar as amostras retiradas de dentro do saco descartável do aspirador), para determinar a amostragem do branco das coletas.

Este procedimento tem por finalidade detectar a presença de possíveis contaminantes nos recipientes utilizados no processo de coleta e armazenagem, que podem alterar os resultados das análises.

As amostras foram analisadas por Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP OES), técnica analítica usada para determinar quantitativa e qualitativamente a presença de metais (metais, semimetais e terras raras) em diversos tipos de amostras, baseada na detecção da radiação eletromagnética emitida por átomos neutros ou íons excitados nas regiões do espectro eletromagnético visível e ultravioleta. As amostras passaram pelo processo de digestão ácida (ou abertura) para remover os compostos orgânicos presentes.

A quantidade de amostra necessária depende da concentração dos elementos cujas concentrações serão determinadas. Para quantificação de elementos acima de 1% são solicitados no mínimo 50 mg de amostra, já para elementos presentes em níveis de traços são necessários aproximadamente 500 mg, sendo essencial que as amostras estejam homogêneas.

Para identificação dos metais traço, as amostras de sedimentos enviadas ao laboratório foram analisadas de acordo com o método 3050 B, USEPA (*United States Environmental Protection Agency*), utilizando-se o equipamento denominado Perkin Elmer Optima 7300 DV, ilustrado pela Figura 27.

	Parâmetros do Plasma	
	Potência de Rádio Frequência	1500 W
	Fluxo do Argônio do Plasma	15,0 L min ⁻¹
	Fluxo Auxiliar	1,0 L min ⁻¹
	Fluxo do Argônio de Nebulização	0,4 L min ⁻¹
Taxa de Aspiração da Amostra	0,5 L min ⁻¹	

Figura 27 – Equipamento ICP OES, modelo Perkin Elmer Optima 7300 DV.

O princípio fundamental da Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente consiste na propriedade dos átomos emitirem radiação eletromagnética quando submetidos a determinadas condições. Diferentemente da técnica de absorção atômica, o plasma, que pode ter a temperatura variando entre 7000K (6.726,85°C) e 10000K (9.726,85°C), possui energia suficiente para promover a excitação da maioria dos elementos químicos existentes, possibilitando a quantificação de uma ampla faixa de analitos (substâncias ou componentes químicos, em uma amostra, que são alvos de análises em um ensaio).

4.5 QUANTIFICAÇÃO E ESTIMATIVA DO SEDIMENTO

A partir dos dados das 66 amostras coletadas foram determinadas as massas médias por área coletada (M_m) presentes em cada rua, por campanha de coleta, utilizando-se a média aritmética, conforme demonstrado na Equação 7.

$$M_m = M_r / N \cdot A_{qc} \quad (7)$$

Onde:

M_m	massa média por área coletada por rua/dia/cada campanha (g/m^2);
M_r	massa total coletada por rua (g) (Σ massas das 3 coletas/rua/dia de coleta);
N	número de seções coletadas por evento por rua ($N=3$);
A_{qc}	área do quadro metálico utilizado nas coletas ($A_{qc} = 0,499 \text{ m}^2$).

O cálculo da estimativa do sedimento presente nas 6 ruas foi executado com a utilização do software Action Stat®, de domínio público, que utiliza a plataforma “R” integrada ao software Microsoft Excel®, com o emprego da técnica de regressão linear múltipla. Neste cálculo foram utilizados os valores das massas médias calculadas pela Equação 7 em conjunto com os dados dos parâmetros que influenciaram a geração e acúmulo do sedimento.

A técnica da regressão linear múltipla é uma coleção de técnicas estatísticas para construir modelos que descrevem de maneira razoável, relações entre diversas variáveis explicativas de um determinado processo. A finalidade é encontrar a relação matemática entre as variáveis do estudo e o restante das variáveis que descrevem o sistema. A principal aplicação desta técnica, após obter a relação matemática, é estimar valores para a variável resposta utilizando de alterações nas variáveis independentes (LAPPONI, 2005).

O software Action Stat® gera como resultado uma análise de variância (Tabela ANOVA), usada para comparar a distribuição de três ou mais grupos de dados independentes. Os dados são gerados por meio de testes de hipóteses sobre os parâmetros do modelo, para verificação da adequabilidade do mesmo.

Para verificação da qualidade de ajuste da distribuição amostral o sistema apresenta 3 opções para o teste de normalidade, Anderson-Darling, Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk, que são selecionados na operação e lançamento de dados no sistema. Para este trabalho foi selecionado o teste Kolmogorov-Smirnov, onde a distribuição normal modela a amostra coletada.

5 RESULTADOS

As massas coletadas utilizando-se o método de varrição e aspiração, no período amostral de setembro de 2015 a junho de 2016, em conjunto com a utilização do software e as análises laboratoriais, possibilitou quantificar, estimar e caracterizar os sedimentos presentes nas vias urbanas pavimentadas da região da Bacia do Córrego Botafogo.

O parâmetro frequência de varrição das ruas não se mostrou satisfatório para obtenção de resultados, em função do não cumprimento efetivo das rotinas definidas nas planilhas de varrição coordenadas pela COMURG, no período da execução do experimento. Dentre outros fatores que também prejudicaram a consideração deste parâmetro destacaram-se a falta de estrutura do setor de limpeza da prefeitura municipal de Goiânia (ferramentas e equipamentos inadequados e ineficazes no processo de remoção do sedimento depositado nas ruas e avenidas).

5.1 QUANTIFICAÇÃO DO SEDIMENTO COLETADO

As amostras coletadas geraram os dados da Tabela 7, que apresenta as massas obtidas por campanha de coleta, em cada rua escolhida, das três regiões definidas para o desenvolvimento da pesquisa, Parque Areião, Jardim Botânico e Parque Flamboyant.

Tabela 7 - Massa coletada do sedimento seco em vias urbanas (g).

Nº Eventos de Coleta	Data das Coletas	Parque Areião		Jardim Botânico		Parque Flamboyant	
		PA1	PA2	JB1	JB2	PF1	PF2
01	26/09/2015	925,54	313,55	531,45	213,85	742,47	337,86
02	10/10/2015	631,10	931,04	581,73	57,13	403,66	322,26
03	24/10/2015	852,13	490,45	416,90	179,21	532,90	648,20
04	07/11/2015	476,00	91,26	92,59	3,65	657,23	292,15
05	30/11/2015	858,70	20,80	180,20	106,10	79,90	327,60
06	17/12/2015	907,60	274,80	122,90	175,30	221,00	345,20
07	20/04/2016	293,20	348,80	135,90	246,80	376,70	154,20
08	08/05/2016	551,01	151,70	229,40	145,80	621,07	454,50
09	27/05/2016	1.062,40	157,70	126,40	50,00	253,20	404,80
10	11/06/2016	540,90	375,30	222,20	100,30	1.023,00	568,00
11	30/06/2016	300,69	175,75	487,92	158,32	508,69	2.152,90
Massa Total Coletada (Mf)		7.399,27	3.331,15	3.127,59	1.436,46	5.419,82	6.007,67

Análises iniciais demonstraram que PA1, PF1 e PF2 apresentaram os maiores resultados totais de acumulação do sedimento. Analisando as 66 amostras de sedimentos coletadas, nas 06

ruas do experimento, verifica-se que estes três pontos são responsáveis pelos 20 maiores valores de massas coletadas. Apesar desses resultados, essas três ruas possuem características distintas.

PA1 apresentou alto fluxo de veículos, baixa declividade e taxa de ocupação urbana de 88,35%. PF1 registrou alto fluxo de veículos, alta declividade e taxa de ocupação de 55,63%. PF2 mostrou valores médios para a declividade e fluxo de veículos, com taxa de ocupação dos lotes de 53,71%, bem semelhante a PF1, conforme dados descritos nos Quadros 3 e 4.

PA2 e JB1 obtiveram resultados da massa total coletada ao longo do estudo praticamente iguais, mas com diferentes valores entre os eventos de coletas. Essas ruas também apresentaram taxas de ocupação urbana semelhantes, com valores para PA2 (95,00%) e JB1 (94,44%).

Na distribuição apresentada na Tabela 7, destaca-se o valor encontrado para a massa coletada na campanha do dia 30/06/2016 em PF2, que apresentou uma enorme distorção em relação aos valores das séries coletadas (outliers). Esta distorção ocorreu em função dos serviços de escavações nos terrenos e execução de fundações das obras localizadas na região do Parque Flamboyant, que é uma região de grande expansão urbana, com destaque para o segmento da construção civil. Esta movimentação de terra foi constatada no local durante a realização das coletas de campo, na data especificada.

Outras observações preliminares ainda podem ser feitas:

- PA1 e PF2 apresentaram as maiores massas totais coletadas. As maiores quantidades de massas totais registradas nestes pontos podem ser justificadas pelo fato de que estas duas ruas estão localizadas na cota mais baixa de suas micro bacias, posicionadas na linha de divisa dos parques Areião e Flamboyant, respectivamente. Nestas ruas foram observadas grande volume de obras da construção civil, pois as duas regiões registravam franca expansão imobiliária. PF2 apresentou a menor taxa de ocupação de 37,74%, pois ainda possuía grandes áreas desocupadas (lotes baldios).
- JB1 e PF1 possuíam semelhanças quando analisados os parâmetros declividade e fluxo de veículos, mas apresentaram taxas de ocupação bastante heterogêneas. Apesar de JB1 superar PF1 na taxa de ocupação do solo, PF1 apresentou valores totais de acumulação 73% superiores aos de JB1. As obras da construção civil tiveram uma grande influência como agentes na geração e acúmulo do sedimento em PF1;
- JB2 apresentou as menores taxas de acúmulo de sedimentos durante todo o período da pesquisa, apesar de apresentar parâmetros semelhantes a PF2, principalmente quando analisadas a declividade das vias e o fluxo de veículos. JB2 não registrou atividade comercial e nenhuma atividade da construção civil durante a pesquisa. Sua área é totalmente ocupada por residências unifamiliares.

Aplicando-se os valores das massas coletadas da Tabela 7, na Equação 7, determinou-se as massas médias dos sedimentos das áreas coletadas, presentes nas 11 campanhas, para todos os pontos de coleta, conforme especificado na Tabela 8.

Tabela 8 - Massa média coletada por campanha (g/m²).

Nº Eventos de Coleta	Data das Coletas	Nº de dias sem precipitação antes da coleta	Precipitação entre as coletas (mm)	PA1	PA2	JB1	JB2	PF1	PF2
				Mm (g/m ²)					
01	26/09/2015	15	23,40	617,21	209,10	354,41	142,61	495,13	225,31
02	10/10/2015	01	0,60	420,86	620,88	387,94	38,10	269,19	214,90
03	24/10/2015	01	4,40	568,26	327,07	278,02	119,51	355,37	432,26
04	07/11/2015	01	35,20	317,43	60,86	61,75	2,43	438,29	194,83
05	29/11/2015	01	121,20	572,64	13,87	120,17	70,75	53,28	218,47
06	17/12/2015	03	23,60	605,25	183,26	81,96	116,90	147,38	230,20
07	20/04/2016	22	0,00	195,53	232,60	90,63	164,58	251,21	102,83
08	07/05/2016	08	1,80	367,45	101,16	152,98	97,23	414,17	303,09
09	27/05/2016	08	33,20	708,48	105,17	84,29	33,34	168,85	269,95
10	11/06/2016	22	0,00	360,71	250,28	148,18	66,89	682,21	378,78
11	30/06/2016	40	0,00	200,52	117,20	325,38	105,58	339,23	364,21

Em PF2, o valor da massa média adotada para coleta realizada em 30/06/2016, foi calculada pela a média dos valores de todas as coletas realizadas nesta rua, para corrigir a distorção verificada nesta amostragem, conforme descrito anteriormente.

No Quadro 7 as massas médias foram ensaiadas utilizando análise estatística para melhor comparação dos resultados. Foram comparados os dados estatísticos das massas médias das 11 campanhas e das massas médias entre os períodos chuvoso e seco.

Quadro 7 - Comparativo das menores e maiores massas coletadas.

Valores das Massa médias (g/m ²)		PA1	PA2	JB1	JB2	PF1	PF2
Análise Global das 11 Amostras	Desvio padrão	175,52	166,38	122,25	49,60	177,94	95,34
	Média	448,58	201,95	189,61	87,08	328,57	266,80
	Mediana	420,86	183,26	148,18	97,23	339,23	230,20
	% da Média / Mediana	6,59%	10,20%	27,96%	-10,43%	-3,14%	15,90%
Média dos Períodos	Chuvoso	516,94	235,84	214,04	81,72	293,11	252,66
	Seco	366,54	161,28	160,29	93,52	371,13	283,77
	% Chuvoso / Seco	41,03%	46,23%	33,53%	-12,62%	-21,02%	-10,96%

Analisando-se o desvio padrão nos dados das 11 coletas, verifica-se que a série mais homogênea das massas coletadas ocorreu em JB2, apresentando o menor desvio padrão entre todas as ruas, em função da similaridade dos baixos valores coletados durante o estudo.

PF2 também registrou um desvio padrão relativamente baixo, se comparado aos demais pontos de coleta, também justificado pela sua localização, que favorece a acumulação em todos períodos do ano sem grandes alterações de volume (valores mais homogêneos). A partir da análise das médias calculadas separadamente para os períodos chuvoso e seco, também descritas no Quadro 7, observa-se que PF2 foi o local que registrou a menor variação das médias dos valores das massas coletadas nos dois períodos.

Na Figura 28 estão ilustrados os valores médios das massas médias dos sedimentos coletadas em cada rua, nos dois períodos do experimento (chuvoso e seco). Verifica-se que quase todas as ruas apresentaram maiores valores médios de massas coletadas no período chuvoso, exceto JB2, que registrou maiores valores médios no período seco. Os valores das massas coletadas apresentaram uma tendência de redução das cargas durante o período chuvoso (de setembro a dezembro/2015) e uma tendência de acréscimo no período seco (de abril a junho/2016).

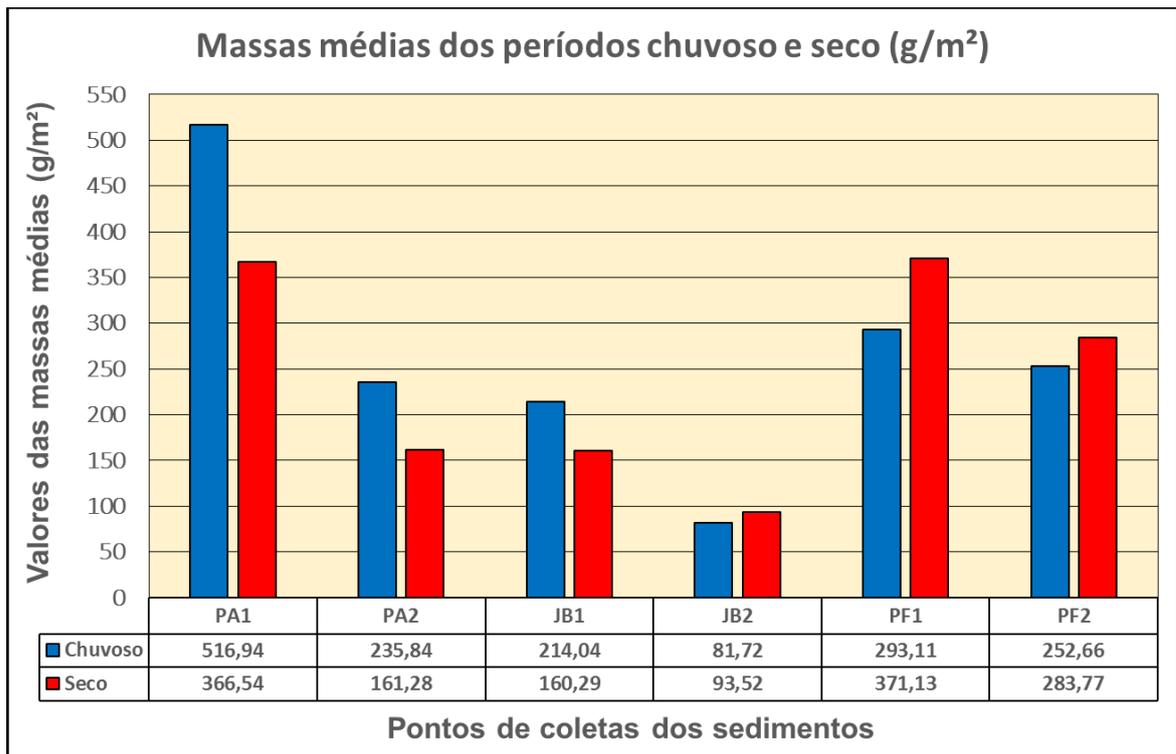


Figura 28 - Massas médias coletadas nos períodos chuvoso e seco.

Os resultados das massas obtidas com as coletas realizadas nas ruas deste experimento e os valores apresentados em outros estudos sobre sedimentos, permitem as seguintes comparações:

- Os resultados apresentados por Nelson e Booth (2002), na Tabela 2, apresentaram uma grande diferença com os obtidos nesta pesquisa, talvez explicados pela diferença entre as regiões estudadas, que sofrem com as interferências das diversas condições como a qualidade do pavimento, do clima da região, do grau de desenvolvimento urbano e do tipo de urbanização de cada região.

- Já os valores descritos por Deletic *et al.* (2000) para a máxima quantidade de sólidos esperados na superfície em um determinado ponto, apresentou resultado aproximado apenas entre a rua Comercial Street, Dundee, Escócia, onde a massa média registrada foi de 100 g/m², e a rua JB2, com massa média de 87,08 g/m². A característica comum entre estas vias está no tráfego intenso de veículos, pois JB2 sofre as interferências do alto tráfego de JB1, que é rota de acesso à BR 153, na região sul de Goiânia.

- De acordo com Silva (2014), estudos realizados por Viklander (1998) utilizando a técnica de escovação (com máquina de limpeza) registrou quantitativos de massas médias de sedimentos entre 62,0 e 872,0 g/m² para diferentes usos do solo e Sutherland (2003), utilizando a coleta de amostras na sarjeta com escovação simples, encontrou uma variação de 300,0 a 600,0 g/m². Esses valores aproximaram-se dos resultados obtidos nesta pesquisa, que apresentaram uma variação da massa média coletada entre 87,08 e 448,58 g/m² (Quadro 7).

- Considerando os estudos de Deletic *et al.* (2000), que afirmaram que 90% das cargas do sedimento se encontram depositadas na sarjeta e 10% no eixo da via, as massas médias calculadas para o eixo das ruas nesta pesquisa apontam para valores entre 8,71 e 44,86 g/m², aproximando-se bastante dos valores apresentados por Vaze e Chiew (2002) na Austrália, que coletou os sedimentos em vários pontos na faixa central ao longo da rua e encontrou uma variação da carga de sedimento de 5,0 a 55,0 g/m². A diferença entre esses resultados pode ser explicada pela utilização do sistema de varrição mecanizada das ruas onde foram realizados os estudos de Vaze e Chiew (2002) e a varrição manual aplicada às ruas desta pesquisa.

- Dotto (2006) em Santa Maria/RS, registrou uma variação da carga média coletada na rua Marquês do Herval de 4,0 a 350,0 g/m² e de 10,0 a 240,0 g/m² na rua Rigoberto Duarte, variações bem acima dos apurados nesta pesquisa. Estas variações podem estar relacionadas às diferentes taxas de ocupação das áreas estudadas, tráfego de veículos, declividade das vias e principalmente pela diferença do clima e das características de precipitações das regiões onde foram realizados cada experimento, já que as precipitações registradas na região sul do Brasil são mais homogêneas, enquanto na região Centro-Oeste a distribuição das chuvas é bem definida em dois períodos, o chuvoso e o seco.

5.2 ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DO SEDIMENTO

Visando estabelecer uma estimativa do sedimento em cada uma das vias, na data da realização das coletas, foram utilizados os dados das massas médias coletadas descritas na Tabela 8, em conjunto com os parâmetros de declividade, fluxo de veículos, taxa de ocupação das áreas, número de dias sem precipitação entre as coletas e o volume de precipitação entre as coletas, modelados pelo software Action Start®.

Com a modelagem dos dados, empregando-se a técnica da regressão linear múltipla, foram gerados os resultados estimados dos limites inferiores, limites superiores e dos valores ajustados das massas médias, referente a cada ponto de coleta.

Os valores ajustados das massas médias estimadas, modelados pelo software Action Start®, estão descritos na Tabela 9 e demonstraram uma variação significativa ao longo de toda realização do estudo.

Tabela 9 - Valores ajustados das massas médias estimadas.

Nº Evento Coleta	Período	Data das Coletas	PA1	PA2	JB1	JB2	PF1	PF2
			<i>Mm</i> (g/m ²)					
01	<i>Chuvoso</i>	26/09/2015	402,53	116,00	198,67	170,71	275,54	322,54
02		10/10/2015	443,56	157,04	239,70	211,74	316,57	363,57
03		24/10/2015	439,56	153,04	235,71	207,75	312,58	359,58
04		07/11/2015	407,18	120,66	203,32	175,36	280,20	327,20
05		29/11/2015	316,76	30,24	112,90	84,94	189,78	236,78
06		17/12/2015	416,94	130,42	213,08	185,12	289,95	336,95
07	<i>Seco</i>	20/04/2016	418,60	132,07	214,74	186,78	291,61	338,61
08		07/05/2016	433,77	147,24	229,91	201,95	306,78	353,78
09		27/05/2016	400,75	114,23	196,89	168,94	273,77	320,77
10		11/06/2016	418,60	132,07	214,74	186,78	291,61	338,61
11		30/06/2016	396,66	110,14	192,80	164,84	269,67	316,67

A planilha global com as massas médias ajustadas e seus limites inferior e superior, modelados pelo software Action Start® para todas as ruas está disponível no apêndice B.

