

ANÁLISE DA PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO SEDIMENTO DEPOSITADO EM VIAS PAVIMENTADAS, NA BACIA DO CÓRREGO BOTAFOGO, MUNICÍPIO DE GOIÂNIA/GO.

Ricardo de Alcântara Ferreira¹; Jussanã Milograna²

Resumo

Este estudo visou quantificar e caracterizar os sedimentos coletados em ruas pavimentadas, localizadas na região da Bacia do Córrego Botafogo, no município de Goiânia/GO. As estimativas de geração dos sedimentos foram obtidas por análises estatísticas, considerando os parâmetros declividade, fluxo de veículos, taxa de ocupação do solo e as precipitações ocorridas entre as coletas. As amostras foram ensaiadas seguindo as normas da ABNT NBR 7181:2016 e por Espectrometria de Emissão Óptica (ICP OES), com ênfase nos metais Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Manganês, Níquel e Zinco. Os resultados apontam maior acumulação de sedimentos nas vias com menor declividade e maior fluxo de veículos. As maiores massas médias coletadas variaram entre 195,53 e 708,48 g/m², enquanto as menores se apresentaram entre 2,43 e 164,58 g/m². Os maiores percentuais granulométricos se concentraram entre os diâmetros 0,06 a 2,0 mm. Em todas as amostras foram identificadas a presença de metais, sendo que o Cobre, Zinco e Manganês registraram as maiores concentrações. Verificou-se que a precipitação e o escoamento superficial agem diretamente sobre a geração, a granulometria e na propagação de possíveis contaminantes, indicando a necessidade de desenvolvimento de 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 sediments collected on paved streets, located in the region of the Botafogo Stream Basin, in the city of Goiânia/GO. The sediment generation estimates were obtained by statistical analysis, considering the slope parameters, vehicle flow, soil occupation rate and precipitation between collections. The samples were tested according to the standards of ABNT NBR 7181: 2016 and by Optical Emission Spectrometry (ICP OES), with emphasis on the Cadmium, Lead, Copper, Chromium, Manganese, Nickel and Zinc metals. The results point to a greater sediment accumulation in the less declivity and higher vehicle flow pathways. The highest average masses collected varied between 195.53 and 708.48 g/m², while the lowest were between 2.43 and 164.58 g/m². The highest granulometric percentages were between 0.06 and 2.0 mm diameters. In all samples the presence of metals was identified, with Copper, Zinc and Manganese registering the highest concentrations. It was verified that the precipitation and the surface flow act directly on the generation, the granulometry and the propagation of possible contaminants, indicating the need of development of techniques for the treatment and the control of the sources generating the urban sediments.

Key words: Urban sediment. Sediment estimation. Trace metals.

¹ Mestre em Tecnologia de Processos Sustentáveis pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás-IRG; professor do Instituto Federal de Goiás-IFG; e-mail: ricardo.af@ifg.edu.br.

² Doutor em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília-UNB; professora do Instituto Federal de Goiás-IFG, campus Goiânia; e-mail: milogranajussana@gmail.com.

1 Introdução

A expansão desordenada dos grandes centros urbanos associada à ocupação das áreas verdes e a pavimentação de vias, tem como resultado imediato o aumento da impermeabilização dos solos, colaborando para o incremento da velocidade de escoamento das águas superficiais e diminuindo a capacidade de recarga do lençol freático.

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. Em função dessa realidade, este estudo veio proporcionar um maior conhecimento dos processos de geração e acúmulo de sedimentos nas vias pavimentadas levando-se em consideração os parâmetros declividade, fluxo de veículos, taxa de ocupação (uso do solo), as características de urbanização de cada região e a interação destes parâmetros com os eventos de precipitação, observando a sazonalidade do clima. Verificou-se que esses parâmetros interferem na geração, na granulometria e na composição dos sedimentos, colaborando para avaliação dos riscos de comprometimento das estruturas de captação pluvial e dos recursos hídricos.

O objetivo desta pesquisa visa quantificar e caracterizar os sedimentos presentes em vias pavimentadas na cidade de Goiânia, coletando amostras em dois períodos climáticos distintos (chuvoso e seco), considerando que esses sedimentos são as principais fontes geradoras de poluição difusa no meio urbano.

O estudo aborda também a caracterização e a presença de metais nas amostras dos sedimentos coletados, que podem servir como indicadores de possíveis contaminantes do meio ambiente e dos recursos hídricos.

As metodologias utilizadas nas coletas das amostras dos sedimentos, seguiram os estudos desenvolvidos por Deletic *et al.* (2000) e Butler e Clark (1995), 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.