Utilizando uma representação gráfica, o software gera o “Papel da Probabilidade”, que é uma técnica utilizada para verificar a adequação de um determinado modelo estatístico aos dados fornecidos pelo sistema.

Com esse recurso gráfico é possível visualizar em que medida os dados gerados estão bem ajustados à distribuição normal. A normalidade dos dados está relacionada com a linearidade do gráfico, ou seja, quanto "mais linear" for a distribuição gráfica, melhor será a normalidade dos dados, conforme ilustrado na Figura 29. Verifica-se que os pontos modelados pelo software se encontram próximos da reta, que é um bom indicativo da normalidade dos dados, que representam as massas médias estimadas para todos os eventos de coletas (66 amostras coletadas).

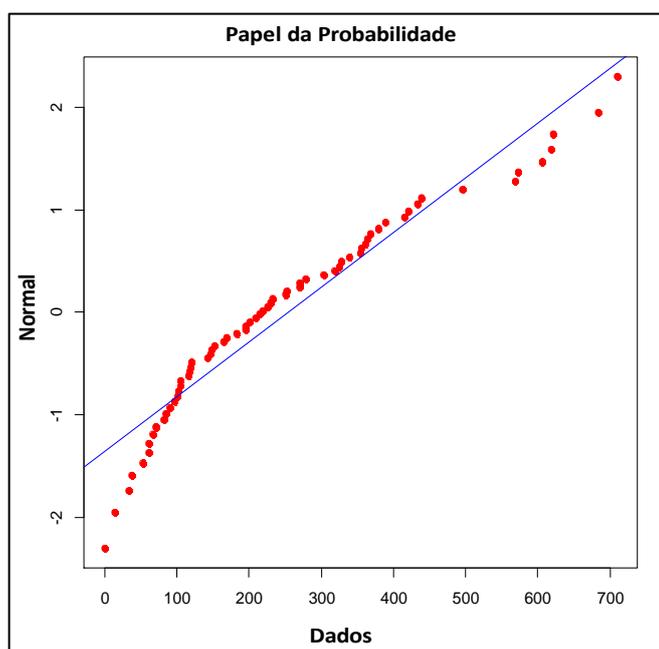


Figura 29 – Teste da normalidade dos dados de estimativa do sedimento.

Na Tabela 10 a área de coleta do sedimento foi definida como o produto da medida da aresta do quadro metálico utilizado nas coletas (0,707 m), pelo comprimento das sarjetas (igual a duas vezes o comprimento das ruas), pois a acumulação ocorre nos dois lados das vias. O comprimento das ruas foi obtido no MUBDG.

Tabela 10 - Área de sarjeta de cada rua da pesquisa.

Ponto de coleta	Comprimento da rua (m)	Largura da sarjeta (m)	Área de coleta do sedimento (m ²)
PA1	1000	0,707	1.414,00
PA2	400	0,707	565,60
JB1	800	0,707	1.131,20
JB2	550	0,707	777,70
PF1	450	0,707	636,30
PF2	580	0,707	820,12

Conforme demonstrado por Dotto (2006), a redistribuição dos sedimentos no decorrer dos dias secos, resulta em uma quantidade praticamente uniforme de sedimentos ao longo da superfície nos diferentes períodos. Tomando-se os valores ajustados das massas médias estimadas em cada ponto (Tabela 9), mais os valores das áreas de coletas ao longo das vias apresentados na Tabela 10, foram estimados os quantitativos das massas presentes em cada rua do experimento da data de cada coleta.

Na Tabela 11 estão descritos os valores das massas estimadas para todas as ruas do experimento nas datas das coletas de campo. Nesta estimativa foi levado em consideração os estudos de Delitic *et al.* (2000), que afirmaram que 90% das cargas do sedimento estão depositadas nas sarjetas das vias, descontando 10% dos valores calculados para as massas estimadas.

Tabela 11 – Estimativa de massa depositada nas ruas nas datas das coletas.

Nº Eventos de Coleta	Período	Pontos de Coleta	PA1	PA2	JB1	JB2	PF1	PF2
		Área de sarjeta (m ²)	1.414,00	565,60	1.131,20	777,70	636,30	820,12
		Data das Coletas	Massa estimada (kg)	Massa estimada (kg)	Massa estimada (kg)	Massa estimada (kg)	Massa estimada (kg)	Massa estimada (kg)
01	Chuvoso	26/09/2015	512,25	59,05	202,26	119,48	157,79	238,07
02		10/10/2015	564,47	79,94	244,03	148,20	181,29	268,36
03		24/10/2015	559,39	77,90	239,97	145,41	179,00	265,41
04		07/11/2015	518,18	61,42	207,00	122,74	160,46	241,51
05		29/11/2015	403,11	15,39	114,94	59,45	108,68	174,77
06		17/12/2015	530,60	66,39	216,93	129,57	166,05	248,71
07	Seco	20/04/2016	532,71	67,23	218,62	130,73	167,00	249,93
08		07/05/2016	552,01	74,95	234,06	141,35	175,68	261,13
09		27/05/2016	510,00	58,15	200,45	118,24	156,78	236,76
10		11/06/2016	532,71	67,23	218,62	130,73	167,00	249,93
11		30/06/2016	504,79	56,06	196,28	115,38	154,43	233,74

A Tabela 12 representa a Tabela Anova gerada pelo software Action Start®, que avaliou simultaneamente todos parâmetros das ruas do estudo (taxa de ocupação, fluxo de veículos e declividade) com os dados de precipitação para gerar a estimativa de massa dos sedimentos em cada rua.

Na análise dos dados da tabela ANOVA, uma característica é considerada mais significativa quando os valores dos parâmetros modelados pelo sistema se apresentam abaixo de 5%, ou seja, “p-valor” < 0,05. Com essa característica o intervalo de confiança atingido é de 95%.

Tabela 12 - Tabela Anova gerada pelo software Action Start®.

<i>PARÂMETROS</i>	<i>Estat. F</i>	<i>p-valor</i>
Taxa de Ocupação	7,0216	1,03%
Fluxo de Veículos	4,5658	3,67%
Declividade	15,9861	0,02%
Volume de Precipitação Entre Coletas	2,6322	11,00%
Número de Dias Sem Precipitação Entre as Coletas	0,5252	47,15%

Os parâmetros que apresentaram características consideradas significativas pelo sistema, pela ordem de confiabilidade dos resultados foram a declividade (0,02%), a taxa de ocupação (1,03%) e o fluxo de veículos (3,67%).

Os demais parâmetros, volume de precipitação entre as coletas (11,00%) e o número de dias sem precipitação entre as coletas (47,15%), também influenciaram na estimativa de massa do sedimento, só que apresentaram um menor grau de confiabilidade nos resultados. Como a pesquisa foi delimitada em uma área extensa, a amplitude dos dados também pode ter influenciado negativamente a confiabilidade destes parâmetros, o que sugere a instalação de um maior número de pluviômetros destinados à leitura dos dados de precipitação, específicos para cada região onde estiver sendo realizadas as coletas de campo.

Os dados sobre precipitação foram os parâmetros que mais se distanciaram significativamente do grau de confiabilidade na estimativa. Já a declividade das vias foi o parâmetro que ficou mais próximo do intervalo de confiança modelado pelo sistema.

5.3 CORRELAÇÃO DOS RESULTADOS

5.3.1 Correlação entre as massas médias coletadas nas 6 ruas do experimento

Para a análise das correlações entre as ruas do experimento foram utilizados os dados das massas médias coletadas apresentadas na Tabela 8. As seis ruas escolhidas se apresentaram conforme descrição a seguir:

PA1 não apresentou correlação dos valores das massas médias coletadas com nenhuma outra rua do experimento, registrando inicialmente um grande volume de sedimentos acumulados ao longo período seco anterior ao experimento e manteve altos índices de massa no decorrer do período chuvoso, mas com uma tendência de redução das massas dos sedimentos

com a chegada do período seco, conforme demonstrado na Figura 30. A massa média registrada em PA1 foi de 448,58 g/m².

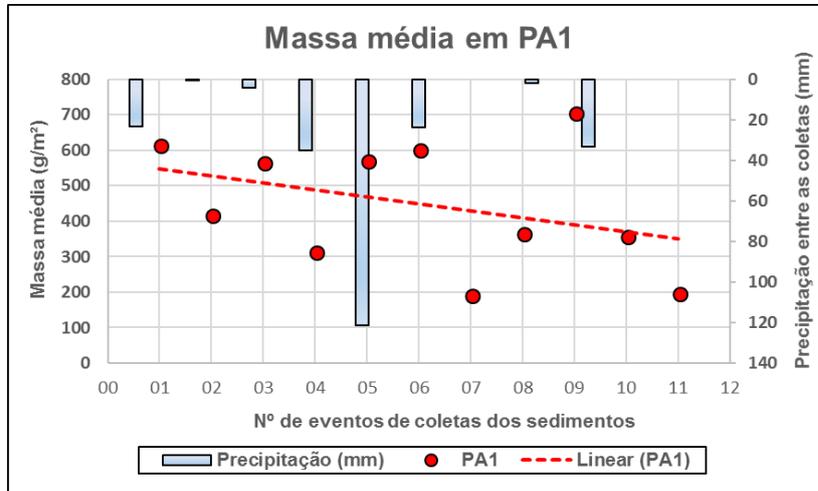


Figura 30 - Distribuição da massa média coletada em PA1.

As ruas PA2 e JB1 apresentaram linhas de tendências negativas, com redução da massa do período chuvoso para o seco. As linhas de tendência destas 2 ruas praticamente se sobrepuseram, indicando uma semelhança no comportamento entre elas. PA2 apresentou uma média dos valores de massa de 201,95 g/m², superior apenas em 6,51% em relação a JB1, que teve média de 189,61 g/m². Destacam-se as semelhanças entre as taxas de ocupação, PA2 (95%) e JB1 (94,44%) e as características de urbanização destas ruas (residencial e comercial), que podem explicar a similaridade dos resultados obtidos. A Figura 31 ilustra estas correlações.

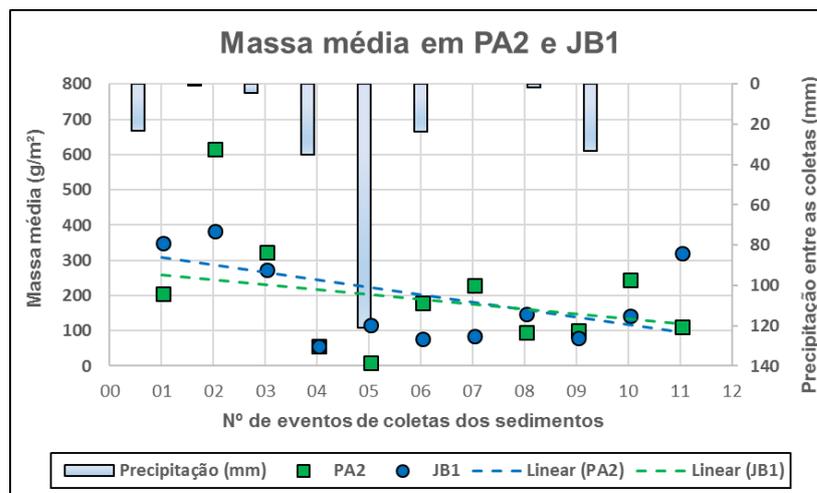


Figura 31 - Distribuição das massas médias coletadas em PA2 e JB1.

PF1 e PF2 apresentaram linhas de tendência positivas, com incremento dos valores de massas do período chuvoso para o período seco. Essas linhas demonstraram um comportamento proporcional no acúmulo de sedimentos entre elas. O fluxo de veículos contribuiu favoravelmente para o maior acúmulo de sedimentos em PF1, que apresentou o maior volume de hora de pico entre as seis ruas. A média das massas em PF1 foi de 328,57 g/m², 23,15% superior à média registrada em PF2, de 266,80 g/m². A Figura 32 ilustra estas correlações.

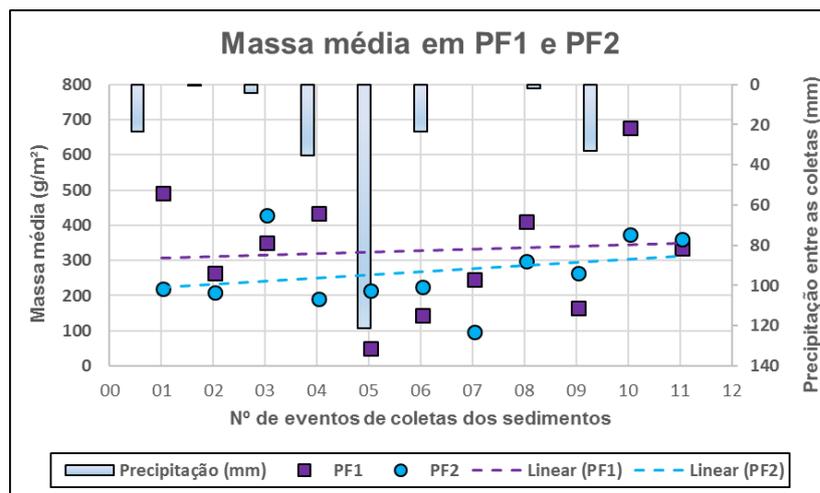


Figura 32 - Distribuição das massas médias coletadas em PF1 e PF2.

JB2 também não apresentou correlação com nenhuma outra rua, registrando os menores valores de massa coletados ao longo de toda pesquisa. A linha de tendência em JB2 apresentou-se constante ao longo da pesquisa, demonstrando uma linearidade no processo de acumulação de sedimentos tanto no período chuvoso quanto no seco, conforme ilustrado pela Figura 33.

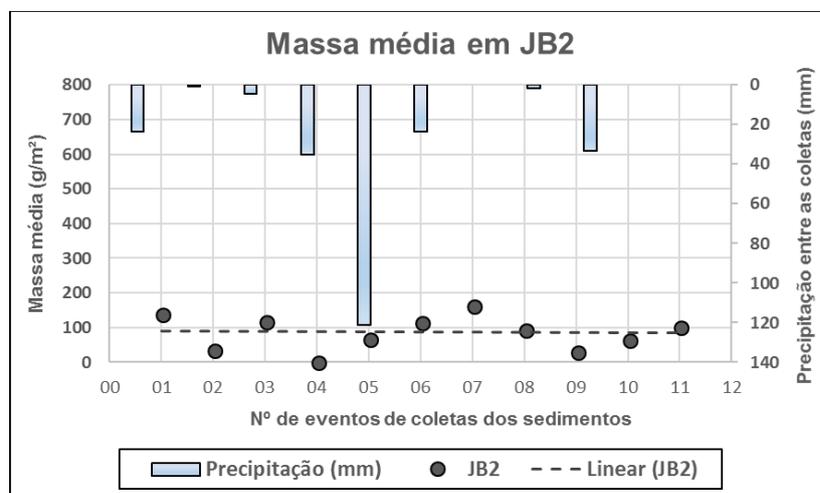


Figura 33 - Distribuição das massas médias coletadas em JB2.

5.3.2 Correlação entre os parâmetros modelados pelo sistema

Na análise das correlações entre os parâmetros adotados para estimativa de geração dos sedimentos, foi utilizada a matriz de correlação de Pearson com as variáveis modeladas pelo software. O coeficiente de correlação linear de Pearson (ρ) é interpretado como um indicador que descreve a interdependência entre as variáveis. A matriz de correlação de Pearson gerada pelo sistema está representada pelo Tabela 13.

Tabela 13 - Matriz de correlação de Pearson.

Matriz de Correlação Pearson	Massa Média Coletada	Taxa de Ocupação	Fluxo de Veículos	Declividade	Volume de precipitação entre coletas	Nº de dias s/ precipitação entre as coletas
Massa Média Coletada	1	-0,278190	0,318667	-0,289453	-0,170328	0,000167
Taxa de Ocupação	-0,278190	1,000000	-0,410020	-0,181522	0,000000	0,000000
Fluxo de Veículos	0,318667	-0,410020	1	0,311068	0,000000	0,000000
Declividade	-0,289453	-0,181522	0,311068	1	0,000000	0,000000
Volume de precipitação entre coletas	-0,170328	0,000000	0,000000	0,000000	1	-0,408658
Nº de dias sem precipitação entre as coletas	0,000167	0,000000	0,000000	0,000000	-0,408658	1

Na prática, o coeficiente (ρ) é interpretado como um indicador que descreve a interdependência entre duas variáveis X e Y. Quando o coeficiente $\rho = 1$ considera-se que existe correlação linear perfeita entre as variáveis X e Y. Esta correlação linear pode ser considerada perfeita positiva, quando $\rho = 1$ ou considerada perfeita negativa, quando $\rho = -1$. Quando $\rho = 0$, significa que não existe correlação linear entre as variáveis X e Y.

Segundo Callegari-Jacques (2003), as técnicas de análise multivariada utilizam a matriz de correlações constituída a partir dos coeficientes lineares de Pearson, para cada par de variáveis envolvidas na análise. O coeficiente de correlação pode ser avaliado qualitativamente da seguinte forma:

- Se $0,00 < \rho < 0,30$ existe fraca correlação linear;
- Se $0,30 \leq \rho < 0,60$ existe moderada correlação linear;
- Se $0,60 \leq \rho < 0,90$ existe forte correlação linear;
- Se $0,90 \leq \rho < 1,00$ existe correlação linear muito forte.

Todos os parâmetros adotados apresentaram um grau de correlação com a geração do sedimento (massa média coletada), o que indica que todos, de maneira mais ou menos robusta, contribuíram num dado momento da pesquisa para a geração e acúmulo do sedimento nas ruas.

Dispostos em ordem decrescente, os valores dos coeficientes “ ρ ” indicaram as seguintes interdependências entre os parâmetros adotados e a geração do sedimento, foram assim classificadas:

- Fluxo de veículos ($\rho = 0,318667$): moderada correlação positiva
- Declividade ($\rho = - 0,289453$): fraca correlação negativa
- Taxa de ocupação ($\rho = - 0,278190$): fraca correlação negativa
- Volume de precipitação entre as coletas ($\rho = - 0,170328$): fraca correlação negativa
- Número de dias sem precipitação entre as coletas ($\rho = 0,000167$): fraca correlação positiva

Não se verificou um padrão geral na geração do sedimento para todas as ruas do experimento, quando comparado apenas um parâmetro isolado, mas observou-se uma correlação entre os resultados, indicando que os parâmetros conjugados entre si influenciaram os resultados de geração da massa do sedimento, mesmo essas correlações tendo apresentado baixos valores para “ ρ ”.

De um modo geral, todas as coletas de sedimentos sofreram influência direta do fator precipitação na geração e acúmulo do sedimento, principalmente aquelas com maiores declividades, em função do aumento de velocidade proporcionado no escoamento superficial. As concentrações de massas apresentaram alterações ao longo dos períodos chuvoso e seco.

5.4 GRANULOMETRIA DOS SEDIMENTOS COLETADOS

As análises granulométricas foram realizadas por meio do ensaio de peneiramento e sedimentação. Os resultados serviram para identificação da composição do sedimento coletado e das possíveis alterações das faixas granulométricas.

No apêndice C são apresentadas as tabelas referentes aos ensaios de granulometria e as figuras contendo as curvas de distribuição granulométrica para cada ponto de coleta, discriminadas para os dois períodos do estudo, chuvoso e seco.

De maneira geral todos os pontos do experimento apresentaram resultados de distribuição granulométrica semelhantes aos estudos realizados por Dotto (2006) em Santa

Maria/RS, Santos (2015) em Goiânia/GO e Junior (2014) em Poços de Caldas/MG, com o maior percentual da distribuição situando-se nas três faixas de areia fina, média e grossa.

Para melhor visualização gráfica dos resultados das distribuições granulométricas, as análises focaram as três faixas que apresentaram os maiores percentuais registrados nos ensaios das amostras.

Nos gráficos a seguir foram utilizadas linhas contínuas para ilustrar o histórico de chuvas, em função do grande intervalo entre os dados de precipitação coletados na pesquisa, para propiciar uma melhor visualização da interferência do volume de chuvas sobre a distribuição granulométrica dos sedimentos.

A distribuição granulométrica em PA1 demonstrou que em média, mais de 70% dos sedimentos coletados estão situados entre 0,06 e 2,0 mm de diâmetro. Observa-se que neste ponto, a baixa declividade proporcionou um maior acúmulo de sedimentos finos e médios, favorecidos pela redução da velocidade do escoamento superficial em relação aos demais pontos de coletas, propiciando uma maior decantação destes grãos com resultados praticamente uniformes durante toda pesquisa.

Nos períodos de chuva verificou-se um incremento do percentual da areia fina e média, com decréscimo da faixa da areia grossa e das demais maiores frações do sedimento.

A distribuição granulométrica em PA2 também apresentou o maior percentual dos sedimentos classificados com diâmetros que variam de 0,06 a 2,0 mm, sendo registrado 89,66% de material nesta faixa no ápice do período de chuvas, em dezembro/2014. Houve um acréscimo do percentual da areia grossa logo após o período chuvoso e uma redução do percentual da areia fina durante o período de chuva.

Registrou-se uma redução significativa da massa do sedimento na coleta do dia 29/11/2015 em PA2, dentro do período chuvoso, sendo que a quantidade da amostra obtida impossibilitou a realização dos ensaios granulométricos nesta data. Verifica-se que logo após a redução das chuvas há um incremento das concentrações de areia fina e areia média, conforme verificado entre a 7ª e na 10ª coleta. Quando a precipitação reduziu a zero, as cargas apresentaram um acréscimo significativo.

Os gráficos da Figura 34 e 35 ilustram os 03 (três) maiores percentuais granulométricos registrados em PA1 e PA2, apresentados em conjunto com os dados das precipitações durante o período do estudo.