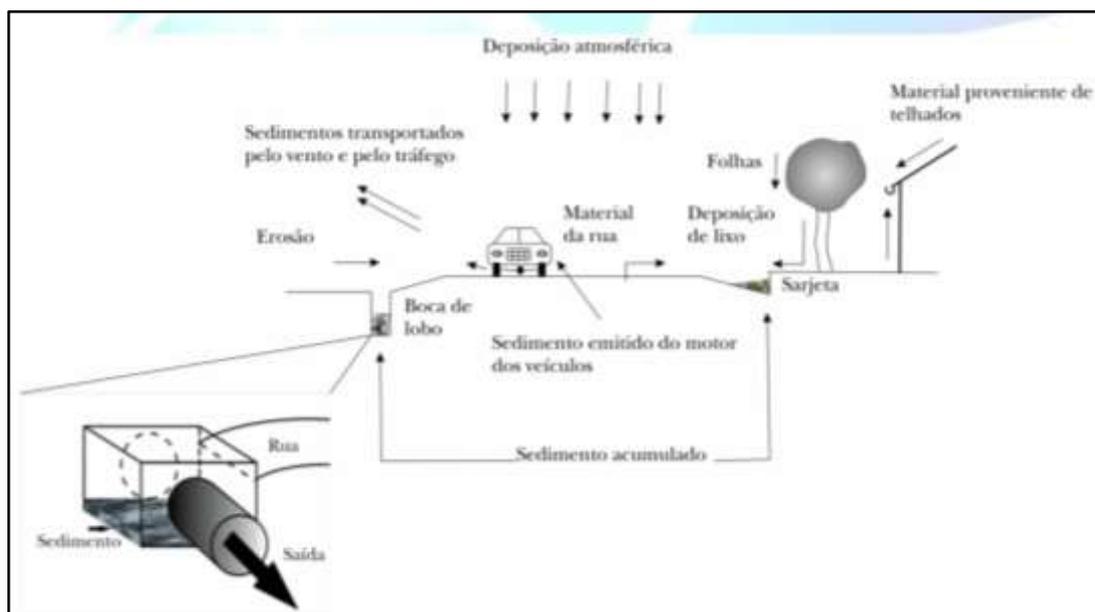
2 Desenvolvimento

2.1 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).

Butler e Clark (1995) destacam como principais fontes de sedimentos urbanos os materiais originalmente encontrados nas vias pavimentadas e provenientes de obras dispostas ao longo destas vias, bem como os resíduos gerados a partir do uso de veículos, das atividades comerciais e industriais. Na Figura 1 estão representadas as principais fontes geradoras dos sedimentos urbanos descritos por Poletto *et al.* (2009).

Figura 1 - Fontes de sedimentos em ambientes urbanos.



Fonte: Poletto *et al.*, 2009..

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 os 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 de um corpo 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, 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.

2.2 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 caracterizar-se como potenciais fontes poluidoras, com alto poder de contaminação dos corpos hídricos pela ação do escoamento superficial.

De acordo com Charlesworth *et. al* (2003), a absorção de metais pesados ou não, que vão se associar aos sedimentos depositados em vias e superfícies impermeáveis está diretamente ligada à granulometria destes sedimentos, principalmente com suas frações mais finas.

Segundo Poletto 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 as influenciam.

Ainda de acordo com Poletto e Merten (2013), o desenvolvimento de técnicas que utilizam as características físicas e químicas dos sedimentos, tem aumentado a capacidade de identificar as fontes geradoras destes sedimentos e das concentrações dos contaminantes encontrados nos recursos hídricos. A caracterização do sedimento urbano é de extrema importância para avaliação de seu potencial poluidor e identificação dos agentes que dão origem à sua formação e deposição, e a partir desse conhecimento, desenvolver técnicas para o tratamento, coleta e destino final dos sedimentos presentes no meio urbano.

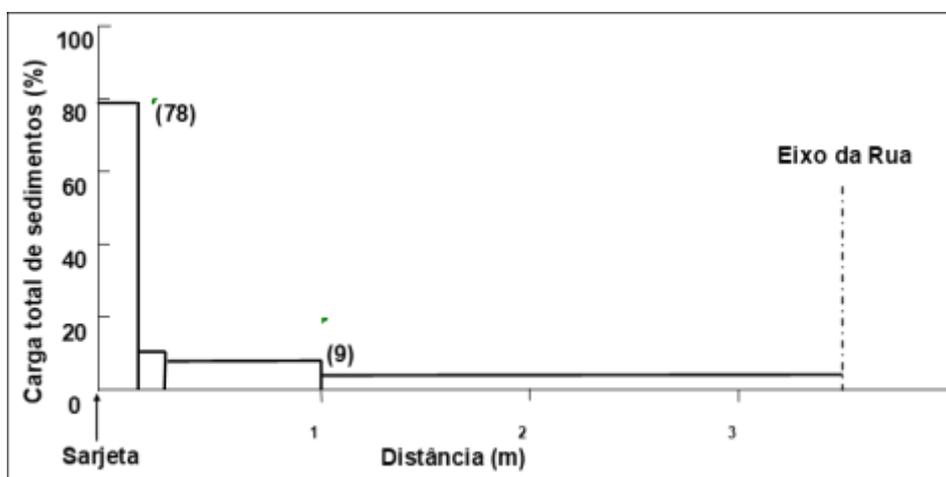
2.3 Materiais e métodos

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

Também os resultados atingidos por 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.

Nas análises das fontes de poluição difusa e do espalhamento do sedimento no ambiente urbano, formulado 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 2.

Figura 2 - Distribuição dos sedimentos ao longo da seção da rua.



Fonte: Butler e Clark, 1995.

2.4 Descrição da área de estudo

O estudo foi desenvolvido na região da bacia do córrego Botafogo, que 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.

De acordo com Martins Júnior (1996), 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 municipal Jardim Botânico Amália Hermano Teixeira, região sul de Goiânia.

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 pavimentadas (ruas e avenidas). 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 terem sido 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. A estação chuvosa, compreendida entre os meses de dezembro a março e a outra é a estação seca, entre os meses de maio 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), descrevem os dados pluviométricos na região metropolitana de Goiânia, que apresentam uma variação média anual de chuvas entre 1200 mm e 2100 mm.

No Quadro 1 estão discriminadas as seis ruas escolhidas para o experimento.

Quadro 1 – Legenda dos pontos de coletas dos sedimentos.

Ponto de Coleta	PA1	PA2	JB1	JB2	PF1	PF2
Nome da rua	Av. Americano do Brasil	Rua S-6	Av. 3ª Radial	Al. João Elias da S. Caldas	Rua Castorina Bittencourt Alves	Rua 46

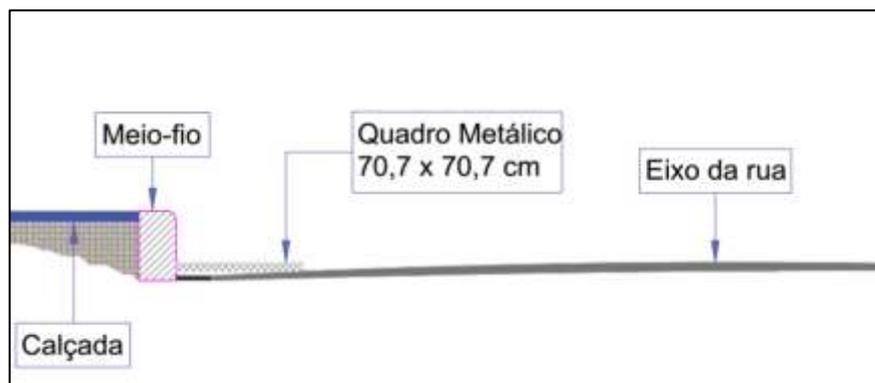
Fonte: Próprios autores, 2018.

2.5 Coleta do sedimento seco

As coletas dos sedimentos foram realizadas em três (03) seções por rua, em cada evento de coleta, seguindo a orientação da ABNT NBR 10007:2004, que estabelece o mínimo três amostras simples, em cada ponto, para obtenção da faixa de variação da concentração do resíduo. As três seções de coleta foram posicionadas a cinco (05) metros uma da outra, marcadas a partir da face externa do quadro, conforme experimento realizado por Santos (2015). A primeira seção a ser coletada em cada rua foi posicionada a 5 metros de um bueiro, padronizando assim, o mesmo sentido de escoamento superficial para todos os pontos de coleta.

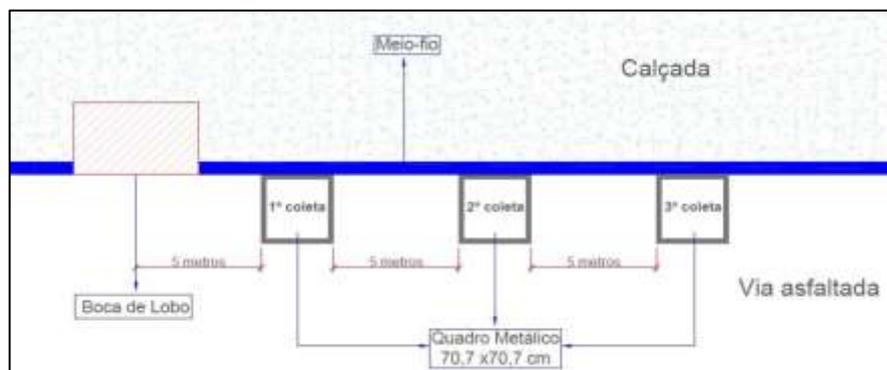
As Figuras 3 e 4 ilustram o procedimento utilizado nas coletas dos sedimentos para cada uma das ruas selecionadas para o estudo.

Figura 3 – Vista em corte do quadro de coleta das amostras dos sedimentos.



Fonte: Próprios autores, 2018.

Figura 4 – Vista em planta do quadro de coleta das amostras dos sedimentos.



Fonte: Próprios autores, 2018.

O quadro metálico foi posicionado junto ao meio fio, seguindo os estudos realizados por Buttler e Clark (1995), que indicaram a sarjeta como local de maior concentração do sedimento em vias pavimentadas no ambiente urbano. Os sedimentos foram coletados seguindo o método de aspiração mecânica e escovação manual, utilizado no experimento realizado por Vaze e Chiew (2002). As amostras obtidas foram compostas por três (03) seções em cada rua, delimitadas por um quadro metálico com dimensões de (0,707 x 0,707) m. A área total de coleta por rua foi de 1,50 m² em cada evento de coleta.