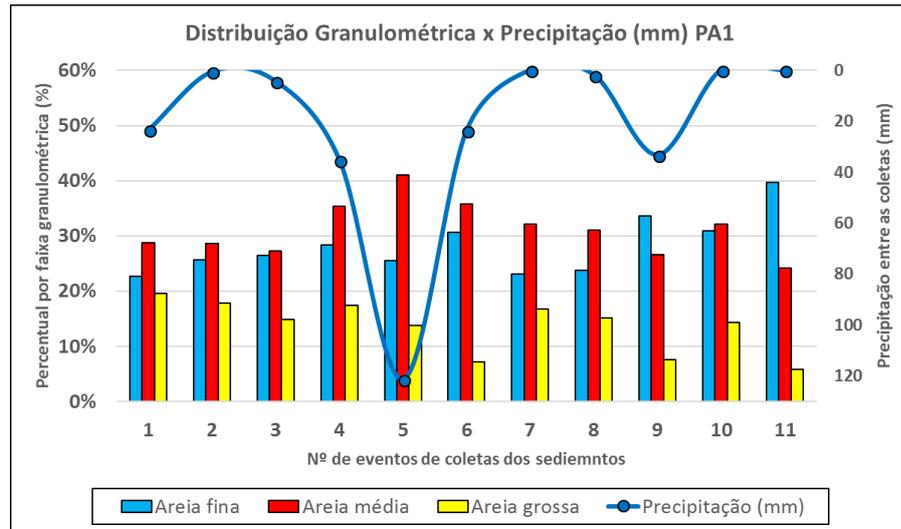


Figura 34 - Maiores percentuais granulométricos em PA1 x Precipitação (mm).

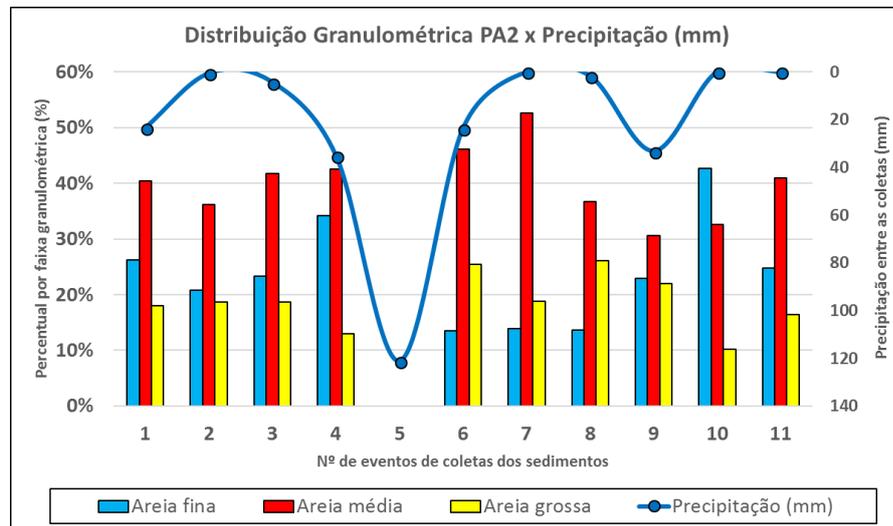


Figura 35 - Maiores percentuais granulométricos em PA2 x Precipitação (mm).

As curvas granulométricas de JB1 demonstraram que o percentual de distribuição geral da areia fina, média e grossa se apresentaram de forma bastante heterogênea no período chuvoso, variando entre 78,28% (maior valor observado em 26/09/2015) e 5,82% (menor valor em 29/11/2015). A faixa da areia grossa indica um acréscimo do percentual após o período de chuvas (maior variação a partir de maio/2016). Em 29/11/2015, quando ocorreu a maior redução na faixa entre o silte e a areia média, coincidiu com um aumento substancial de pedregulhos, situados na faixa granulométrica entre 2,0 a 60,0 mm. O alto fluxo de veículos e alta declividade, propiciou menores percentuais de materiais mais finos durante os períodos de chuva. A presença de material de maior granulometria ocorrida na coleta do dia 29/11/2015 ocorreu como um fato isolado, influenciado pelo serviço de recapeamento asfáltico executado pela prefeitura, constatado durante a coleta nesta data. Logo após esta coleta não se registrou

mais a presença de pedregulho grosso. O percentual de areia grossa em JB1 foi praticamente o menor encontrado entre todas as distribuições granulométricas.

Em JB1 foram observados os maiores percentuais granulométricos das faixas situadas entre o silte e a areia média, até a primeira coleta do mês de novembro/2015, antes do período chuvoso, com um decréscimo acentuado na segunda quinzena de novembro/2015. Estes percentuais sofreram um incremento proporcional à chegada no novo período de seca, entre os meses de abril a junho de 2016.

Em JB2, onde foram registrados os menores percentuais para as granulometrias dos sedimentos, entre 0,06 a 2,0 mm, também foi onde se observou um aumento pontual da fração do pedregulho fino e médio. Esta rua também sofreu com os reflexos promovidos pelas intervenções no pavimento ocorrido na 5ª coleta, em 29/11/2015. JB2 apresentou as menores massas do sedimento ao longo do experimento. As faixas de areia fina e média seguiram com maiores percentuais granulométricos nos períodos secos e decresceram nos períodos chuvosos. Observou-se um grande percentual de silte principalmente a partir do mês de dezembro/2015 até meados de abril/2016. O silte por possuir baixa granulometria, é carregado com maior facilidade pela chuva, mas nos períodos secos sofre a influência do carreamento pelo fluxo de veículos e pela ação do vento.

Os gráficos da Figura 36 e 37 ilustram as faixas granulométricas com os maiores percentuais observadas em JB1 e JB2, apresentados em conjunto com os dados das precipitações durante o período do estudo.

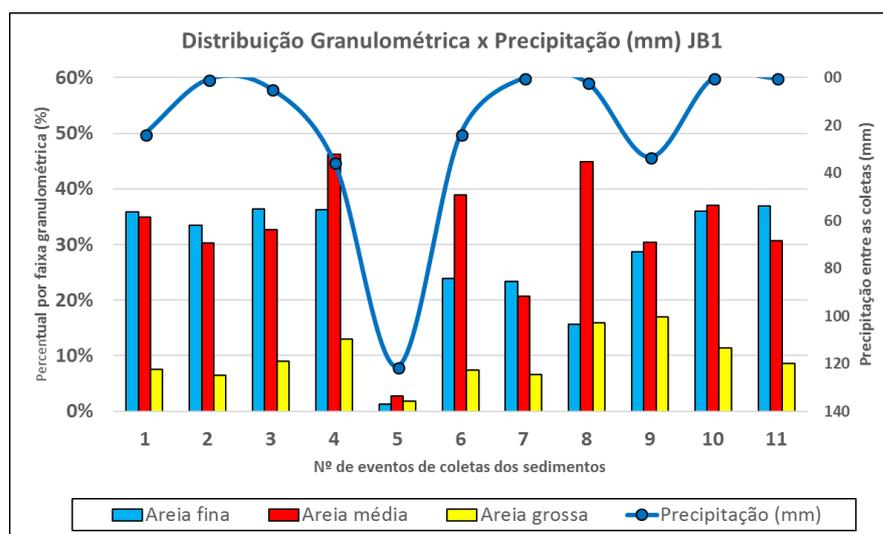


Figura 36 - Maiores percentuais granulométricos em JB1 x Precipitação (mm).

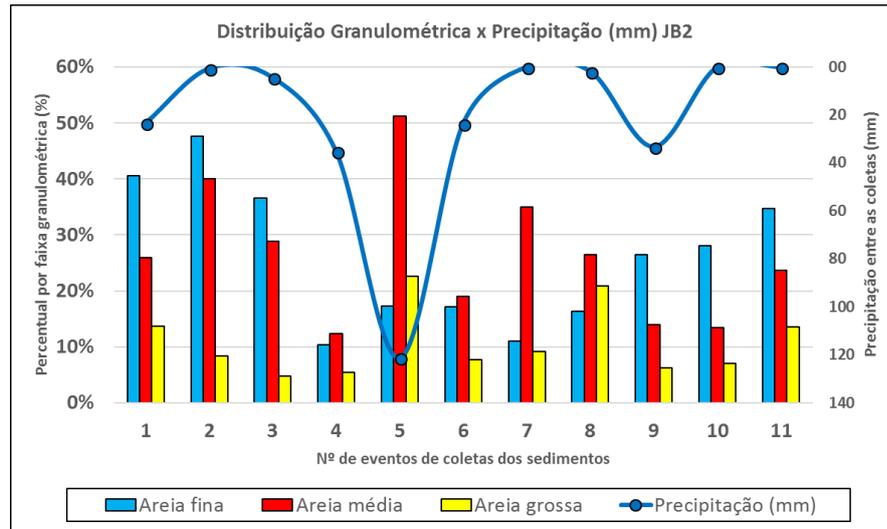


Figura 37 - Maiores percentuais granulométricos em JB2 x Precipitação (mm).

Em PF1 a distribuição granulométrica indica os maiores percentuais na faixa entre 0,06 a 0,6 mm de diâmetro (areia fina e média), apresentando um acréscimo quase linear do período chuvoso ao período seco. Os menores percentuais granulométricos coincidem com o início das chuvas (outubro/2015) e os maiores observados no período seco (junho/2016).

A alta declividade do ponto PF1 (6,11%), a maior de todas as ruas do experimento, pode explicar a redução dos percentuais dos maiores diâmetros com o incremento das chuvas, em função destes estarem desagregados do pavimento e livres para ação do escoamento superficial. Verifica-se um grande incremento das faixas de pedregulho fino e médio a partir da 7ª coleta, motivado pela ação de obras preliminares da construção civil, retomadas após o período chuvoso. Observou-se uma redução do quantitativo de material argiloso nas coletas precedidas de menores espaços entre as precipitações anteriores às coletas dos sedimentos. A faixa da areia média apresentou valores de até 43,35% do total da distribuição granulométrica, ocorrido em 27/05/2016, período de retomada do clima mais seco da região.

PF2 também apresentou o maior percentual de distribuição granulométrica a areia fina e média. PF2 apresentou uma distribuição mais homogênea nos diâmetros entre 0,06 a 0,6 mm durante o período chuvoso, mas no período seco os percentuais destas duas faixas apresentaram grande oscilação. Isso pode ser explicado em parte, pois PF2 está localizado na região mais baixa desta microbacia e por isso está sujeito a deposição de diversas cargas de sedimento oriundas de cotas mais elevadas, com diferentes granulometrias e composições.

O maior percentual obtido para as faixas de areia fina e média em PF2 ocorreu na 2ª coleta, dentro do período chuvoso, registrando 83,14% da distribuição granulométrica total. O menor percentual encontrado, 44,59% ocorreu na 7ª coleta, já dentro do período seco. O menor

percentual observado para a areia grossa ocorreu em abril/2016, registrando apenas 4,90%, logo após o período de chuvas. Estes dados reforçam a constatação, que os maiores diâmetros, por se encontrarem desagregados do pavimento são mais facilmente carregados pelo escoamento superficial durante os eventos de precipitação.

Em PF2 o percentual granulométrico da areia média apresentou um incremento imediato na 5ª e 8ª coletas, com valores de 44,65% e 62,31% respectivamente, relacionados à precipitação ocorrida anterior à coleta e o segundo provocado pela ação das obras da construção civil, que retomaram as atividades preliminares com o fim do período chuvoso.

Os gráficos da Figura 38 e 39 ilustram as faixas granulométricas com os maiores percentuais observados em PF1 e PF2, apresentados em conjunto com os dados das precipitações durante o período do estudo.

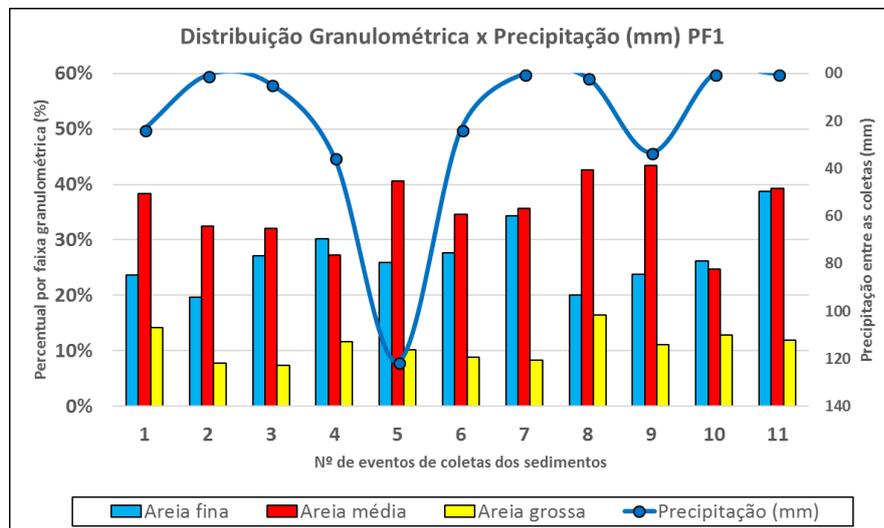


Figura 38 - Maiores percentuais granulométricos em PF1 x Precipitação (mm).

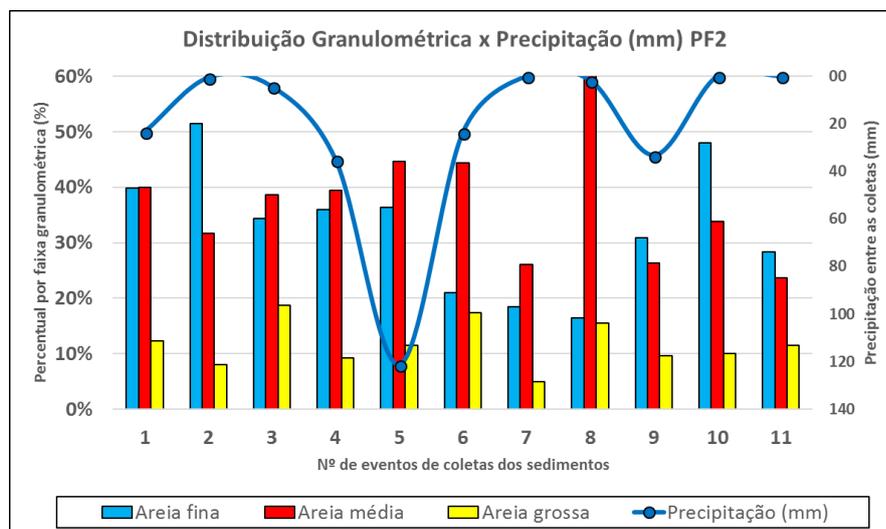


Figura 39 - Maiores percentuais granulométricos em PF2 x Precipitação (mm).

5.5 METAIS TRAÇO

A análise dos sedimentos foi realizada com ênfase nos metais: Cádmiu (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Manganês (Mn), Níquel (Ni) e Zinco (Zn).

Os recipientes utilizados nos processos de coletas dos sedimentos, o saco descartável do aspirador de pó (coleta e armazenamento das amostras) e o saco plástico (preservação das amostras), também passaram por inspeção para “análise do branco”. Esses ensaios apresentaram ausência de contaminação por fontes externas, mas indicaram a presença do metal “cobre” acima dos limites mínimos de detecção do equipamento utilizado.

Os dados da Tabela 12 indicam os valores mínimos de detecção dos metais para o qual o equipamento ICP OES está calibrado e os valores apontados nos ensaios dos recipientes destinados à coleta e preservação das amostras, com destaque para o cobre, o único metal a apresentar resultados acima do limite mínimo de detecção (LD), para o qual o equipamento está calibrado.

Para correção dos valores das planilhas das concentrações dos metais, foram subtraídos de todos os resultados referentes ao metal cobre, o valor de 0,185 mg/kg, que corresponde à soma das concentrações verificadas nas análises realizadas para o saco do aspirador de pó e no saco plástico, conforme especificado na Tabela 14.

Tabela 14 - Limites mínimos de detecção de metais do ICP OES - Análise do branco.

Metaís Analisados (mg/kg)	Saco do Aspirador	Saco Plástico	LD
Cd total	< 0,001	< 0,001	0,001
Pb total	< 0,005	< 0,005	0,005
Cu total	0,096	0,089	0,002
Cr total	< 0,003	< 0,003	0,003
Mn total	< 0,007	< 0,007	0,007
Ni total	< 0,007	< 0,007	0,007
Zn total	< 0,002	< 0,002	0,02

As planilhas com as distribuições das concentrações dos metais presentes no sedimento seco coletado, em cada rua da pesquisa, estão apresentadas no apêndice D.

A partir das primeiras análises, verificou-se que as maiores concentrações dos metais não se apresentaram vinculadas aos maiores volumes de massas coletadas dos sedimentos, indicando que a presença de um grande volume de sedimentos, não necessariamente aponta para um quadro de contaminação. O que define a contaminação é o tipo e a concentração do metal presente em determinada área.

As concentrações de cádmio se apresentaram abaixo de 0,001 mg/kg, para todos os pontos de coleta durante todo o período da pesquisa, e por isso sua análise não foi considerada como os demais metais encontrados.

Todos os resultados apresentaram uma redução significativa das concentrações dos metais a partir do 2º período da pesquisa, indicando uma relação direta das precipitações e do escoamento superficial como fatores que impedem a adsorção dos metais aos sedimentos, diluindo e reduzindo a concentração destes.

Como os resultados médios das concentrações dos metais se apresentaram bastante dispersos, utilizou-se a mediana como medida de tendência central, para exprimir os valores mais significativos que representaram as concentrações de cada metal.

Na Tabela 15 estão descritas as concentrações médias dos metais e a mediana entre os valores destas concentrações, obtidas nas 11 coletas para cada rua do experimento, discriminadas de acordo com os períodos (chuvoso e seco). Analisando-se separadamente esses períodos, constatou-se uma drástica redução das concentrações dos metais presentes nas amostras dos sedimentos do 1º para o 2º período das coletas.

Tabela 15 - Concentração média dos metais nos 2 períodos: chuvoso e seco.

Concentração dos metais (mg/kg)	PA1		PA2		JB1		JB2		PF1		PF2		Mediana nos 2 períodos	
	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco										
Cu	83,39	0,68	61,92	0,81	121,96	1,11	86,81	0,92	60,39	1,00	166,67	0,57	85,10	0,87
Zn	50,62	1,13	99,26	1,50	135,33	3,14	139,96	2,41	58,98	1,23	71,50	1,37	85,38	1,44
Mn	63,36	0,81	54,63	0,52	97,24	2,01	61,18	0,89	103,78	1,02	81,71	0,76	72,53	0,85
Cr	44,37	0,49	25,00	0,36	39,06	0,45	29,00	1,32	27,38	0,31	35,40	0,36	32,20	0,41
Pb	28,62	0,22	17,74	0,07	24,33	0,21	17,00	0,11	10,38	0,15	18,40	0,12	18,07	0,13
Ni	8,04	0,12	9,66	0,15	11,25	0,17	10,05	0,51	7,71	0,11	7,15	0,13	8,85	0,14

Os metais Zn, Cu, e Mn apresentaram as maiores médias de concentrações em todas as amostras de sedimentos em todos os pontos de coletas, principalmente em JB1, JB2 e PF2. Esses pontos representam ruas com considerável tráfego de veículos, variando entre 337 até 712 veículos por hora de pico, características de média para alta declividade e altas taxas de ocupação (exceto PF2, que possui taxa de ocupação de 53,71%).

Esses resultados confirmam que as taxas de ocupação urbana, conforme descrito na Tabela 4 e o fluxo de veículos descrito na Tabela 5 são importantes fontes associadas à presença dos metais nos sedimentos depositados em vias urbanas.

Ressalta-se, porém, que PF2 apresenta médias taxas de ocupação e de fluxo de veículos, mas recebe contribuição de PF1 (maior tráfego apontado pelas contagens volumétricas) por estar localizado na cota mais baixa do Parque Flamboyant, o que faz com que todo material carregado pelo escoamento pluvial favoreça o acúmulo de sedimentos neste ponto.

O valor da mediana calculada para todos os pontos de coletas confirmaram a maior presença da concentração dos metais Zn, Cu e Mn entre todos os metais presentes nas amostras, tanto no período chuvoso, quanto no período seco. Esses três metais apresentaram resultados de concentração de 85,38 mg/kg, 85,10 mg/kg e 72,53 mg/kg no período chuvoso e de 1,44 mg/kg, 0,87 mg/kg e 0,85 mg/kg no período seco, o que confirmou a redução significativa das concentrações dos metais na 2ª etapa da pesquisa. Essa drástica redução pode ser explicada pela ocorrência das grandes precipitações no 1º período das coletas, que através do escoamento superficial, agem diretamente nos grãos dos sedimentos, lavando os mesmos e diminuindo a concentração destes metais nas amostras depositados nas sarjetas, até a chegada do período seco.

Os metais Cr, Pb e o Ni apresentaram as menores concentrações medianas dos metais em todos os pontos de coletas, apresentando os respectivos valores das concentrações: 32,20 mg/kg, 18,07 mg/kg e 8,85 mg/kg no período chuvoso e 0,41 mg/kg, 0,13 mg/kg e ,014 mg/kg no período seco.

A concentração dos metais só retomou a tendência de aumento das concentrações com o aumento dos dias sem chuvas entre as coletas, influenciada pelos parâmetros considerados neste estudo, que promovem a acumulação nas vias e a adsorção dos metais aos sedimentos depositados.

As maiores médias de concentrações de todos os metais foram registradas em JB1, confirmando as informações contidas nas Tabelas 3 e 4, que descrevem as fontes de contaminação encontradas em áreas urbanas e dos metais pesados associados ao tráfego de veículos respectivamente, fatores relacionados ao crescimento e desenvolvimento das cidades, já que neste ponto foram registradas as maiores atividades comerciais, pequenas indústrias e tráfego intenso de veículos de pesados, em função de JB1 (Avenida 3ª Radial) ser rota de acesso à BR 153, também grande corredor de entrada e saída de cargas do transporte rodoviário.