Para cada seção, primeiro foi aspirada a carga livre (CL) do sedimento. Após a coleta da CL, a mesma seção foi escovada para obtenção do sedimento aderido ao pavimento, a carga fixa (CF). Após a escovação da seção, a CF foi também aspirada e armazenada juntamente com a CL. Ao final da aspiração das 3 seções obteve-se a carga total (CT) do sedimento coletado em cada rua. Coletada a CT 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 de nova coleta, na próxima rua, o saco do aspirador de pó era substituído por um novo.

2.6 Parâmetros adotados para estimativa de geração do sedimento

No Quadro 2 estão descritos os parâmetros adotados na realização das coletas dos sedimentos e as coordenadas geográficas de cada ponto de coleta.

Quadro 2 - Características e parâmetros das ruas do experimento.

Pontos de Coleta	Declividade	Fluxo médio veículos (hora de pico)	Taxa de ocupação	Coord. geográfica dos pontos
PA1	1,14%	624	88,35%	16° 42' 18" S 49° 15' 20" W
PA2	3,85%	87	95,00%	16° 42' 36" S 49° 15' 35" W
JB1	5,72%	712	94,44%	16° 43' 12" S 49° 15' 02" W
JB2	3,93%	337	100,00%	16° 43' 05" S 49° 15' 06" W
PF1	6,11%	792	55,63%	16° 42' 17" S 49° 14' 06" W
PF2	3,24%	453	53,71%	16° 42' 14" S 49° 14' 12" W

Fonte: Próprios autores, 2018.

O fluxo de veículos de cada uma das vias foi determinado por contagem volumétrica, com base no Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2006) e a taxa de ocupação foi calculada a partir dos levantamentos das áreas registradas nos mapas fornecidos pela Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos de Goiânia (SEINFRA, 2016).

2.7 Análise granulométrica dos sedimentos coletados

No laboratório de Solos do IFG, todas as amostras foram homogêneas, pesadas e armazenadas para realização dos ensaios de granulometria e uma pequena fração, aproximadamente 1 grama de cada amostra, foi enviada para um laboratório terceirizado para análise da presença de metais adsorvidos ao sedimento. A seguir foi efetuada a extração do material orgânico estranho às amostras, e preparadas as mesmas para ensaio de acordo com a norma da ABNT NBR 6457:2016.

2.8 Análise dos metais traço

Foram retiradas das amostras homogêneas uma porção de no máximo 1 grama, para execução dos ensaios de identificação 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 utilizado para preservar as amostras retiradas do saco descartável do aspirador, visando determinar a amostragem do “branco” das amostras. As amostras passaram pelo processo de digestão ácida (ou abertura) para remover os compostos orgânicos presentes e analisadas por Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP OES), técnica analítica usada para determinar quantitativa e qualitativamente a presença de metais em diversos tipos de amostras. As análises seguiram de acordo com o método 3050B, USEPA (United States Environmental Protection Agency), utilizando-se o equipamento denominado Perkin Elmer Optima 7300 DV.

3 Resultados

3.1 Quantificação do sedimento coletado

Análises iniciais demonstraram que PA1, PF1 e PF2 apresentaram os maiores resultados totais de acumulação do sedimento. Analisando as 66 amostras de sedimentos coletadas, verifica-se que estes três pontos são responsáveis pelos 20 maiores valores de massas coletadas. Essas três ruas possuem características bastante distintas:

a) 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.

b) 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, sendo PA2 (95,00%) e JB1 (94,44%).

c) 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.

d) 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 os 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,

observou-se também que PF2 foi o local que registrou a menor variação das médias dos valores das massas coletadas nos dois períodos.

Na Tabela 1 estão descritas as massas médias dos sedimentos coletados nas 11 campanhas do experimento.

Tabela 1 - Massa média coletada por campanha (g/m²).

Nº Evento de Coleta	Data das Coletas	Nº de dias sem precipitação antes da coleta	Volume Precipitado entre as coletas (mm)	PA1	PA2	JB1	JB2	PF1	PF2
				Mm g/m ²					
01	26/09/15	15	23,40	617,2	209,1	354,4	142,6	495,1	225,3
02	10/10/15	01	0,60	420,9	620,9	387,9	38,1	269,2	214,9
03	24/10/15	01	4,40	568,3	327,1	278,0	119,5	355,4	432,3
04	07/11/15	01	35,20	317,4	60,9	61,7	2,4	438,3	194,8
05	29/11/15	01	121,20	572,6	13,9	120,2	70,8	53,3	218,5
06	17/12/15	03	23,60	605,3	183,3	82,0	116,9	147,4	230,2
07	20/04/16	22	0,00	195,5	232,6	91,0	164,6	251,2	102,8
08	07/05/16	08	1,80	367,5	101,2	153,0	97,2	414,2	303,1
09	27/05/16	08	33,20	708,5	105,2	84,3	33,3	168,8	269,9
10	11/06/16	22	0,00	360,7	250,3	148,2	66,9	682,2	378,8
11	30/06/16	40	0,00	200,5	117,2	325,4	105,6	339,2	364,2

Fonte: Próprios autores, 2018.

Na Tabela 2 as massas médias foram analisadas estatisticamente e comparadas aos resultados obtidos entre os períodos chuvoso e seco.

Tabela 2 - 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%

Fonte: Próprios autores, 2018.

Os resultados obtidos nesta pesquisa apresentaram grande diferença quando comparados aos apresentados por Nelson e Booth (2002), talvez explicados pelas condições encontradas entre as regiões estudadas, tais como: a qualidade do pavimento, o clima da região, o grau de desenvolvimento urbano e o 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 Commercial Street, Dundee, Escócia (massa média registrada 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. JB2 sofre as interferências do alto tráfego de JB1, que é rota de acesso à BR 153 (rota de entrada e saída para a capital, na região sul de Goiânia).

De acordo com Silva (2014), estudos realizados por Viklander (1998), utilizando a técnica de escovação mecanizada (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, conforme descrito na Tabela 1.

Considerando os estudos de Deletic *et al.* (2000), que descrevem 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 ao longo do ano, enquanto na região Centro-Oeste a distribuição das chuvas ocorre em dois períodos distintos, o chuvoso e o 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 tendência de redução durante o período chuvoso (setembro a dezembro/2015) e um acréscimo no período seco (abril a junho/2016).

3.2 Estimativa de geração do sedimento

Para estabelecer uma estimativa de geração do sedimento em cada uma das vias e em todos os eventos de coletas, foram utilizados os dados das massas médias coletadas (Tabela 1), 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.

Os dados foram modelados aplicando-se a técnica da regressão linear múltipla, utilizando-se do software Action Start®. Os valores descritos na Tabela 3 estão dispostos destacando-se os dois períodos de realização das coletas (chuvoso e seco).

Tabela 3 - Valores ajustados das massas médias estimadas (g/m^2).

Nº Evento Coleta	Período	Data das Coletas	PA1	PA2	JB1	JB2	PF1	PF2
			<i>Mm</i>	<i>Mm</i>	<i>Mm</i>	<i>Mm</i>	<i>Mm</i>	<i>Mm</i>
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

Fonte: Próprios autores, 2018.

Na Tabela 4 a área de coleta do sedimento foi definida como o produto da aresta do quadro metálico, pelo comprimento das sarjetas, que é igual a 2 vezes o comprimento das ruas (pois a acumulação ocorre nos dois lados das vias).

Tabela 4 - Área de coleta do sedimento para cada rua da pesquisa (área de sarjeta).

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

Fonte: Próprios autores, 2018.

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.

A partir das amostras coletadas, das características de cada rua e levando em consideração os estudos de Delitic *et al.* (2000), que afirmam que 90% das cargas do sedimento estão depositadas nas sarjetas das vias, foram estimados os quantitativos das massas presentes em cada rua do experimento. Os valores estimados foram obtidos utilizando-se os dados descritos na Tabela 3 e 4, que geraram os resultados descritos na Tabela 5.

Tabela 5 – Estimativa de massa depositada nas ruas nas datas das coletas (kg).

Nº Evento de Coleta	Período	Ruas	PA1	PA2	JB1	JB2	PF1	PF2
		Área de sarjeta	1.414,00	565,60	1.131,20	777,70	636,30	820,12
		Data Coleta	Massa estimada					
01	Chuvoso	26/09/15	512,25	59,05	202,26	119,48	157,79	238,07
02		10/10/15	564,47	79,94	244,03	148,20	181,29	268,36
03		24/10/15	559,39	77,90	239,97	145,41	179,00	265,41
04		07/11/15	518,18	61,42	207,00	122,74	160,46	241,51
05		29/11/15	403,11	15,39	114,94	59,45	108,68	174,77
06		17/12/15	530,60	66,39	216,93	129,57	166,05	248,71
07	Seco	20/04/16	532,71	67,23	218,62	130,73	167,00	249,93
08		07/05/16	552,01	74,95	234,06	141,35	175,68	261,13
09		27/05/16	510,00	58,15	200,45	118,24	156,78	236,76
10		11/06/16	532,71	67,23	218,62	130,73	167,00	249,93
11		30/06/16	504,79	56,06	196,28	115,38	154,43	233,74

Fonte: Próprios autores, 2018.

3.3 Granulometria dos sedimentos coletados

De maneira geral todos os pontos do experimento apresentaram resultados 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.

A distribuição granulométrica em PA1 demonstrou que 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, 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 maiores frações do sedimento.

PA2 também apresentou o maior percentual entre os 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. Verifica-se que logo após a redução das chuvas há um incremento das concentrações de areia fina e média (entre a 7ª e a 10ª coleta). Nas Tabelas 6 e 7 estão descritos os percentuais granulométricos de PA1 e PA2, classificados conforme NBR 7181:2016.

Tabela 6 - Granulometria dos sedimentos coletados na Av. Americano do Brasil (PA1).