Pode-se verificar que, de modo geral, em todas as ruas ocorreram diminuições significativas das concentrações de todos os metais a partir da 2ª etapa da pesquisa (durante o período seco).

As Figuras 40 e 41 apresentam respectivamente as concentrações dos metais com valores relativos à PA1 e PA2, ilustrando estas variações ocorridas em cada rua durante toda

pesquisa, contemplando os dois períodos climáticos distintos, trazendo em conjunto uma representação das precipitações ocorridas.

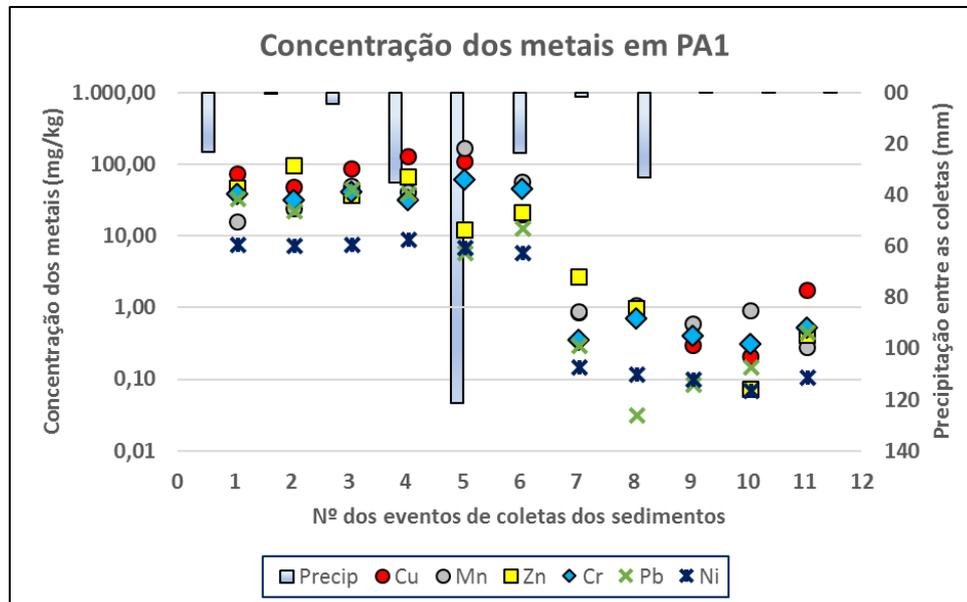


Figura 40 - Concentração dos metais em PA1 x Precipitação (mm).

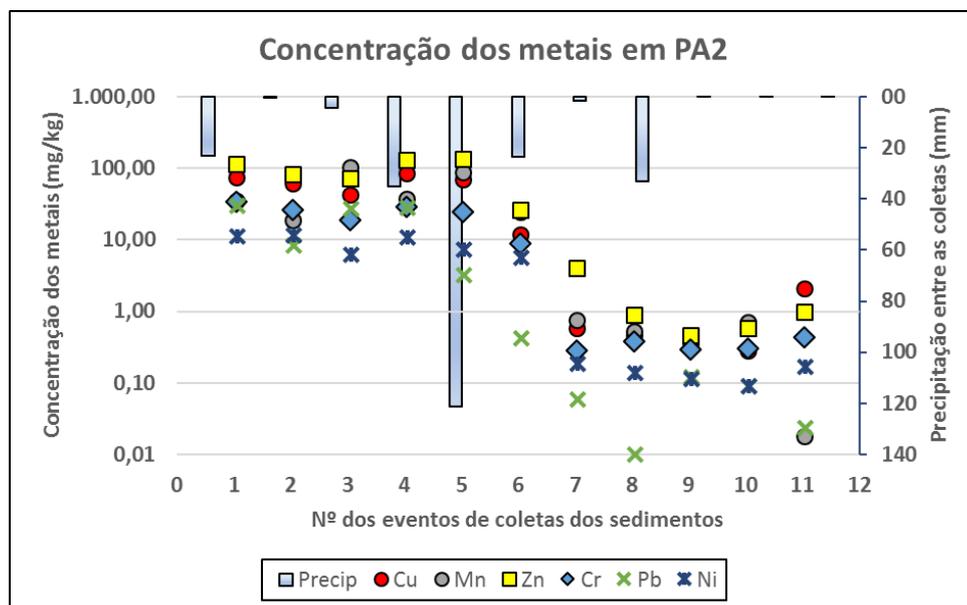


Figura 41 - Concentração dos metais em PA2 x Precipitação (mm).

As figuras representando as concentrações dos metais e as variações ocorridas entre os períodos chuvoso e seco, relativas nas demais ruas (JB1, JB2, PF1 e PF2) estão descritas no apêndice D.

Todas as ruas apresentaram um incremento de concentrações dos metais entre a 1ª até a 6ª coleta, realizadas entre 29/09/2015 até 17/12/2015, com resultados praticamente em ordem crescente para todas as ruas neste intervalo de tempo.

A concentração de Mn se destacou principalmente em PF1 e PF2, ruas com grande atividade da construção civil, enquanto JB1 se destacou pela grande atividade comercial e grande fluxo de veículos (rota de acesso à BR 153).

O Ni apresentou as menores concentrações em PA1, PF1 e PF2, ruas que apresentaram maiores volumes dos sedimentos coletados entre os seis pontos de coleta, mas não registraram qualquer tipo de atividade industrial, que caracteriza a presença deste metal. Já as maiores concentrações do Ni foram observadas em JB1 e JB2, ruas que apresentaram as menores massas coletadas do experimento, mas que possuem as maiores taxas de ocupação registradas entre todas as regiões da pesquisa, podendo ser resultado da presença de lixo doméstico e por resíduos de indústrias de pequeno porte, presentes principalmente em JB1.

O Cr e o Pb apresentaram as maiores concentrações em PA1 e JB1, ruas com alto fluxo de veículos, alta atividade da construção civil e grande atividade comercial/pequenas indústrias. Apesar do Pb ter registrado baixas concentrações, ele é considerado de alto poder de contaminação do meio ambiente e prejudicial à saúde humana, se destacando pela capacidade de grande acumulação ao longo do tempo, o que torna seu monitoramento indispensável nos grandes centros urbanos.

O Zn teve sua maior concentração registrada em PA2, JB1 e JB2, ruas com altas taxas de ocupação do solo. A origem deste metal pode estar relacionada à abrasão provocada pelo fluxo de veículos, dos lubrificantes oriundos de veículos automotores, da atividade industrial (pequenas indústrias), do descarte de materiais no lixo urbano e materiais provenientes de telhados, entre outras ações antrópicas.

A presença dos metais foi confirmada em todas as etapas da pesquisa, em todos os pontos e amostras coletadas. O monitoramento constante das concentrações dos metais nos sedimentos pode fornecer subsídios para a identificação e controle de possíveis fontes de contaminação, principalmente dos recursos hídricos, visto que, normalmente estes metais são carregados pelo escoamento superficial até os rios e lagos, por estarem agregados aos sedimentos depositados nas ruas e avenidas das cidades.

6 CONCLUSÕES

O estudo realizado nas 3 regiões que compõem a bacia do córrego Botafogo no município de Goiânia, apresentou resultados bastante representativos para a quantificação, caracterização e compreensão dos fatores que influenciam na geração e acúmulo dos sedimentos em vias urbanas pavimentadas.

Estes resultados podem servir de parâmetros para desenvolvimento de ações imediatas na conservação das ruas e dos sistemas de captação das águas superficiais, promover novas ações de políticas públicas em busca de melhores tecnologias e da sustentabilidade em todas as atividades da limpeza urbana, com foco na preservação do meio ambiente e dos recursos hídricos responsáveis pelo abastecimento das cidades.

Utilizando-se dos dados dos sedimentos secos coletados nas 06 (seis) ruas pode-se afirmar que os parâmetros declividade das vias, fluxo de veículos e taxa de ocupação das áreas de influência de cada rua, em conjunto com o volume e a variação da precipitação ao longo das estações do ano, influenciaram na geração e no acúmulo do sedimento encontrado nas sarjetas destas vias.

É necessário fazer uma ressalva quanto à frequência de varrição das ruas, parâmetro considerado inicialmente para composição das análises e que foi desprezado posteriormente, pois constatou-se durante o período de desenvolvimento da pesquisa, que a prefeitura de Goiânia apresentou várias deficiências no sistema de limpeza urbana, não cumprindo as programações de serviços conforme planejado e apresentado nas planilhas de varrição descritas no Anexo I. Por esse motivo, os dados relativos à frequência de varrição das ruas não foram utilizados como parâmetro na regressão linear.

As vias de menor declividade apresentaram maior acumulação de sedimentos provocado principalmente pela baixa velocidade do escoamento, que favorece a maior decantação dos sedimentos carregados de áreas com maiores altimetrias, acumulando-se nas áreas com as menores cotas das microbacias. Em função dessas observações, o parâmetro declividade se mostrou bastante significativo na geração do sedimento.

As cargas dos sedimentos apresentaram comportamentos variados de acumulação, de acordo com os parâmetros e características dos pontos de coletas e da sazonalidade do clima. Verificou-se que as ruas PA1, PA2 e JB1 tiveram uma tendência de redução dos volumes dos sedimentos do 1º para o 2º período do estudo, enquanto JB2, PF1 e PF2 tiveram um comportamento inverso, com a tendência do incremento das massas coletadas.

Quando comparados os resultados dos valores ajustados das massas médias estimadas, nota-se uma variação de 316,76 a 443,56 g/m² no ponto PA1, de menor declividade (1,14%), contra 189,78 a 316,57 g/m² verificada em PF1, que possui a maior declividade (6,11%) entre todos os pontos de coletas. PA1 supera PF1 em 66,91% na maior carga média estimada e em 40,11% na menor carga média estimada para as massas dos sedimentos.

O fluxo de veículos também se destacou na geração do sedimento, pois promove o desgaste dos grãos e é responsável por deslocar e espalhar os sedimentos depositados nas vias urbanas. Utilizando-se os valores ajustados das massas médias estimadas, observa-se que o maior valor verificado em PF1, 316,57 g/m², que possui o maior fluxo de veículos entre todas as ruas, supera em 101,59% a maior massa registrada em PA2, 157,04 g/m², que possui o menor fluxo de veículos entre todos os pontos.

Dentre todas as características e parâmetros analisados na geração e o acúmulo de sedimentos nas vias pavimentadas, o parâmetro “precipitação” foi o que mais influenciou nos resultados das distribuições de massa ao longo da pesquisa. A precipitação tem a capacidade de alterar as cargas do sedimento de maneira estática e dinâmica, na medida em que os eventos de chuva promovem a movimentação brusca do material depositado através do escoamento superficial, transportando as cargas difusas de áreas com maior declividade para áreas localizadas nas cotas mais baixas.

Nas análises granulométricas, considerando todos os pontos de coletas e todos os períodos analisados, os sedimentos coletados apresentaram um maior percentual granulométrico variando entre os diâmetros de 0,06 até 2,0 mm, que corresponde às faixas das areias fina, média e grossa.

Pode-se observar a partir das análises granulométricas, que a precipitação age diretamente sobre a quantidade e o tamanho das partículas que compõem o sedimento. As chuvas e o escoamento superficial desagregam e promovem o carreamento dos sedimentos depositados nas vias, transportando mais facilmente os grãos da carga livre (as maiores granulometrias), enquanto os grãos mais finos permanecem agregados ao pavimento. Com isso, observou-se um aumento da presença dos menores grãos após os eventos de precipitação entre as coletas.

Eventos isolados e motivados por ações diretas de órgãos públicos e da construção civil foram observados durante os eventos de coletas e alteraram o percentual de algumas granulometrias, que posteriormente foram confirmados na execução dos ensaios. Verificou-se a presença de um percentual elevado de 53,80% de pedregulho médio, na data de 07/11/2015, no ponto JB1, motivado por obras de recapeamento asfáltico da Avenida 3^a Radial, bem como

nos resultados datados de 30/06/2016, alterados devido a execução de obras de terraplanagem e escavação de lotes para início de obras de construção civil no ponto PF2, na região do Parque Flamboyant.

A distribuição granulométrica também foi afetada pelos parâmetros de declividade, fluxo de veículos, taxa de ocupação do solo e dos eventos de precipitação. Verificou-se que as baixas e médias declividades favoreceram a acumulação dos grãos mais finos a partir do início das chuvas, e os maiores grãos foram verificadas nas regiões com maiores declividades, logo após os eventos de precipitação.

O fluxo de veículos além de promover a dispersão dos grãos finos e médios, também provoca desgaste das maiores granulometrias, reduzindo os diâmetros dos grãos e facilitando o arraste por automóveis, ônibus, caminhões e pela ação dos ventos e das chuvas.

As precipitações tiveram grande destaque na geração, dispersão e no acúmulo do sedimento, pois as chuvas agem de maneira conjugada com a declividade e o grau de impermeabilização promovido pela pavimentação das vias. Esses fatores atuam diretamente no incremento da velocidade do escoamento superficial. Altas precipitações em pequenos espaços de tempo promovem um arraste considerável de sedimento de lotes, calçadas, telhados e do próprio pavimento, causando o estrangulamento das estruturas de captação pluvial, fazendo com que os materiais se depositem principalmente nos pontos mais baixos das microbacias.

Pelos dados das análises laboratoriais e do histórico cronológico das amostras, verificou-se que a concentração dos metais também foi alterada consideravelmente pela ação dos eventos de precipitação. As maiores concentrações dos metais foram observadas após as primeiras chuvas, ocorridas entre os meses de setembro a dezembro de 2015. Isso pode ser justificado pela lavagem de materiais e elementos armazenados nos telhados, árvores e dispersos na atmosfera, que são incorporados aos sedimentos.

Foram registradas as presenças dos metais em todas as amostras coletadas ao longo dos meses em que se desenvolveu o estudo. Uma característica marcante nesses resultados foi a grande diferença dos valores das concentrações dos metais ocorrida entre os períodos chuvoso que o seco. O grande volume de precipitação registrado na primeira etapa das coletas provocou a dispersão dos metais adsorvidos no sedimento, diminuindo as concentrações dos mesmos na segunda etapa do estudo.

Outra observação que merece registro foi que as maiores concentrações dos metais não ocorreram vinculadas às maiores massas coletadas. As concentrações dos metais foram impactadas pelas características e parâmetros de cada rua e da região em que cada uma estava inserida.

Neste contexto, o fluxo de veículos teve participação marcante na presença dos metais nos sedimentos, tendo em vista que as maiores concentrações foram registradas dos metais Zn, Cu e Mn, todos relacionados ao tráfego veicular nas vias escolhidas para realização do estudo.

Confirmando os estudos de Egodawatta *et al.* (2014), verificamos que as concentrações dos sedimentos e/ou poluentes numa superfície impermeável estão diretamente ligadas aos processos de acumulação e carreamento. Enquanto no processo de acumulação os principais fatores observados são declividade, fluxo de veículos e uso do solo, no processo de carreamento estão relacionados com as cargas acumuladas durante o período seco antecedente.

Como contribuição, esta pesquisa indica algumas ações que podem ser desenvolvidas por entidades privadas e/ou para implantação de novas políticas públicas, que busquem a preservação do meio ambiente e a proteção dos recursos hídricos, como:

- Monitorar constantemente as concentrações dos metais incorporados nos sedimentos presentes no meio urbano;
- Desenvolver planos de ação e técnicas efetivas para remoção dessas cargas poluidoras, preservando e garantindo assim a qualidade das águas e dos recursos hídricos, evitando a contaminação destes pelo escoamento superficial das águas das chuvas;
- Gerenciar o lançamento destes sedimentos nos cursos d'água desenvolvendo rotinas de limpeza das redes e galerias do sistema de captação pluvial;
- Implantar sistemas de amortecimento e retardo da captação pluvial, utilizando-se técnicas como bacias infiltração, telhados verdes, piscinões para controle de cheias, entre outras, evitando o lançamento descontrolado nas áreas a jusante desta captação;
- Implantar sistemas conjugados de tratamento de esgotos e dos resíduos oriundos da captação pluvial (sistemas unitários), como ocorre em diversos países da comunidade europeia. Deve-se, porém ressaltar que, esse sistema exige investimentos elevados de implantação e controle, devido às grandes dimensões exigidas para os condutores e das obras complementares, que implicam em prazos extensos e dificuldades na execução, em função das diversas interferências com outros sistemas e instalações já existentes nas cidades;
- Utilizar máquinas e equipamentos no sistema de limpeza urbana, como forma de empreender maior eficácia e agilidade no recolhimento dos resíduos depositados nas vias urbanas (limpeza mecanizada), evitando que esses resíduos

permaneçam nas vias por longos períodos, contribuindo para a contaminação do meio urbano.

Este estudo pode despertar o interesse para novas pesquisas visando à melhoria nos processos de limpeza pública, de captação pluvial e do tratamento dos sedimentos presentes nas vias urbanas, implementando ações controle e remoção dos resíduos de acordo com as variações dos volumes gerados, que ocorrem em função da alternância dos períodos seco e chuvoso.

Os dados obtidos nesse estudo indicam uma necessidade de se promover a redução das cargas de sedimentos lançadas nos cursos d'água, evitando o assoreamento e a contaminação destes, principalmente através de ações pró-ativas de monitoramento e controle das “fontes geradoras”, atuando de forma eficaz na remoção e destinação desses sedimentos para áreas ou atividades pré-determinadas e preparadas para esse fim.

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Amostras de Resíduos Sólidos**, NBR-10007, 2004.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Amostras de Solo – Preparação para ensaios de compactação e caracterização**, NBR-6457, 2016.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Solo - Análise granulométrica**, NBR-7181, 2016.
- ALLEY W. M. & SMITH, P. E. Estimation of accumulation parameters for urban runoff quality modeling. **Water Resources Research**, v. 17, n. 6, 1981.
- ANDRADE, Liza. Construção de Indicadores de Eficiência Hídrica, In: Mesa Redonda dos Indicadores de Sustentabilidade dos Espaços Públicos Urbanos, aspectos metodológicos e atributos das estruturas urbanas significantes das cidades planejadas. **Seminário: A Questão Ambiental Urbana: Experiências e Perspectivas**. Núcleo de Estudos Urbanos e Regionais – NEUR/Universidade de Brasília, julho de 2004.
- BAIRD, C. Química Ambiental. **Maria Angeles Lobo e Luiz Carlos Marques** (Trad.). 2, Ed. São Paulo: Bookman, 622 p. 2002.
- BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 266 p. 2005.
- BRASIL. **Lei Complementar Nº 171**, de 29 de maio de 2007. Dispõe sobre o Plano Diretor e o processo de planejamento urbano do Município de Goiânia e dá outras providências. Disponível em:
<<https://www.goiania.go.gov.br/Download/seplam/Colet%C3%A2nea%20Urban%C3%ADstica/1.%20Plano%20Diretor/1.%20Plano%20Diretor%20-%20Lei%20Comp.%20171.pdf>>. Acesso em: ago. 2017.
- BUTLER, D. & CLARK, P. Sediment management in urban drainage catchments. Construction Industry Research and Information Association. **Report 134**. London, 1995.
- CALLEGARI-JACQUES, Sidia M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artemed, 255p. 2003.
- CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; MELO, D. C. R. Mapeamento temporal e espacial da precipitação pluviométrica da região metropolitana de Goiânia. In: **XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**, INPE. P.4594. Curitiba, 2011.
- CHARLESWORTH, S. M.; EVERETT, M.; McARTHUR, R.; ORDOÑEZ, A.; MIGUEL, E. 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. *Environment International*, n. 29, 2003.

- 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, 1999.
- CHEN, J. & ADAMS, B. J. A derived probability distribution approach to stormwater quality modeling. **Advances in Water Resources**. v. 30, p. 80-100, 2007.
- CHOCAT, B. **Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement. Technique et Documentation Lavouisier**, Paris, 1124 p. 1997.
- COMPANHIA DE URBANIZAÇÃO DE GOIÂNIA – COMURG. **Planilhas de Varrição do Município de Goiânia**. Disponível em: <<http://www.comurg.com.br>>. Acesso em: setembro, 2015.
- DELETIC, A.; ASHLEY, R.; REST, D. Modelling input of fine granular sediment into drainage systems via gully pots. **Water Research**. V. 34, n. 15, p. 3836 – 3844, 2000.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Manual de estudos de tráfego**. - Rio de Janeiro, (IPR. Publicação, 723). 2006.
- DIAMANTINO, C; LEITÃO, T E.; SILVA, M O. **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>. Acesso em: abril, 2016.
- DOTTO, C B S. **Acumulação e balanço de sedimentos em superfícies asfálticas em área urbana de Santa Maria** – RS. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.
- DROPPO, I. G. A New Definition of Suspended Sediment: Implications for the Measurement and Prediction of Sediment Transport. Oslo, **IAHS**. v.283. pp.3-12. 2002.
- EGODAWATTA, P.; GOONETILLEKE, A.; YIGITCANLAR, T. E AYOKO, G. **Sustainable Urban Water Environment: Climate, Pollution and Adaptation**, 2014.
- FUNASA – Fundação Nacional de Saúde – Ministério da Saúde. **Manual de Saneamento**, 3ª Edição. Brasília, 408 p. 2004.
- HOROWITS, A. J. **A primer on sediment-trace elemento chemistry**. 2 ed. Chelsea, EUA: Lewis Publishers. 136p. 1991.
- HOROWITS, A. J. Use of Suspended Sediment and Associated Trace Elements in Water Qualit Studies. **International Association of Hydrological Sciences**, IAHS Press: Oxfordshire. IAHS Special Publication n.4 64p. ISBN 0-947571-79-5. 1995.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Estações Convencionais** - Gráficos. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sim/gera_graficos.php>. Acesso em: fevereiro, 2016.
- JÚNIOR, J.A.P. **Estudo da Acumulação e Caracterização de Sedimentos em Sarjetas de Vias Urbanas** – Poços de Caldas – MG. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia

Ambiental – Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, 2014.