Percentual granulométrico das 11 campanhas em PA1									
Classificação do Solo ABNT	Argila	Silte	Areia			Pedregulho			
			Fina	Média	Grossa	Fino	Médio	Grosso	
Datas das Coletas	26/09/15	0,30%	9,23%	22,71%	28,74%	19,64%	10,49%	7,47%	1,42%
	10/10/15	1,41%	7,13%	25,69%	28,67%	17,76%	11,26%	7,39%	0,69%
	24/10/15	1,30%	5,89%	26,43%	27,24%	14,87%	11,29%	8,98%	4,00%
	07/11/15	0,06%	7,85%	28,33%	35,43%	17,36%	6,23%	3,32%	1,42%
	29/11/15	8,45%	5,30%	25,52%	41,02%	13,75%	4,80%	0,90%	0,26%
	17/12/15	10,42%	11,39%	30,60%	35,82%	7,17%	2,56%	1,75%	0,28%
	20/04/16	2,10%	6,62%	23,11%	32,15%	16,73%	10,09%	9,21%	0,00%
	07/05/16	1,75%	5,08%	23,82%	31,08%	15,18%	12,82%	9,31%	0,96%
	27/05/16	11,46%	10,93%	33,66%	26,54%	7,57%	5,52%	3,52%	0,80%
	11/06/16	5,64%	9,81%	30,93%	32,07%	14,25%	3,66%	3,07%	0,57%
	30/06/16	0,69%	4,96%	39,69%	24,17%	5,77%	12,97%	9,23%	2,52%

Fonte: Próprios autores, 2018.

Tabela 7 - Granulometria dos sedimentos coletados na Rua S-6 (PA2).

Percentual granulométrico das 11 campanhas em PA2									
Classificação do Solo ABNT	Argila	Silte	Areia			Pedregulho			
			Fina	Média	Grossa	Fino	Médio	Grosso	
Datas das Coletas	26/09/15	0,06%	6,94%	26,27%	40,48%	18,04%	5,89%	2,32%	0,00%
	10/10/15	0,37%	5,63%	20,82%	36,14%	18,71%	12,56%	5,77%	0,00%
	24/10/15	0,09%	6,07%	23,33%	41,72%	18,72%	7,01%	2,78%	0,28%
	07/11/15	0,15%	1,81%	34,16%	42,60%	12,90%	5,60%	2,78%	0,00%
	29/11/15	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	17/12/15	2,44%	2,72%	13,49%	46,16%	25,50%	7,55%	2,15%	0,00%
	20/04/16	2,56%	4,35%	13,91%	52,56%	18,84%	5,55%	2,23%	0,00%
	07/05/16	2,71%	11,39%	13,64%	36,73%	26,12%	5,57%	3,83%	0,00%
	27/05/16	3,04%	9,29%	22,93%	30,57%	21,95%	10,00%	2,22%	0,00%
	11/06/16	2,26%	7,39%	42,72%	32,61%	10,24%	3,19%	1,59%	0,00%
	30/06/16	3,43%	11,36%	24,71%	40,94%	16,43%	2,64%	0,49%	0,00%

Fonte: Próprios autores, 2018.

Os ensaios de granulometria para JB1, demonstraram que o percentual de distribuição da areia fina, média e grossa se apresentaram de forma bastante heterogênea no período chuvoso, variando entre 78,28% (maior valor em 26/09/2015) e 5,82% (menor valor em 29/11/2015).

Em 29/11/2015, a presença de material de maior granulometria, ocorreu como um fato isolado, influenciado pelo serviço de recapeamento asfáltico. 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.

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 e nos períodos secos sofre a influência pelo fluxo de veículos e pela ação do vento.

Nas Tabelas 8 e 9 estão descritos os percentuais granulométricos de JB1 e JB2, classificados conforme NBR 7181:2016.

Tabela 8 - Granulometria dos sedimentos coletados na Av. 3ª Radial (JB1).

Percentual granulométrico das 11 campanhas em JB1									
Classificação do Solo ABNT	Argila	Silte	Areia			Pedregulho			
			Fina	Média	Grossa	Fino	Médio	Grosso	
Datas das Coletas	26/09/15	1,83%	17,28%	35,82%	34,88%	7,58%	1,02%	1,59%	0,00%
	10/10/15	12,75%	15,07%	33,40%	30,21%	6,51%	0,54%	1,52%	0,00%
	24/10/15	3,92%	12,54%	36,36%	32,73%	8,96%	2,85%	2,64%	0,00%
	07/11/15	0,48%	1,41%	36,31%	46,17%	13,03%	1,17%	1,43%	0,00%
	29/11/15	0,01%	0,40%	1,24%	2,74%	1,84%	24,86%	61,88%	7,03%
	17/12/15	4,86%	13,70%	23,95%	38,93%	7,36%	5,62%	5,58%	0,00%
	20/04/16	5,28%	23,12%	23,41%	20,74%	6,64%	9,89%	10,92%	0,00%
	07/05/16	2,26%	11,25%	15,70%	44,94%	15,85%	4,95%	5,05%	0,00%
	27/05/16	4,86%	5,91%	28,64%	30,40%	17,03%	5,70%	7,46%	0,00%
	11/06/16	2,37%	13,12%	35,95%	37,11%	11,45%	0,00%	0,00%	0,00%
	30/06/16	1,40%	8,57%	36,93%	30,62%	8,58%	6,20%	7,70%	0,00%

Fonte: Próprios autores, 2018.