LAPPONI, J. C. **Estatística Usando Excel**. 4. ed. Rio de Janeiro: CAMPUS - RJ, 2005.

LEUNG, W. C. Competency based medical training: Review. **British Medical Journal**, London, v. 325, n. 7366, p. 693-696, 2002.

MARTÍNEZ, L.L.G. **Distribuição de Poluição Difusa por Sedimentos Urbanos em Áreas Impermeáveis em Porto Alegre**. Dissertação de mestrado. Porto Alegre, 2011.

MARTINS JÚNIOR, O. P. **Uma cidade ecologicamente correta**. AB Editora. Goiânia, 1996.

MELLER, A. **Simulação Hidrodinâmica Integrada de Sistema de Drenagem em Santa Maria-RS**. UFSM – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 164p. Dissertação de Mestrado. Santa Maria, 2004.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. **Introduction to Linear Regression Analysis**. 5. ed. [s.l.] John Wiley & Sons, 2012

MUNDO QUÍMICO. **Metais pesados e seus efeitos**. Disponível em:
<<http://www.mundodoquimico.hpg.com.br/>> Acesso em: 13 Nov. 2016.

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

NELSON, E.; BOOTH, D. Sediment sources in an urbanizing, mixed land-use watershed. **Journal of Hydrology**, n. 264, p.51-68, 2002.

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.

POLETO, C.; BORTOLUZZI, E.C.; CHARLESWORTH, S.; MERTEN, G.H. Urban Sediment Particle Size and Pollutants in Southern Brazil. **Journal of Soils and Sediments**, n.9, p. 317 – 327, 2009.

POLETO, Cristiano. **Ambiente Sedimentos**. Porto Alegre: ABRH, 404 p. 2008.

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.

POLETO, Cristiano; MERTEN, Gustavo Henrique. **Qualidade dos Sedimentos: Revisado e Ampliado**. Porto Alegre: ABRH, 397 p. 2013.

PORTO, M.F.A. Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, Cap. 9, p. 187-414, 1995.

SANTANA, D. M. B.; PRODANOFF, J. H. A.; MASCARENHAS, F. C. B. Monitoramento da Carga de Sedimentos e das Concentrações de Cobre, Zinco e Sólidos Voláteis Acumulados em Vias Asfaltadas. **XI ENES – Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos**. ABRH, 2014.

SANTOS, C.M.S.M. **Caracterização e Avaliação da Distribuição de Sedimentos e Metais Pesados em Superfícies Urbanas no Município de Goiânia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

SARTOR, J.D.; G.B.; BOYD. **Water Pollution Aspects of Street Surface Contaminants**. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, EPAR1-72- 081. NTIS No. PB 214 408, November. 1972.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE, RECURSOS HÍDRICOS, CIDADES, INFRAESTRUTURA E ASSUNTOS METROPOLITANOS DE GOIÁS/GO - SECIMA. **Relatório de Monitoramento Qualidade do Ar de 2015 e 2016**. Partículas Totais em Suspensão. Goiânia/GO. 2016.

SILVA, E. P. **Acúmulo e Carreamento de Metais Pesados e Sólidos em Superfícies Asfálticas - Goiânia – GO**. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente – Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Goiás – Goiânia, 2014.

SILVA, E. P.; SIQUEIRA, E. Q.; SCHIMIDT, F.; GUEDES, C. S. Determinação de Metais Pesados em Sedimentos Urbanos por Fluorescência de Raios X. **Holos Environment**, v. 14 n. 1, p. 87. 2014.

SNIS. Diagnóstico dos serviços de água e esgoto - 2003. **Brasília: PMSS Programa de Modernização do Setor de Saneamento**. Ministério das Cidades, 2004.

SOUZA, G. W.; PINTO, G. F. P.; PALMA, R.; NETO, J. A. B. **Processos de Urbanização e Impactos Ambientais ao Longo dos Rios Bomba e Imbuassu – SG/RJ**. In: Anais do Simpósio Nacional de Geografia Física Aplicada; 10º Simpósio Nacional de Geografia Física Aplicada, Rio de Janeiro. 2003.

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.

USEPA. **Method 3050 B**. 1998. Disponível em:
<<http://www3.epa.gov/epawaste/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3050b.pdf>>. Acesso em: 21 Jan. 2016.

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.

APÊNDICES

APÊNDICE A: CONTAGEM VOLUMÉTRICA DE VEÍCULOS

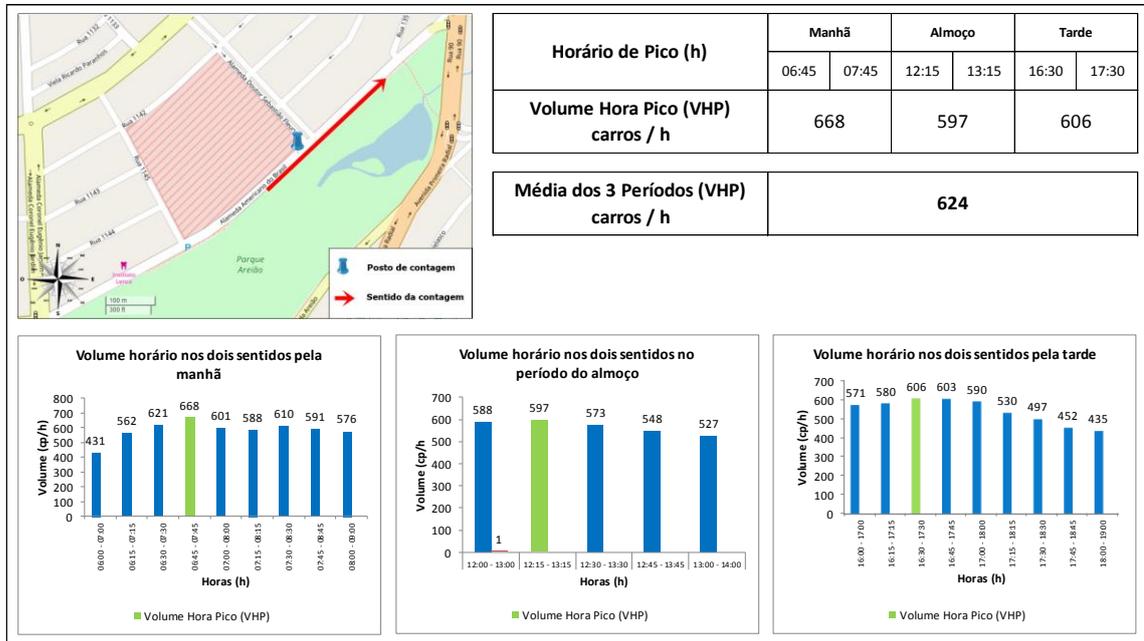


Figura A 1 - Contagem volumétrica de veículos da Av. Americana do Brasil (PA1).

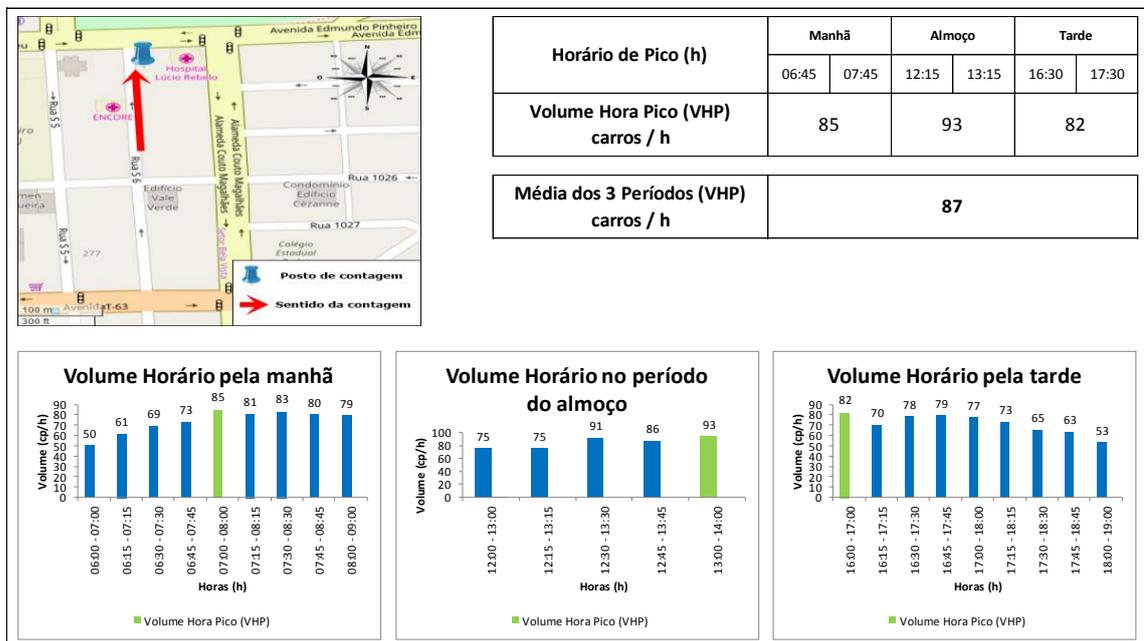


Figura A 2 - Contagem volumétrica de veículos da Rua S-6 (PA2).

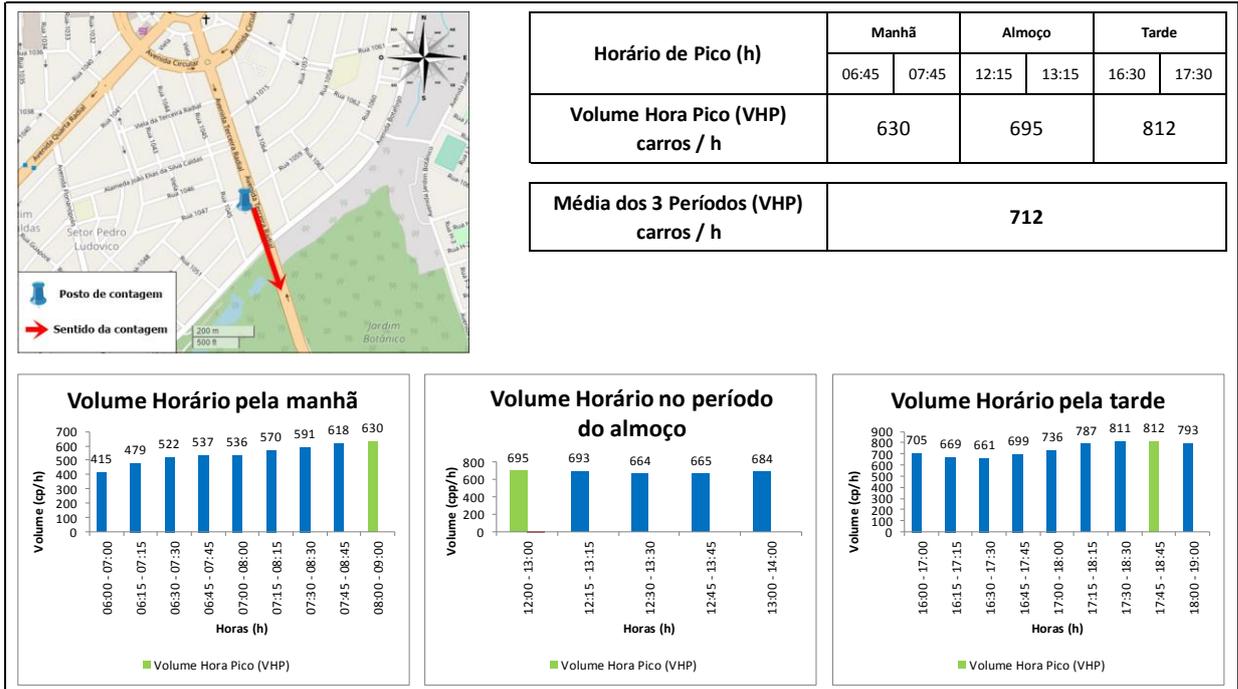


Figura A 3 - Contagem volumétrica de veículos da Av. 3ª Radial (JB1).

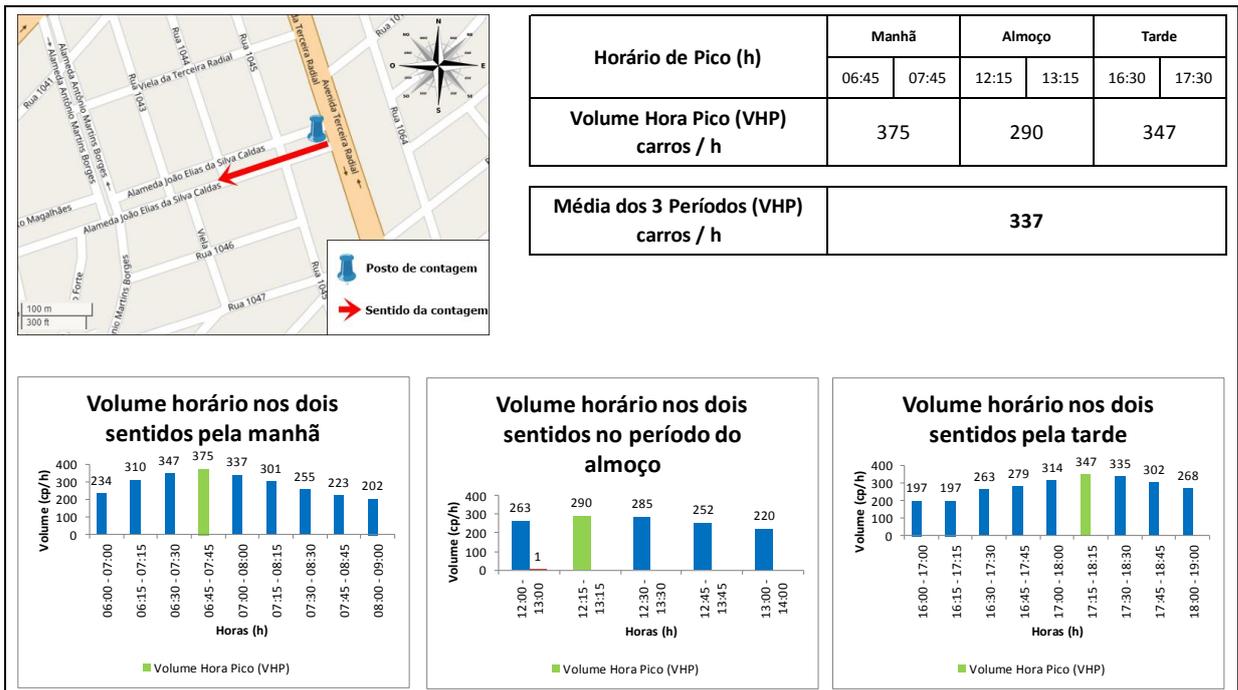


Figura A 4 - Contagem volumétrica de veículos da Al. João Elias da S. Caldas (JB2).

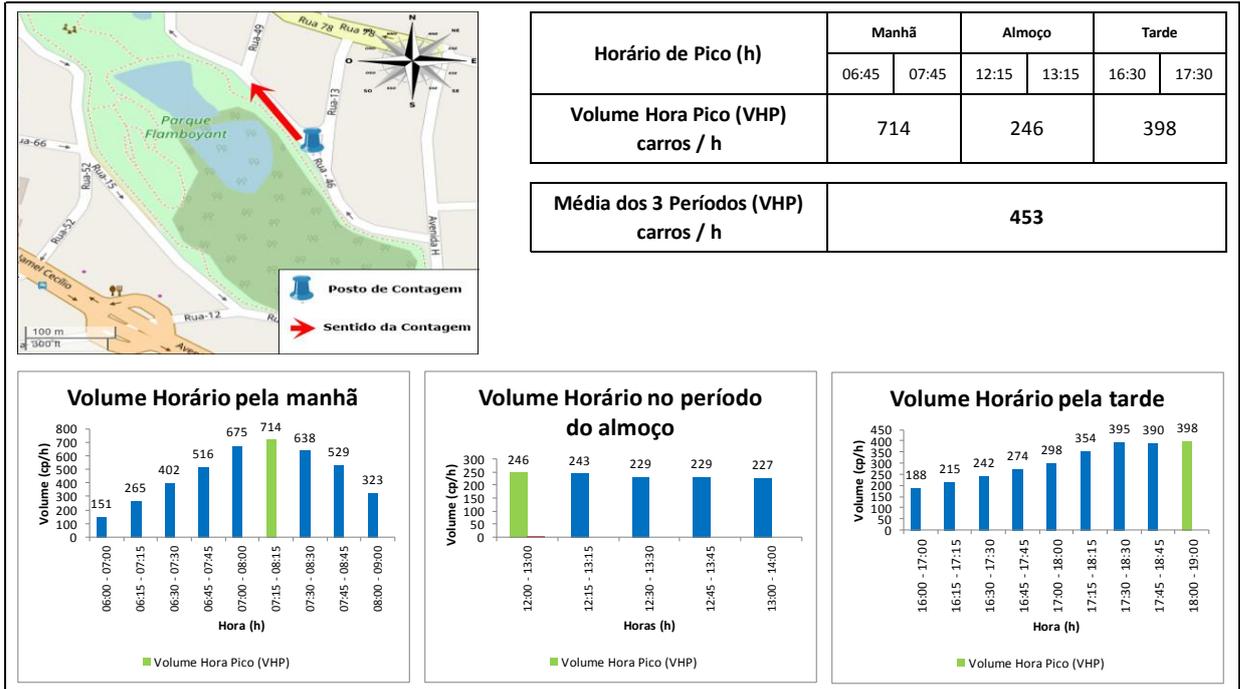


Figura A 5 - Contagem volumétrica de veículos da Rua Castorina B. Alves (PF1).

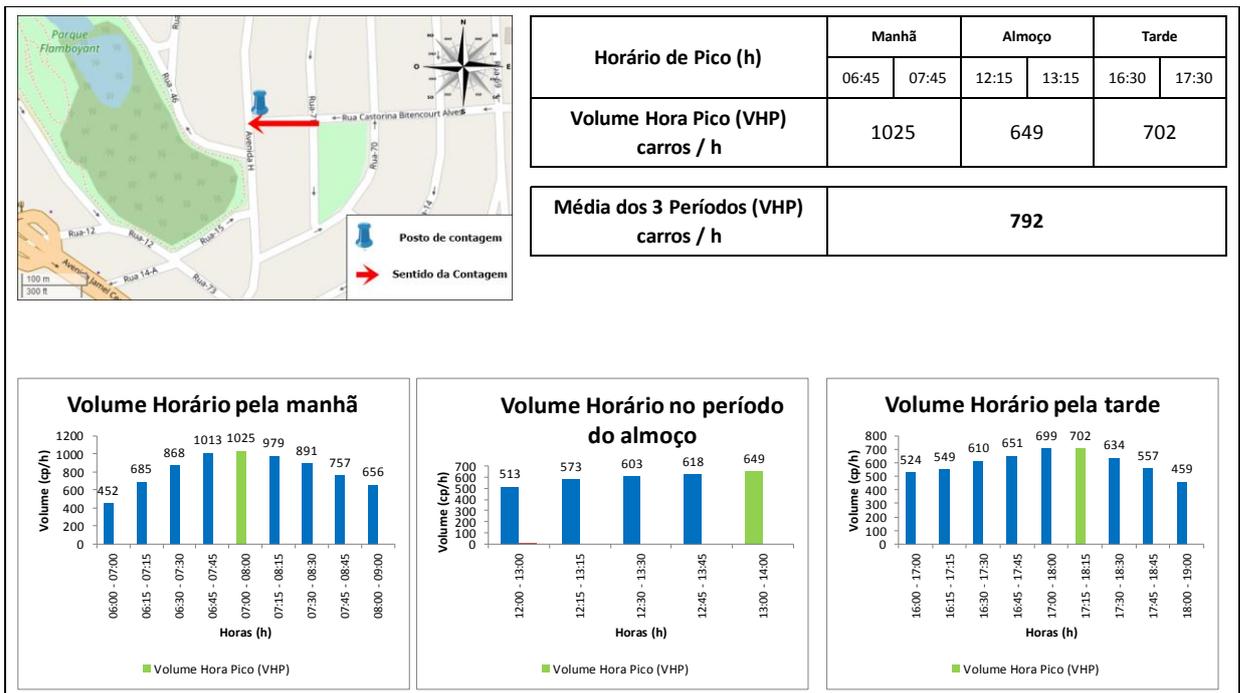


Figura A 6 - Contagem volumétrica de veículos da Rua 46 (PF2).