Tabela 9 - Granulometria dos sedimentos coletados na Rua João Elias da Silva Caldas (JB2).

Percentual granulométrico das 11 campanhas em JB2									
Classificação do Solo ABNT	Argila	Silte	Areia			Pedregulho			
			Fina	Média	Grossa	Fino	Médio	Grosso	
Datas das Coletas	26/09/15	0,27%	12,95%	40,51%	25,90%	13,74%	1,75%	4,88%	0,00%
	10/10/15	0,40%	3,62%	47,67%	40,01%	8,30%	0,00%	0,00%	0,00%
	24/10/15	0,07%	7,76%	36,61%	28,81%	4,82%	10,47%	11,46%	0,00%
	07/11/15	0,01%	0,28%	10,32%	12,41%	5,40%	17,76%	53,82%	0,00%
	29/11/15	0,18%	3,01%	17,27%	51,20%	22,61%	3,32%	2,41%	0,00%
	17/12/15	2,23%	34,66%	17,08%	18,94%	7,75%	12,98%	6,36%	0,00%
	20/04/16	7,99%	30,46%	11,04%	35,02%	9,22%	2,96%	3,32%	0,00%
	07/05/16	1,50%	8,53%	16,40%	26,40%	20,90%	13,75%	12,51%	0,00%
	27/05/16	5,33%	12,31%	26,40%	13,96%	6,30%	12,85%	22,85%	0,00%
	11/06/16	2,43%	6,65%	28,11%	13,45%	7,02%	14,47%	24,23%	3,64%
	30/06/16	0,79%	10,58%	34,75%	23,65%	13,52%	7,55%	9,16%	0,00%

Fonte: Próprios autores, 2018.

Em PF1 a distribuição granulométrica indicou os maiores percentuais na faixa entre 0,06 a 0,6 mm de diâmetro), um acréscimo quase linear do período chuvoso para o 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%), 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. 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. 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.

Nas Tabelas 10 e 11 estão descritos os percentuais granulométricos de PF1 e PF2, classificados conforme NBR 7181:2016.

Tabela 10 - Granulometria dos sedimentos coletados na Rua Castorina B. Alves (PF1).

Percentual granulométrico das 11 campanhas em PF1									
Classificação do Solo ABNT	Argila	Silte	Areia			Pedregulho			
			Fina	Média	Grossa	Fino	Médio	Grosso	
Datas das Coletas	26/09/15	0,06%	6,94%	26,27%	40,48%	18,04%	5,89%	2,32%	0,00%
	10/10/15	0,37%	5,63%	20,82%	36,14%	18,71%	12,56%	5,77%	0,00%
	24/10/15	0,09%	6,07%	23,33%	41,72%	18,72%	7,01%	2,78%	0,28%
	07/11/15	0,15%	1,81%	34,16%	42,60%	12,90%	5,60%	2,78%	0,00%
	29/11/15	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	17/12/15	2,44%	2,72%	13,49%	46,16%	25,50%	7,55%	2,15%	0,00%
	20/04/16	2,56%	4,35%	13,91%	52,56%	18,84%	5,55%	2,23%	0,00%
	07/05/16	2,71%	11,39%	13,64%	36,73%	26,12%	5,57%	3,83%	0,00%
	27/05/16	3,04%	9,29%	22,93%	30,57%	21,95%	10,00%	2,22%	0,00%
	11/06/16	2,26%	7,39%	42,72%	32,61%	10,24%	3,19%	1,59%	0,00%
	30/06/16	3,43%	11,36%	24,71%	40,94%	16,43%	2,64%	0,49%	0,00%

Fonte: Próprios autores, 2018.

Tabela 11 - Granulometria dos sedimentos coletados na Rua 46 (PF2).

Percentual granulométrico das 11 campanhas em PF2									
Classificação do Solo ABNT	Argila	Silte	Areia			Pedregulho			
			Fina	Média	Grossa	Fino	Médio	Grosso	
Datas das Coletas	26/09/15	1,18%	5,72%	39,79%	39,94%	12,27%	0,89%	0,22%	0,00%
	10/10/15	0,07%	8,12%	51,52%	31,62%	8,05%	0,62%	0,00%	0,00%
	24/10/15	0,03%	5,69%	34,34%	38,67%	18,66%	2,08%	0,53%	0,00%
	07/11/15	1,34%	10,74%	35,98%	39,46%	9,28%	2,79%	0,41%	0,00%
	29/11/15	0,21%	2,84%	36,37%	44,65%	11,55%	3,84%	0,54%	0,00%
	17/12/15	0,03%	7,35%	21,03%	44,38%	17,45%	6,87%	2,89%	0,00%
	20/04/16	5,33%	7,68%	18,46%	26,13%	4,90%	14,29%	23,21%	0,00%
	07/05/16	0,15%	2,84%	16,49%	62,31%	15,50%	1,96%	0,76%	0,00%
	27/05/16	0,26%	2,93%	30,86%	26,34%	9,59%	13,54%	16,48%	0,00%
	11/06/16	0,97%	7,19%	47,93%	33,86%	10,05%	0,00%	0,00%	0,00%
	30/06/16	1,41%	10,64%	28,30%	23,65%	11,47%	16,46%	8,07%	0,00%

Fonte: Próprios autores, 2018.