APÊNDICE B: REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA - SOFTWARE ACTION START®

Tabela da ANOVA										
PARÂMETROS	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	p-valor					
TAXA DE OCUPAÇÃO	1	156.930,0595	156.930,0595	7,0216	1,03%					
FLUXO DE VEÍCULOS	1	102.043,7885	102.043,7885	4,5658	3,67%					
DECLIVIDADE	1	357.280,5542	357.280,5542	15,9861	0,02%					
VOLUME PRECIPITAÇÃO ENTRE COLETAS	1	58.829,2129	58.829,2129	2,6322	11,00%					
Nº DIAS SEM CHUVA ENTRE COLETAS	1	11.737,5377	11.737,5377	0,5252	47,15%					
Resíduos	60	1.340.970,8631	22.349,5144							

Matriz de Correlação: Pearson						
PARÂMETROS	MASSA COLETADA	TAXA DE OCUPAÇÃO	FLUXO DE VEÍCULOS	DECLIVIDADE	VOLUME PRECIPITAÇÃO ENTRE COLETAS	Nº DIAS SEM CHUVA
MASSA COLETADA	1	-0,278190	0,318667	-0,289453	-0,170328	0,000167
TAXA DE OCUPAÇÃO	-0,278190	1	-0,410020	-0,181522	0,000000	0,000000
FLUXO DE VEÍCULOS	0,318667	-0,410020	1	0,311068	0,000000	0,000000
DECLIVIDADE	-0,289453	-0,181522	0,311068	1	0,000000	0,000000
VOLUME PRECIPITAÇÃO ENTRE COLETAS	-0,170328	0,000000	0,000000	0,000000	1	-0,408658
Nº DIAS SEM CHUVA ENTRE COLETAS	0,000167	0,000000	0,000000	0,000000	-0,408658	1

Nº AMOSTRAS	PONTOS COLETAS	MASSA COLETADA	TAXA DE OCUPAÇÃO	FLUXO DE VEÍCULOS	DECLIVIDADE	VOLUME PRECIPITAÇÃO ENTRE COLETAS	Nº DIAS SEM CHUVA	LI	LS	Valor Ajustado
1	PA1	617,21	88,35%	624	1,14%	0,10	15	124,61	272,72	198,67
2	PA2	209,10	95,00%	87	3,85%	0,10	15	151,38	328,03	239,70
3	JB1	354,41	94,44%	712	5,72%	0,10	15	149,29	322,12	235,71
4	JB2	142,61	100,00%	337	3,93%	0,10	15	124,23	282,41	203,32
5	PF1	495,13	55,63%	792	6,11%	0,10	15	0,00	243,06	112,90
6	PF2	225,31	53,71%	453	3,24%	0,10	15	135,64	290,53	213,08
7	PA1	420,86	88,35%	624	1,14%	0,00	1	133,87	295,61	214,74
8	PA2	620,88	95,00%	87	3,85%	0,00	1	151,27	308,55	229,91
9	JB1	387,94	94,44%	712	5,72%	0,00	1	122,99	270,79	196,89
10	JB2	38,10	100,00%	337	3,93%	0,00	1	133,87	295,61	214,74
11	PF1	269,19	55,63%	792	6,11%	0,00	1	77,23	308,36	192,80
12	PF2	214,90	53,71%	453	3,24%	0,00	1	115,36	226,05	170,71
13	PA1	568,26	88,35%	624	1,14%	0,02	1	138,39	285,09	211,74
14	PA2	327,07	95,00%	87	3,85%	0,02	1	136,71	278,79	207,75
15	JB1	278,02	94,44%	712	5,72%	0,02	1	113,44	237,29	175,36
16	JB2	119,51	100,00%	337	3,93%	0,02	1	0,00	205,45	84,94
17	PF1	355,37	55,63%	792	6,11%	0,02	1	125,31	244,93	185,12
18	PF2	432,26	53,71%	453	3,24%	0,02	1	122,60	250,96	186,78
19	PA1	317,43	88,35%	624	1,14%	0,14	1	140,60	263,30	201,95
20	PA2	60,86	95,00%	87	3,85%	0,14	1	113,79	224,08	168,94
21	JB1	61,75	94,44%	712	5,72%	0,14	1	122,60	250,96	186,78
22	JB2	2,43	100,00%	337	3,93%	0,14	1	60,27	269,41	164,84
23	PF1	438,29	55,63%	792	6,11%	0,14	1	314,88	490,17	402,53
24	PF2	194,83	53,71%	453	3,24%	0,14	1	343,56	543,56	443,56
25	PA1	572,64	88,35%	624	1,14%	0,50	1	341,25	537,88	439,56
26	PA2	13,87	95,00%	87	3,85%	0,50	1	315,24	499,12	407,18
27	JB1	120,17	94,44%	712	5,72%	0,50	1	178,42	455,11	316,76
28	JB2	70,75	100,00%	337	3,93%	0,50	1	326,41	507,47	416,94
29	PF1	53,28	55,63%	792	6,11%	0,50	1	325,12	512,07	418,60
30	PF2	218,47	53,71%	453	3,24%	0,50	1	342,21	525,32	433,77
31	PA1	605,25	88,35%	624	1,14%	0,10	3	313,24	488,27	400,75
32	PA2	183,26	95,00%	87	3,85%	0,10	3	325,12	512,07	418,60
33	JB1	81,96	94,44%	712	5,72%	0,10	3	271,94	521,37	396,66
34	JB2	116,90	100,00%	337	3,93%	0,10	3	39,29	192,72	116,00
35	PF1	147,38	55,63%	792	6,11%	0,10	3	66,47	247,60	157,04
36	PF2	230,20	53,71%	453	3,24%	0,10	3	64,34	241,75	153,04
37	PA1	195,53	88,35%	624	1,14%	0,00	22	39,07	202,24	120,66
38	PA2	232,60	95,00%	87	3,85%	0,00	22	0,00	161,93	30,24
39	JB1	90,63	94,44%	712	5,72%	0,00	22	50,43	210,41	130,42
40	JB2	164,58	100,00%	337	3,93%	0,00	22	48,76	215,39	132,07
41	PF1	251,21	55,63%	792	6,11%	0,00	22	66,10	228,39	147,24
42	PF2	102,83	53,71%	453	3,24%	0,00	22	37,67	190,80	114,23
43	PA1	367,45	88,35%	624	1,14%	0,01	8	48,76	215,39	132,07
44	PA2	101,16	95,00%	87	3,85%	0,01	8	0,00	227,42	110,14
45	JB1	152,98	94,44%	712	5,72%	0,01	8	199,40	351,68	275,54
46	JB2	97,23	100,00%	337	3,93%	0,01	8	226,50	406,65	316,57
47	PF1	414,17	55,63%	792	6,11%	0,01	8	224,37	400,78	312,58
48	PF2	303,09	53,71%	453	3,24%	0,01	8	199,15	361,24	280,20
49	PA1	708,48	88,35%	624	1,14%	0,14	8	58,42	321,13	189,78
50	PA2	105,17	95,00%	87	3,85%	0,14	8	210,52	369,39	289,95
51	JB1	84,29	94,44%	712	5,72%	0,14	8	208,83	374,39	291,61
52	JB2	33,34	100,00%	337	3,93%	0,14	8	226,18	387,38	306,78
53	PF1	168,85	55,63%	792	6,11%	0,14	8	197,78	349,75	273,77
54	PF2	269,95	53,71%	453	3,24%	0,14	8	208,83	374,39	291,61
55	PA1	360,71	88,35%	624	1,14%	0,00	22	152,76	386,58	269,67
56	PA2	250,28	95,00%	87	3,85%	0,00	22	246,68	398,40	322,54
57	JB1	148,18	94,44%	712	5,72%	0,00	22	273,73	453,42	363,57
58	JB2	66,89	100,00%	337	3,93%	0,00	22	271,61	447,55	359,58
59	PF1	682,21	55,63%	792	6,11%	0,00	22	246,41	407,98	327,20
60	PF2	378,78	53,71%	453	3,24%	0,00	22	105,58	367,97	236,78
61	PA1	200,52	88,35%	624	1,14%	0,00	40	257,78	416,13	336,95
62	PA2	117,20	95,00%	87	3,85%	0,00	40	256,08	421,14	338,61
63	JB1	325,38	94,44%	712	5,72%	0,00	40	273,44	434,12	353,78
64	JB2	105,58	100,00%	337	3,93%	0,00	40	245,06	396,48	320,77
65	PF1	339,23	55,63%	792	6,11%	0,00	40	256,08	421,14	338,61
66	PF2	364,21	53,71%	453	3,24%	0,00	40	199,94	433,40	316,67

Figura B 1 - Modelo de regressão linear gerado pelo software Action Start®.

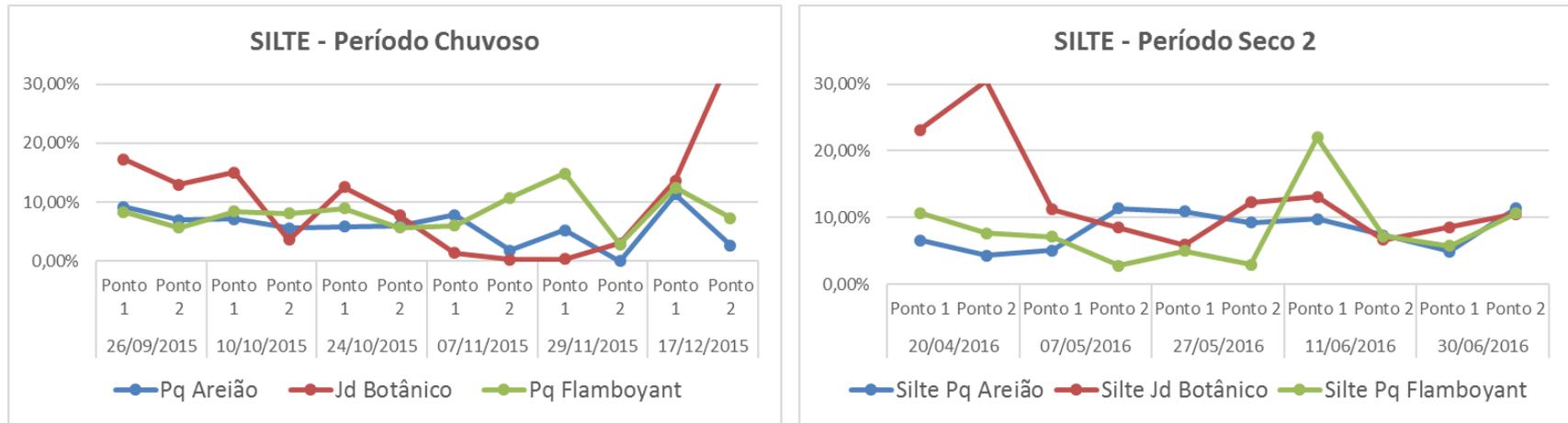


Figura C 1 - Distribuição do percentual do Silte ao longo dos dois períodos da pesquisa.

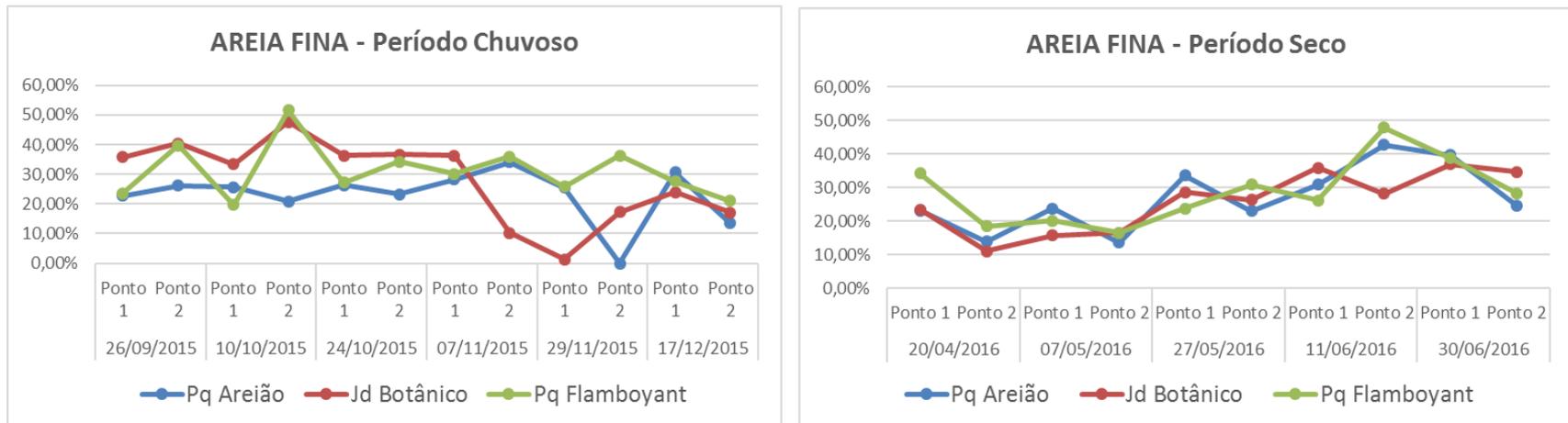


Figura C 2 - Distribuição do percentual de Areia Fina ao longo dos dois períodos da pesquisa.

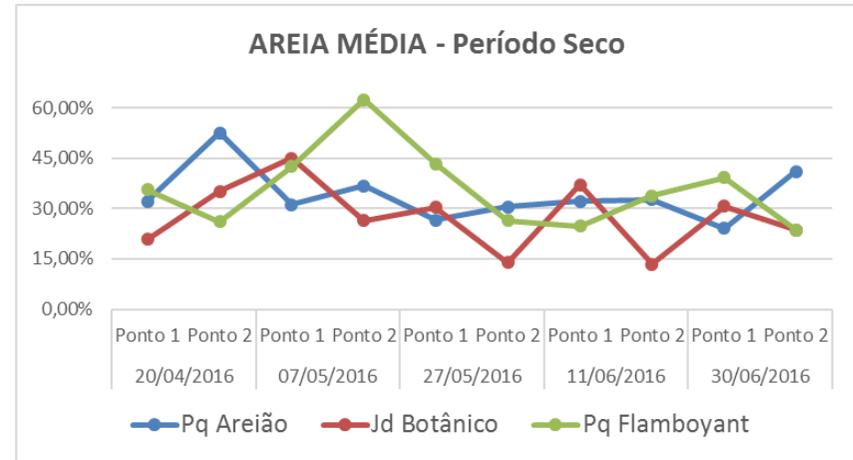
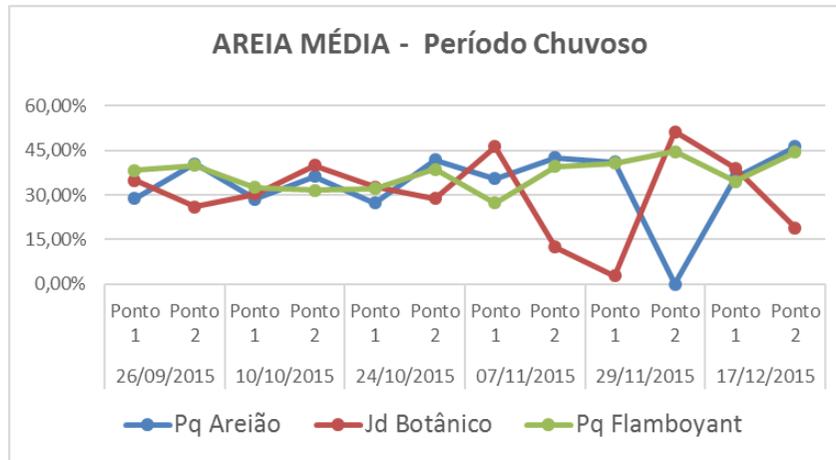


Figura C 3 - Distribuição do percentual de Areia Média ao longo dos dois períodos da pesquisa.

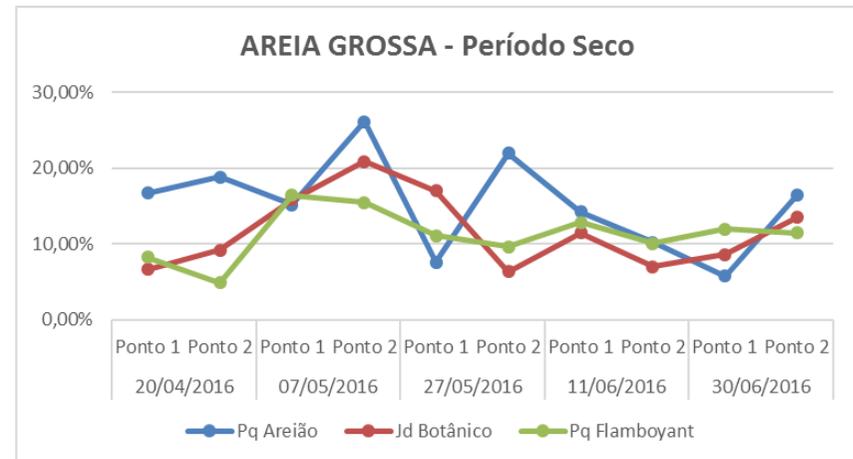
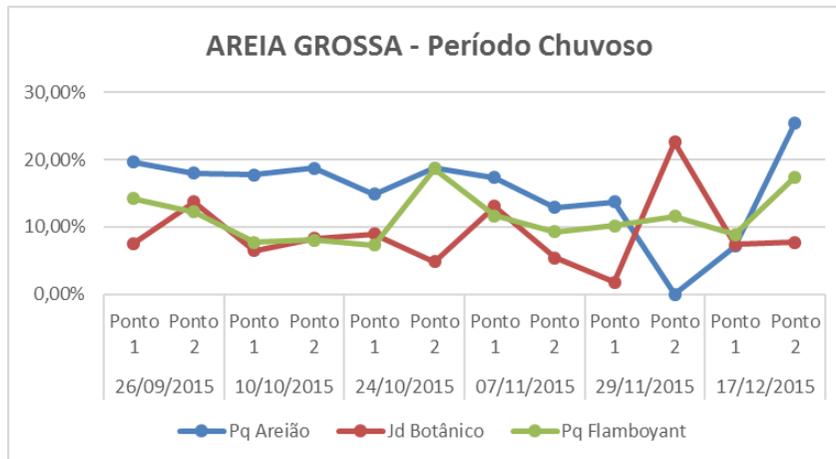


Figura C 4 - Distribuição do percentual de Areia Grossa ao longo dos dois períodos da pesquisa.

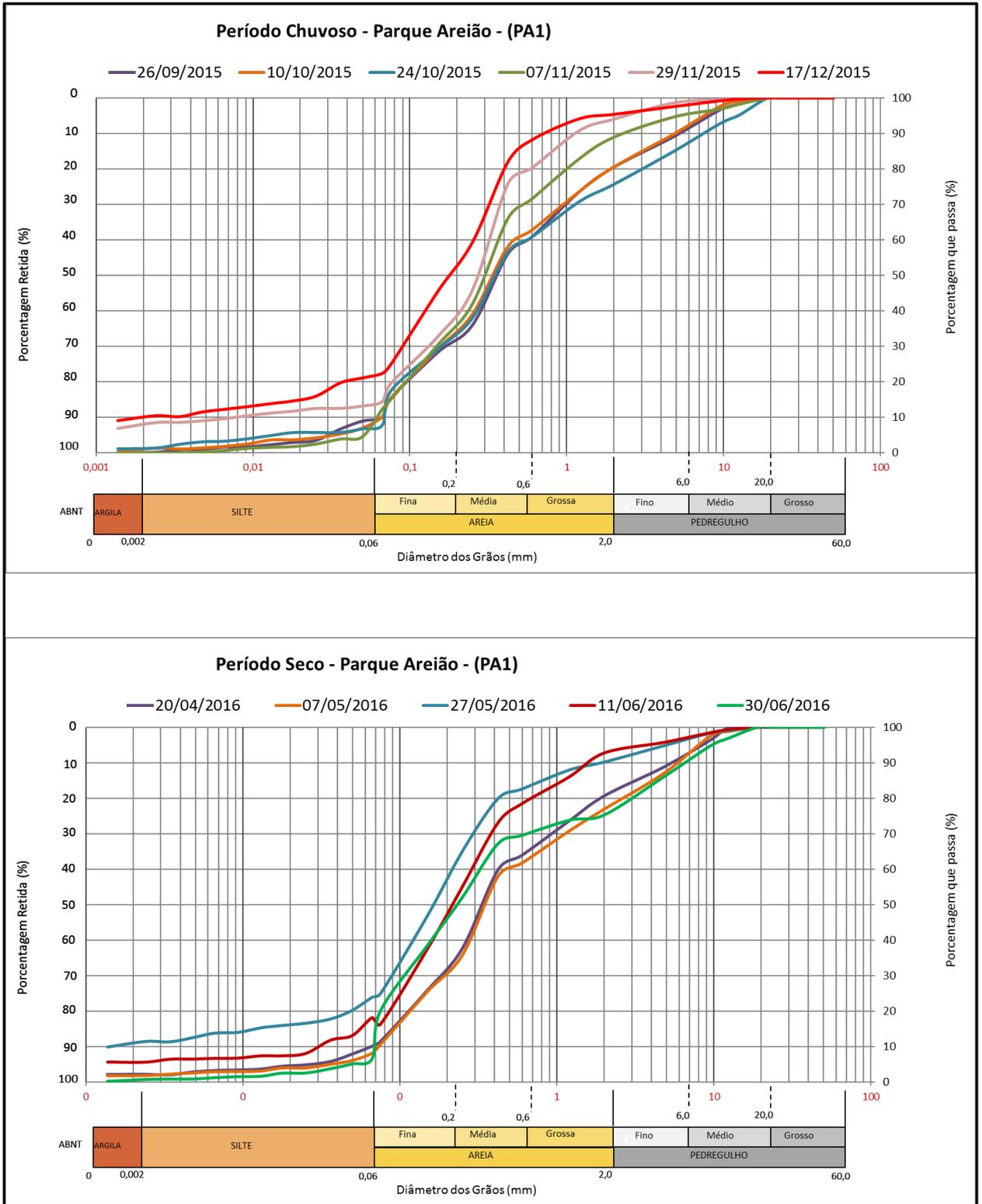


Figura C 5 - Curvas de distribuição granulométrica nos dois períodos da pesquisa em PA1.

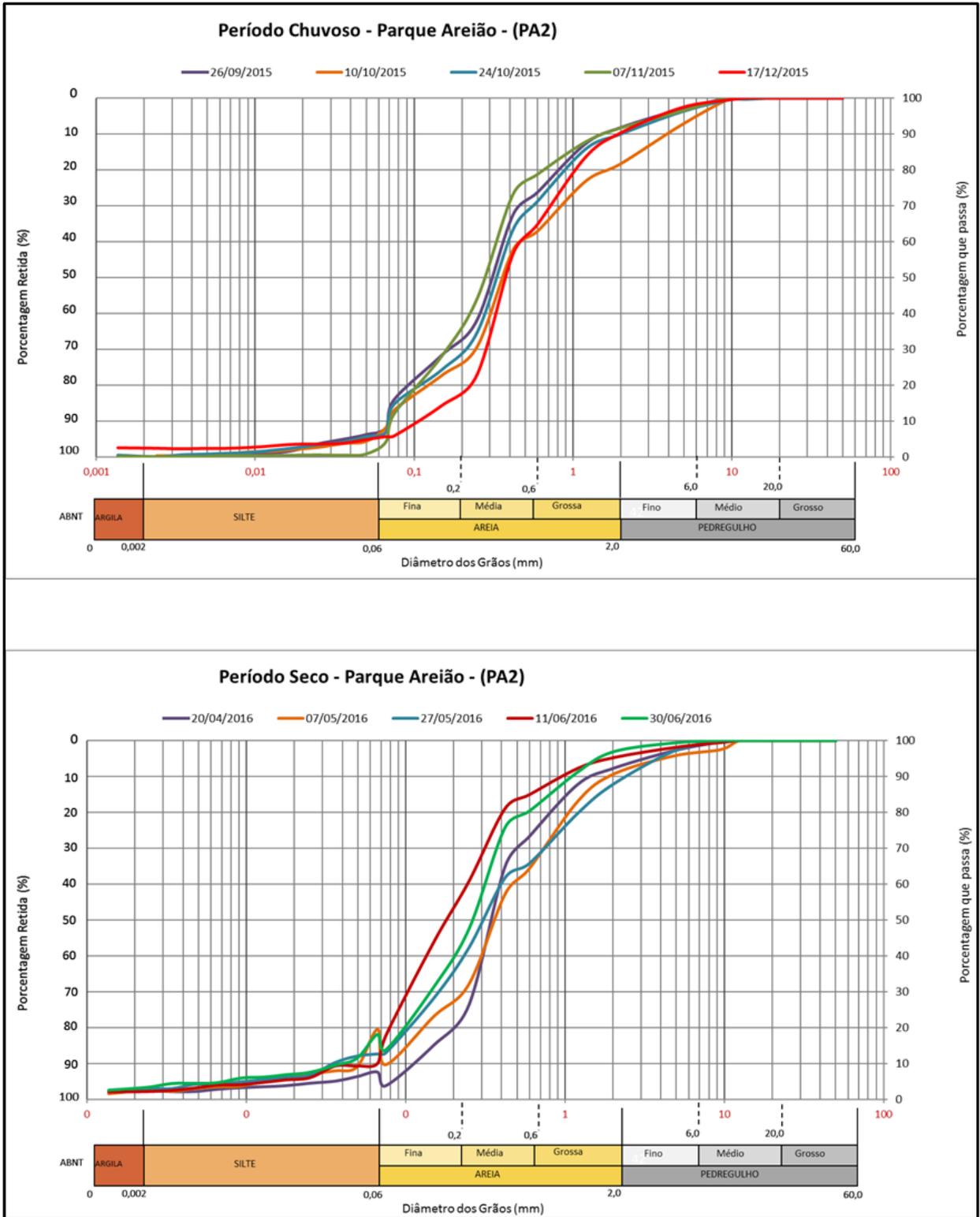


Figura C 6 - Curvas de distribuição granulométrica nos dois períodos da pesquisa em PA2.

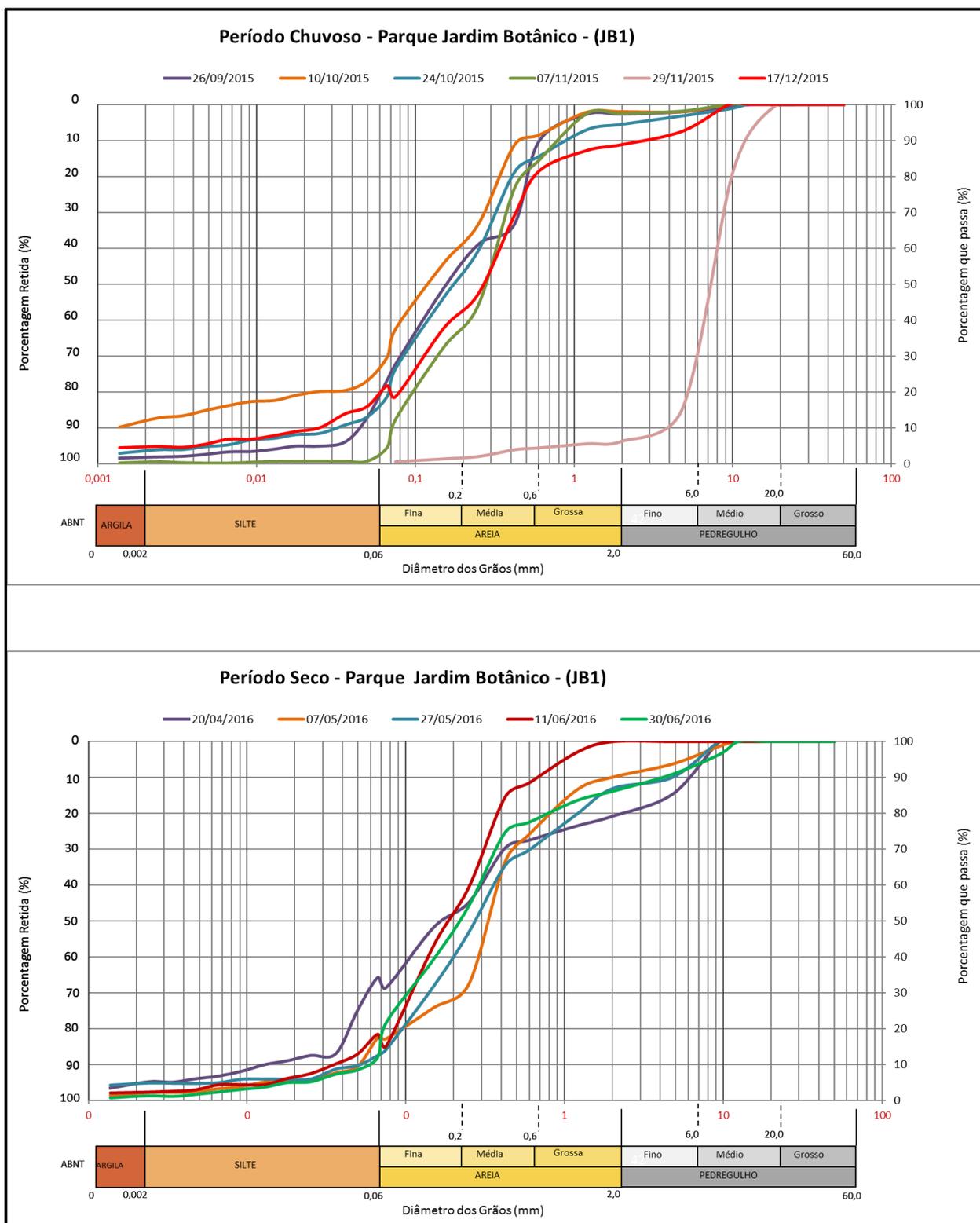


Figura C 7 - Curvas de distribuição granulométrica nos dois períodos da pesquisa em JB1.

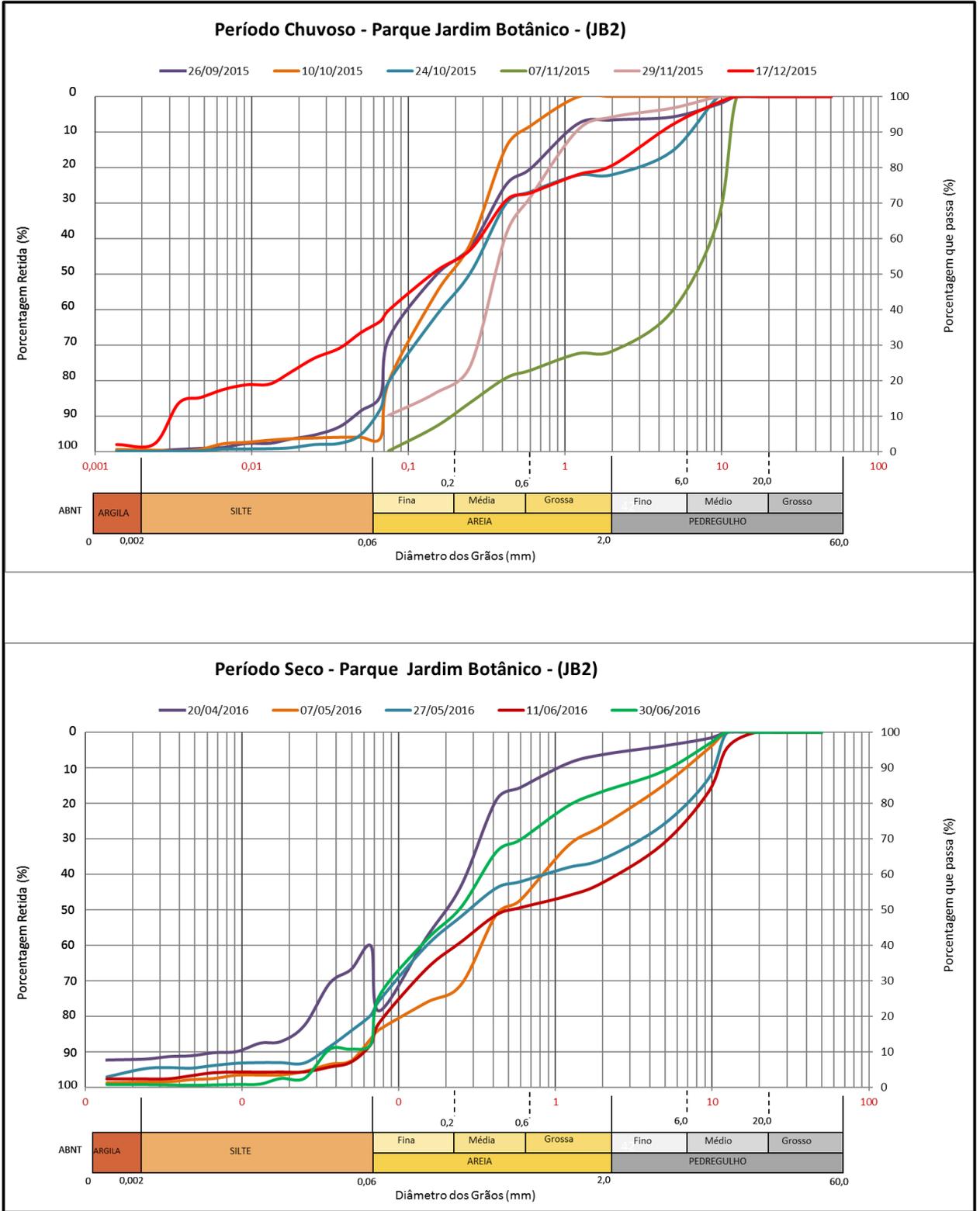


Figura C 8 - Curvas de distribuição granulométrica nos dois períodos da pesquisa em JB2.

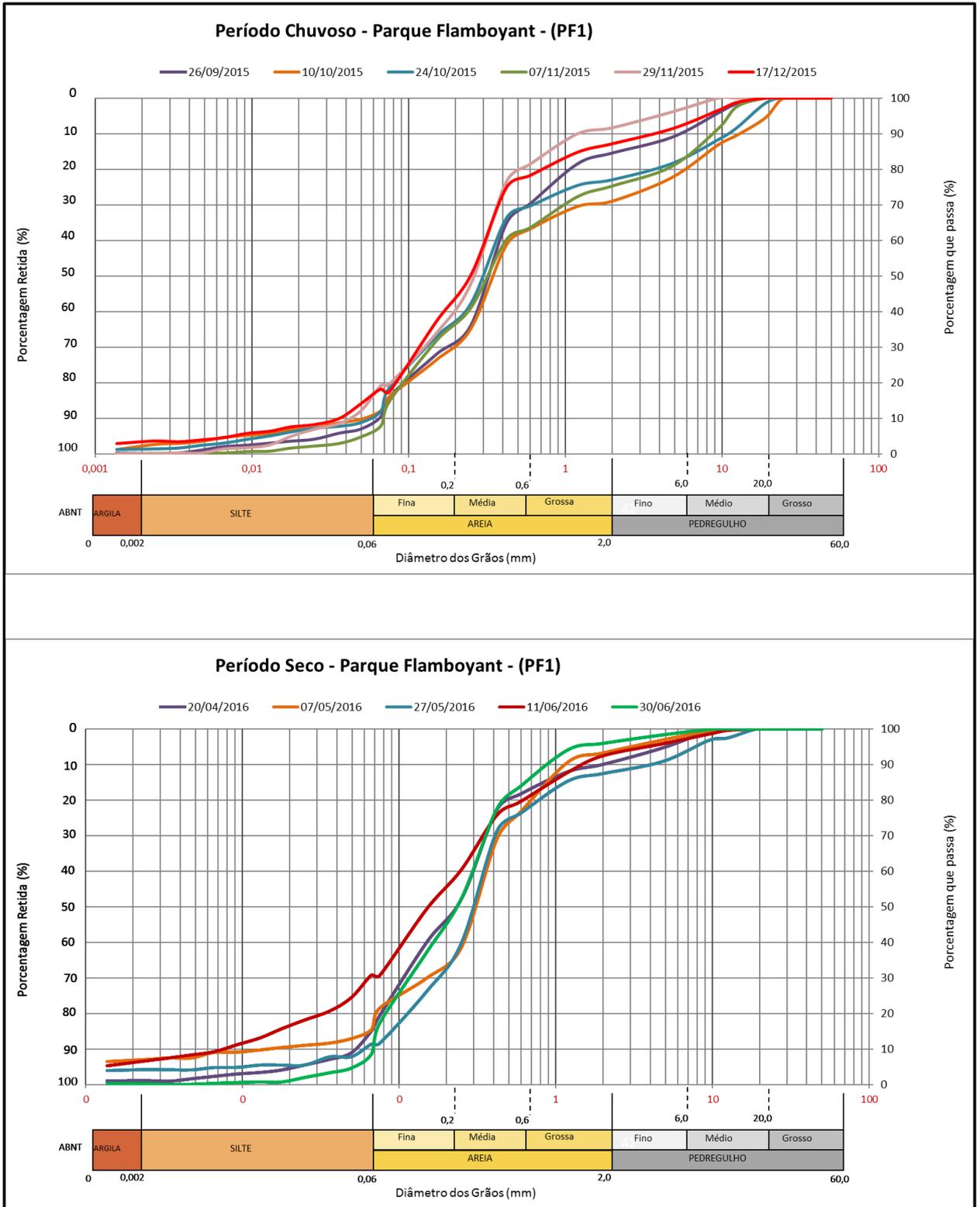


Figura C 9 - Curvas de distribuição granulométrica nos dois períodos da pesquisa em PF1.

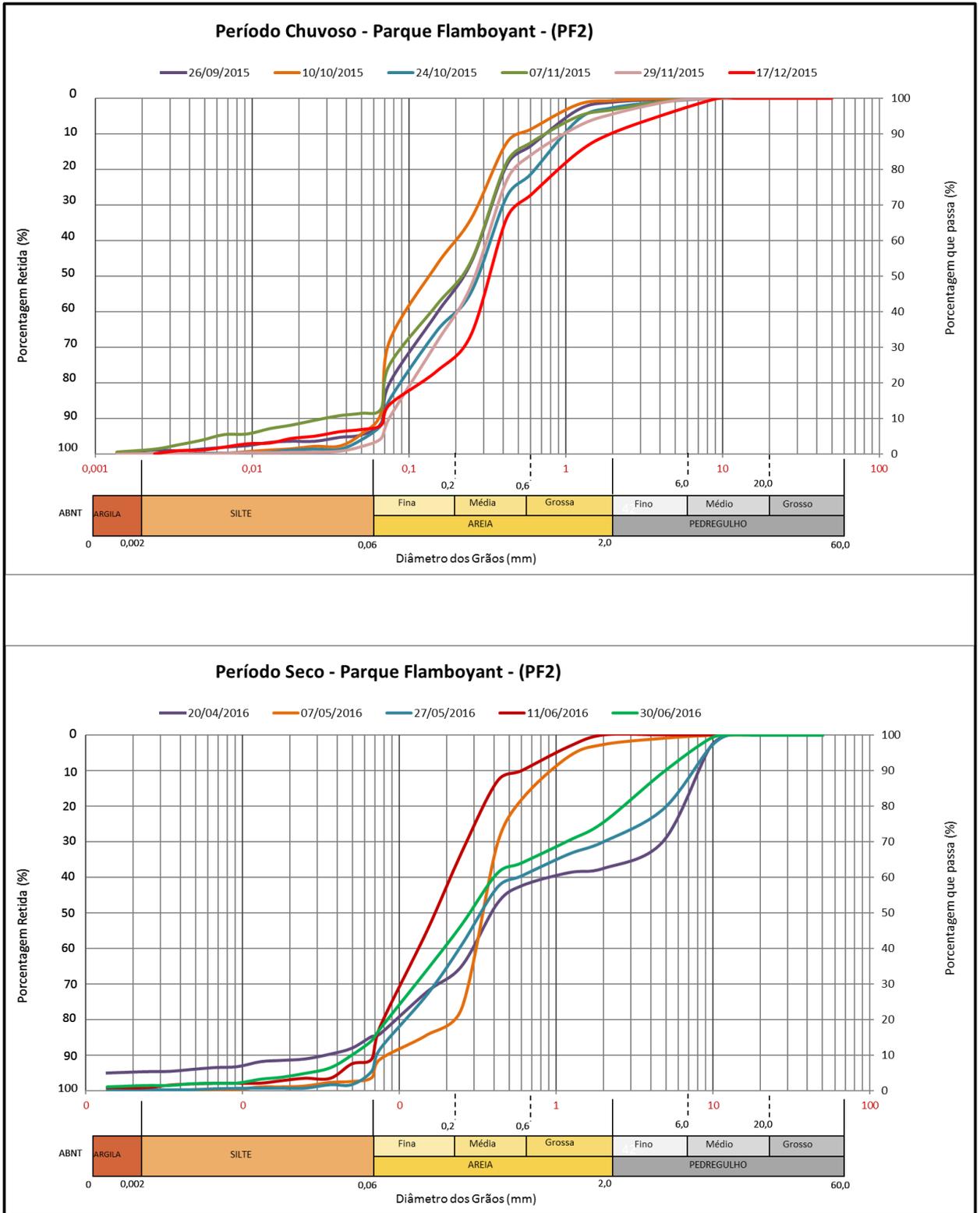


Figura C 10 - Curvas de distribuição granulométrica nos dois períodos da pesquisa em PF2.

APÊNDICE D: DISTRIBUIÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DOS METAIS TRAÇO

Tabela D 1 - Distribuição das concentrações dos metais das amostras da Av. Americano do Brasil (PA1).

Metais (mg/kg)	Resultados por data de coleta (mg / kg)											
	26/09/15	10/10/15	24/10/15	07/11/15	29/11/15	17/12/2015	20/04/2016	07/05/2016	27/05/2016	11/06/2016	30/06/2016	
Cd	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Pb	36,046	24,226	48,401	42,445	6,450	14,180	0,319	0,035	0,094	0,163	0,499	
Cu	78,942	52,132	92,760	137,709	117,581	21,225	0,738	0,819	0,138	0,037	1,679	
Cr	40,921	33,956	44,363	33,794	64,682	48,510	0,381	0,756	0,438	0,329	0,567	
Mn	17,059	25,891	54,144	43,545	178,007	61,520	0,961	1,168	0,637	0,972	0,300	
Ni	8,267	8,025	8,398	9,609	7,539	6,390	0,163	0,130	0,109	0,076	0,117	
Zn	50,270	104,730	40,090	72,260	13,160	23,190	2,930	1,050	<0,02	0,080	0,450	

Tabela D 2 - Distribuição das concentrações dos metais das amostras da Rua S-6 (PA2).

Metais (mg/kg)	Resultados por data de coleta (mg / kg)											
	26/09/15	10/10/15	24/10/15	07/11/15	29/11/15	17/12/2015	20/04/2016	07/05/2016	27/05/2016	11/06/2016	30/06/2016	
Cd	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Pb	33,310	9,115	29,383	30,655	3,543	0,460	0,065	0,011	0,134	0,099	0,026	
Cu	79,648	66,193	46,227	91,973	74,767	12,725	0,629	0,503	0,380	0,307	2,232	
Cr	36,197	27,910	19,804	31,049	25,717	9,350	0,307	0,412	0,314	0,323	0,459	
Mn	37,590	19,794	110,368	39,922	94,046	26,040	0,809	0,560	0,435	0,757	0,019	
Ni	12,325	12,633	6,743	11,982	8,098	6,150	0,206	0,150	0,125	0,100	0,184	
Zn	120,810	88,410	76,840	139,390	142,600	27,520	4,370	0,950	0,490	0,630	1,060	

Tabela D 3 - Distribuição das concentrações dos metais das amostras da Av. 3ª Radial (JB1).

Metais (mg/kg)	Resultados por data de coleta (mg / kg)										
	26/09/15	10/10/15	24/10/15	07/11/15	29/11/15	17/12/2015	20/04/2016	07/05/2016	27/05/2016	11/06/2016	30/06/2016
Cd	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Pb	31,624	45,312	34,420	29,263	5,084	0,270	0,131	0,020	0,226	0,156	0,526
Cu	117,178	83,736	259,351	65,799	115,064	90,655	0,879	0,643	1,197	0,456	2,397
Cr	36,621	41,890	45,968	40,174	32,705	37,010	0,254	0,470	0,614	0,501	0,421
Mn	100,385	< 0,007	42,395	150,178	83,222	110,040	1,394	0,974	0,874	1,272	5,512
Ni	11,436	5,178	11,093	9,085	12,829	17,900	0,186	0,133	0,198	0,135	0,211
Zn	68,670	< 0,02	95,540	151,750	82,900	277,810	7,560	2,080	2,010	1,980	2,060

Tabela D 4 - Distribuição das concentrações dos metais das amostras da Al. João Elias da Silva Caldas (JB2).