3.4 Metais Traço

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

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.

Na Tabela 12 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 (C) e seco (S).

Tabela 12 - Concentração média dos metais nos 2 períodos: chuvoso e seco.

Concent. metais (mg/Kg)	PA1		PA2		JB1		JB2		PF1		PF2		Mediana dos 2 períodos	
	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S
Cu	83,4	0,7	61,9	0,8	122,0	1,1	86,8	0,9	60,4	1,0	166,7	0,6	85,1	0,9
Zn	50,6	1,1	99,3	1,5	135,3	3,1	140,0	2,4	59,0	1,2	71,5	1,4	85,3	1,4
Mn	63,4	0,8	54,6	0,5	97,2	2,0	61,2	0,9	103,8	1,0	81,7	0,8	72,5	0,8
Cr	44,4	0,5	25,0	0,4	39,1	0,5	29,0	1,3	27,4	0,3	35,4	0,4	32,2	0,4
Pb	28,6	0,2	17,7	0,1	24,3	0,2	17,0	0,1	10,4	0,2	18,4	0,1	18,1	0,1
Ni	8,0	0,1	9,7	0,2	11,3	0,2	10,1	0,5	7,7	0,1	7,2	0,1	8,8	0,1

Fonte: Próprios autores, 2018.

Como os resultados médios das concentrações dos metais apresentaram-se bastante dispersos, utilizou-se a mediana para exprimir os valores mais significativos para representar as concentrações de cada metal. Analisando-se separadamente os dois períodos do estudo, constatou-se uma drástica redução das concentrações dos metais presentes nas amostras dos sedimentos do 1º para o 2º período das coletas, com valores insignificantes apurados no período seco, se comparados às concentrações observadas no período chuvoso.

Os metais Zn, Cu, e Mn apresentaram as maiores médias de concentrações em todas as amostras de sedimentos e 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 dos terrenos, confirmando que esses parâmetros estão diretamente associados à presença dos metais nos sedimentos depositados nas vias urbanas.

Ressalta-se, porém, que PF2 apresenta taxas médias 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 favorece o acúmulo de sedimentos neste ponto.

O valor da mediana calculada para todos os pontos de coletas confirmaram a maior 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, respectivamente.

A redução das concentrações dos metais entre os dois períodos da pesquisa, pode ser explicada pela ocorrência das grandes precipitações no 1º período das coletas, que agiram

diretamente na carga livre (CL), diminuindo as concentrações dos metais nas amostras coletadas nas sarjetas. O Cr, Pb e o Ni apresentaram as menores concentrações em todos os pontos de coletas, com os respectivos valores de 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 crescimento com o retorno do período seco.

4 Conclusão

Este experimento alerta para a necessidade de ações efetivas de implantação e conservação dos sistemas de captação das águas superficiais e modernização das atividades de limpeza urbana. O controle das fontes geradoras dos sedimentos urbanos está diretamente ligado à preservação do meio ambiente.

A pesquisa aponta também para a necessidade do monitoramento constante das concentrações dos metais incorporados aos sedimentos depositados no meio urbano e de sistemas para tratamento da captação pluvial, removendo as possíveis cargas de contaminantes antes do lançamento destes à jusante.

As maiores médias de concentrações de todos os metais foram registradas em JB1, confirmando que as fontes de contaminação em áreas urbanas estão diretamente associadas ao tráfego de veículos e aos vetores de crescimento e desenvolvimento das cidades, como a construção civil, as atividades industriais e comerciais.

A taxa de ocupação urbana das regiões mais desenvolvidas (com maior densidade demográfica), destacou-se como um parâmetro de grande influência na geração e acúmulo do sedimento nas vias de tráfego, demonstrando que a presença humana potencializa a presença dos sedimentos no meio urbano.

O município de Goiânia carece de uma maior mecanização do sistema de limpeza urbana, como forma de empreender maior agilidade e eficácia na coleta dos resíduos depositados nas calçadas e nas vias de tráfego, evitando que esses sejam carreados/lançados nos córregos, rios e lagos, provocando o assoreamento e possíveis contaminações dos recursos hídricos.

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.

BUTLER, D. & CLARK, P. Sediment management in urban drainage catchments. Construction Industry Research and Information Association. **Report 134**. London, 1995.

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.

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.

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.

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.

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

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

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

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

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.

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.

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.