Metais (mg/kg)	Resultados por data de coleta (mg / kg)										
	26/09/15	10/10/15	24/10/15	07/11/15	29/11/15	17/12/2015	20/04/2016	07/05/2016	27/05/2016	11/06/2016	30/06/2016
Cd	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Pb	25,386	26,810	33,603	8,560	7,308	0,360	0,172	0,018	0,127	0,049	0,194
Cu	91,801	84,483	106,498	49,255	15,780	173,055	1,221	0,890	0,865	0,234	1,412
Cr	30,766	29,919	31,776	39,356	31,971	10,220	0,314	0,514	0,268	5,304	0,207
Mn	81,610	47,747	47,533	24,175	75,356	90,670	1,433	0,719	0,677	0,677	0,927
Ni	11,144	9,680	9,442	17,190	7,171	5,700	0,157	0,094	0,139	2,022	0,149
Zn	189,080	156,330	213,190	167,910	39,310	73,960	8,070	0,690	1,260	0,590	1,460

Tabela D 5 - Distribuição das concentrações dos metais das amostras da Rua Castorina Bittencourt Alves (PF1).

Metais (mg/kg)	Resultados por data de coleta (mg / kg)										
	26/09/15	10/10/15	24/10/15	07/11/15	29/11/15	17/12/2015	20/04/2016	07/05/2016	27/05/2016	11/06/2016	30/06/2016
Cd	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Pb	27,395	13,220	< 0,005	5,481	5,264	0,540	0,101	0,008	0,015	0,118	0,493
Cu	27,866	20,215	79,355	170,312	13,210	51,375	2,459	0,279	1,125	0,332	0,806
Cr	21,096	18,381	25,891	39,387	31,005	28,540	0,279	0,410	0,296	0,376	0,212
Mn	65,157	57,788	84,123	73,292	164,626	177,720	1,785	0,814	0,724	0,907	0,857
Ni	6,632	1,666	6,935	14,687	6,705	9,650	0,176	0,086	0,114	0,076	0,106
Zn	14,630	67,050	< 0,02	117,330	32,530	63,350	4,270	0,580	0,460	0,150	0,670

Tabela D 6 - Distribuição das concentrações dos metais das amostras da Rua 46 (PF2).

Metais (mg/kg)	Resultados por data de coleta (mg / kg)										
	26/09/15	10/10/15	24/10/15	07/11/15	29/11/15	17/12/2015	20/04/2016	07/05/2016	27/05/2016	11/06/2016	30/06/2016
Cd	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Pb	11,981	43,081	25,619	< 0,005	10,448	0,850	0,016	0,015	0,015	0,115	0,428
Cu	108,376	235,227	281,326	223,023	93,916	58,165	0,312	0,375	0,086	1,268	0,806
Cr	33,631	39,831	34,209	21,995	58,942	23,800	0,334	0,257	0,496	0,446	0,277
Mn	76,341	44,605	43,374	106,703	116,143	103,080	1,617	0,702	0,845	0,477	0,171
Ni	4,623	6,642	6,228	4,401	12,412	8,590	0,178	0,094	0,156	0,083	0,124
Zn	74,690	85,530	122,470	40,630	34,640	71,030	4,080	1,340	0,650	0,450	0,350

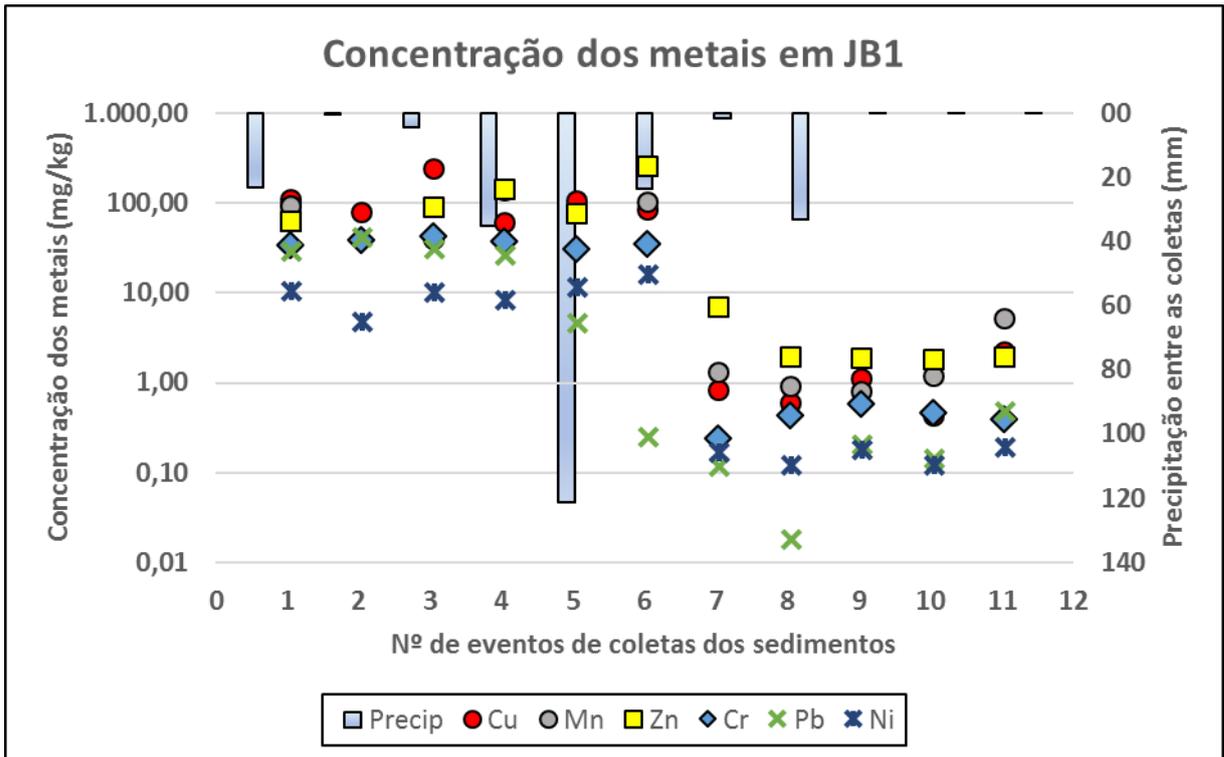


Figura D 1 - Distribuição dos metais em JB1 x Precipitação (mm).

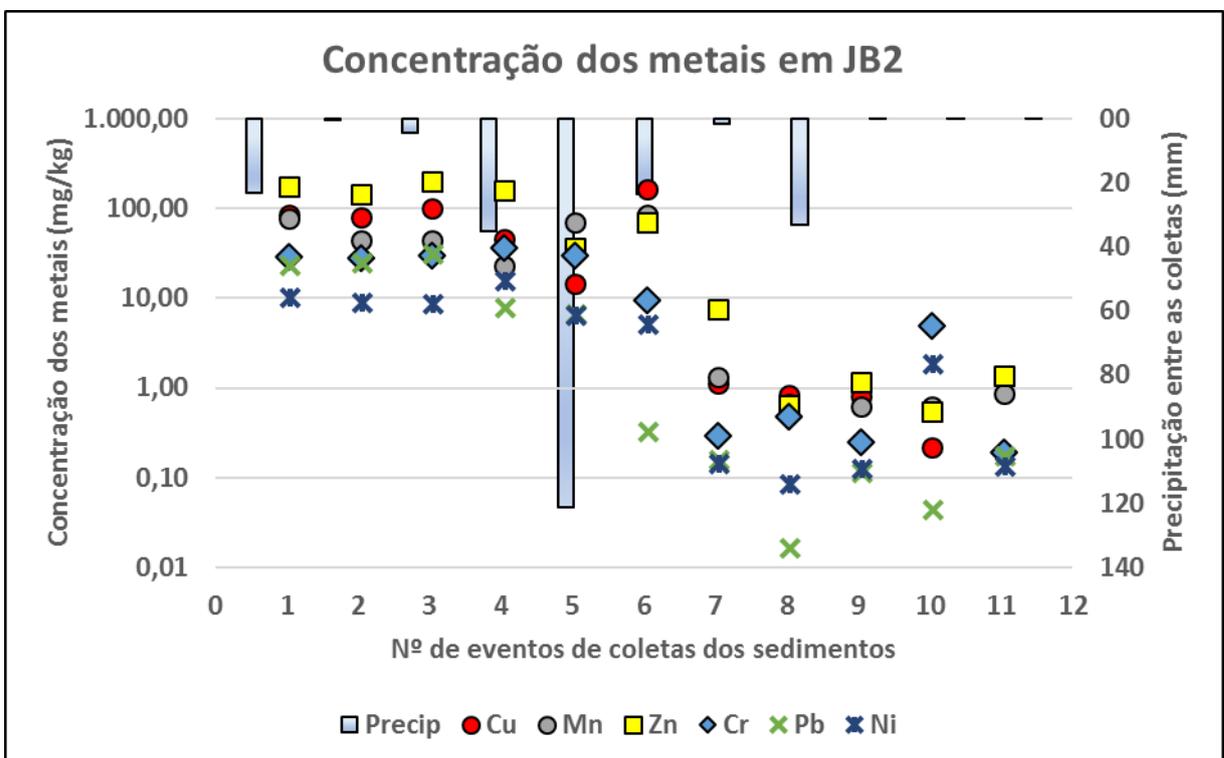


Figura D 2 - Distribuição dos metais em JB2 x Precipitação (mm).

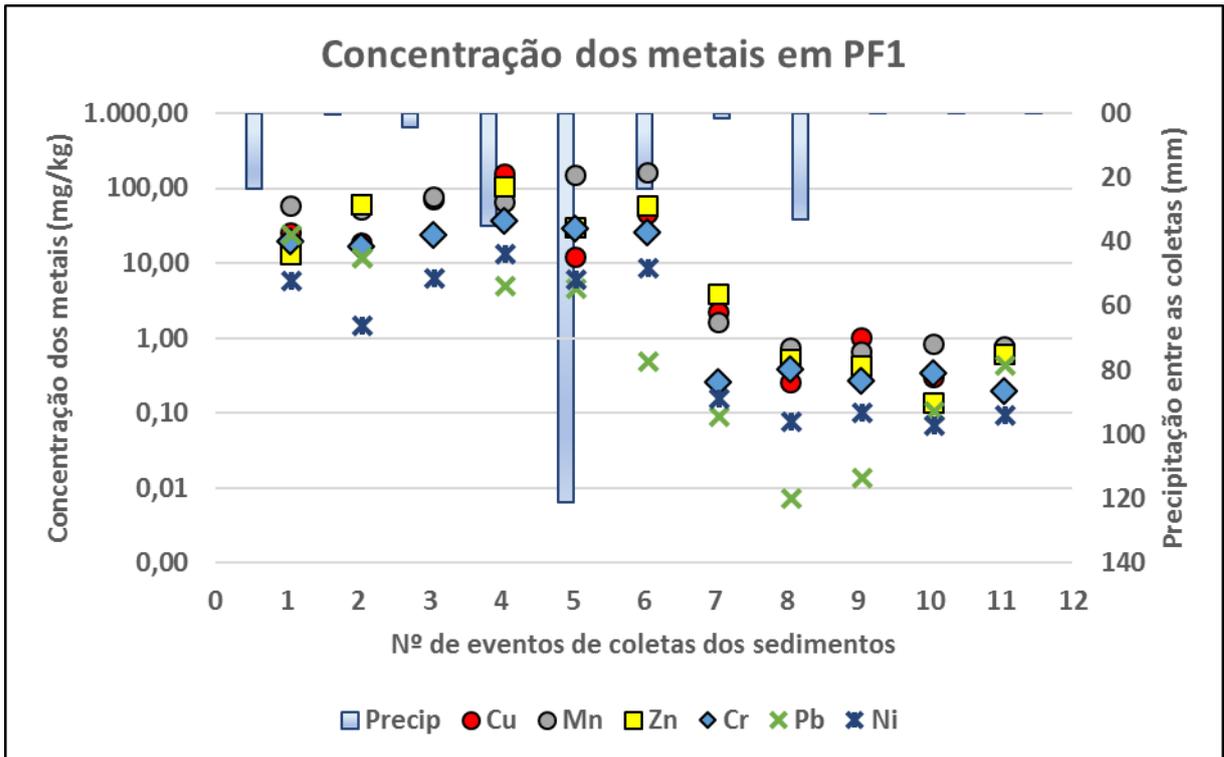


Figura D 3 - Distribuição dos metais em PF1 x Precipitação (mm).

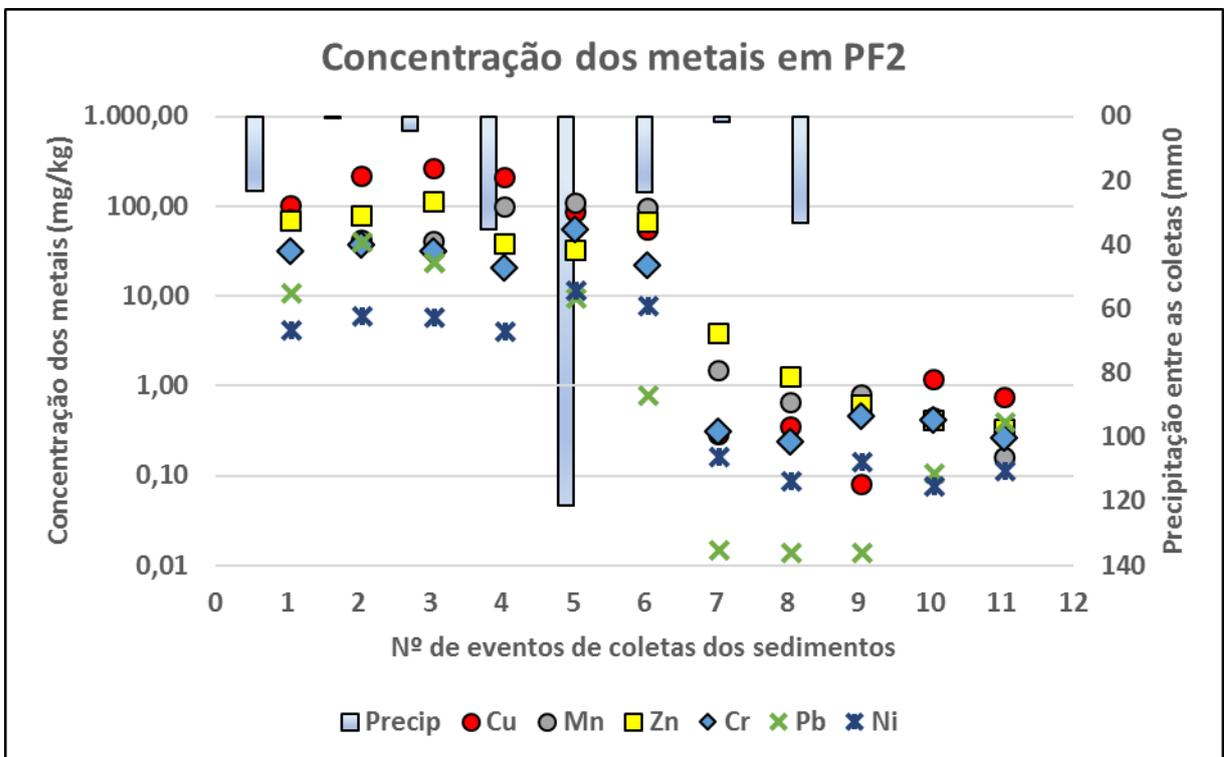


Figura D 4 - Distribuição dos metais em PF2 x Precipitação (mm).

ANEXO I: PLANILHAS DE VARRIÇÃO DISPONIBILIZADAS PELA COMURG

Planilha de varrição da região do Parque Areião (PA1 e PA2).



COMPANHIA DE URBANIZAÇÃO DE GOIÂNIA - COMURG



PLANILHA DE VARRIÇÃO: REGIÃO 02 SUL

SETOR: MARISTA CIRCUITO 10 – 02

FREQUÊNCIA: DIÁRIA DIURNA

Ord.	Nome da Via	Início	Final	Extensão
01	Av. Americano do Brasil	Av. Cel. Eugênio Jardim	Rua 90	1.012,00
02	Av. Areião	Rua 90	Av. 5ª Radial	568,00
03	Av. 5ª Radial	Av. Areião	Av. Cel. Eugênio Cecílio	312,00
04	Av. Cel. Eugênio Cecílio	Av. 5ª Radial	Av. Americano do Brasil	198,00
05	Rua 90	Av. Americano do Brasil		382,00
TOTAL				2.472,00

SETOR: PEDRO LUDOVICO. CIRCUITO 06 – 02

FREQUÊNCIA: DIÁRIA DIURNA

Ord.	Nome da Via	Início	Final	Extensão
01	Rua S-2	Av. Laudelino Gomes	Rua T-62	971,51
02	Rua S-3	Av. Laudelino Gomes	Rua T-62	972,89
03	Rua S-4	Av. Laudelino Gomes	Rua T-62	971,51
04	Rua S-5	Av. Laudelino Gomes	Av. 5ª Radial	1.209,13
05	Rua S-6	Av. Laudelino Gomes	Av. 5ª Radial	1.122,94
06	Rua T-65	Al. Couto Magalhães	Av. 85	524,07
07	Rua T-64	Al. Couto Magalhães	Av. 85	524,07
08	Rua T-62	Al. Couto Magalhães	Av. 85	430,88
09	Rua T-64 A	Al. Couto Magalhães	Rua S-5	81,39
10	Rua T-65 A	Al. Couto Magalhães	Rua S-5	160,44
11	Rua T-13	Al. Couto Magalhães	Av. 85	535,92
12	Rua T-14	Al. Couto Magalhães	Av. 85	491,70
TOTAL				7.996,45

Planilha de varrição da região do Jardim Botânico (JB1 e JB2).



COMPANHIA DE URBANIZAÇÃO DE GOIÂNIA - COMURG



PLANILHA DE VARRIÇÃO: REGIÃO 02 SUL

SETOR: PEDRO LUDOVICO. CIRCUITO 09 – 02

FREQUÊNCIA: TERÇA, QUINTA E SÁBADO (NOTURNA)

Ord.	Nome da Via	Início	Final	Extensão
01	Av. 5ª Radial	Av. 85	Av. 1ª Radial	2.088,00
02	Av. 1ª Radial	Terminal Izidória	Praça do Cruzeiro	5.347,92
03	Av. Areião	Av. 1ª Radial	Av. 5ª Radial	572,00
04	Av. T-63	Av. 85	Av. Circular	1.836,00
05	Av. 4ª Radial	Terminal Izidória	Praça São Paulo	2.152,00
06	Av. 3ª Radial	Terminal Izidória	Al. Botafogo	1.542,00
07	Av. 2ª Radial	Terminal Izidória	Al. Botafogo	1.432,00
08	Av. Circular	Av. 2ª Radial	Av. 2ª Radial	2.604,00
TOTAL				17.573,92

SETOR: PEDRO LUDOVICO. CIRCUITO 49 – 02

FREQUÊNCIA: TERÇA, QUINTA E SÁBADO (NOTURNO)

Ord.	Nome da Via	Início	Final	Extensão
01	Al. Antônio M. Borges	Av. Florianópolis	Al. Botafogo	1.068,00
02	Rua 1.049	Av. Florianópolis	Al. Antônio M. Borges	377,94
03	Rua 1.050	Av. Florianópolis	Av. Bela Vista	918,51
04	Rua Fortaleza	Av. Florianópolis	Av. Bela Vista	936,29
05	Viel da Couto Magalhães	Av. Florianópolis	Al. Antônio M. Borges	209,44
06	Rua Terezinha	Av. Florianópolis	Al. Botafogo	882,97
07	Rua Campo Grande	Av. Florianópolis	Av. Bela Vista	914,34
08	Rua Guaporé	Av. 4ª Radial	Al. Antônio M. Borges	363,66
09	Rua Manaus	Al. Botafogo	Av. 4ª Radial	313,68
10	Av. Bela Vista	Al. Botafogo	Av. 4ª Radial	190,87
11	Rua São Luiz	Av. 4ª Radial	Al. Antônio M. Borges	364,53
12	Rua Rio Branco	Rua Fortaleza	Al. Antônio M. Borges	313,64
13	Viel da Qd. 94	Av. Florianópolis	Al. Antônio M. Borges	226,15
14	Rua 1.041	Av. Florianópolis	Al. Antônio M. Borges	216,10
15	Al. João E. S. Caldas	Av. Florianópolis	Al. Antônio M. Borges	466,60
16	Av. Florianópolis	Av. 4ª Radial	Al. Botafogo	763,02
TOTAL				9.530,80

Planilha de varrição da região do Parque Flamboyant (PF1 e PF2).



COMPANHIA DE URBANIZAÇÃO DE GOIÂNIA - COMURG

**PLANILHA DE VARRIÇÃO: REGIÃO 02 SUL**

SETOR: JARDIM GOIÁS – PARQUE FLAMBOYANT. CIRCUITO 08 – 02
FREQUÊNCIA: SEGUNDA, QUARTA E SEXTA (DIURNO)

Ord.	Nome da Via	Início	Final	Extensão (m)
01	Rua 77	Rua 28	Rua 72	700
02	Rua 72	Rua 77	BR 153	650
03	Rua Castorina B. Alves	BR 153	Av. H	450
04	Av. H	Av. Dep. Jamel Cecílio	Rua 72	600
05	Rua 70	Av. H	Rua 72	500
06	Rua 14	Rua 72	Rua 14-A	800
07	Rua 69	Rua 72	Av. Dep. Jamel Cecílio	800
08	Rua 46	Av. H	Av. A	1000
09	Rua 49	Rua 46	Rua 77	130
10	Rua 50	Rua 46	Rua 77	85
11	Rua 13	Rua 46	Rua 72	210
	TOTAL			5925