

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

Ricardo de Alcântara Ferreira

<http://lattes.cnpq.br/8969072165937187>

Jussanã Milograna

<http://lattes.cnpq.br/3129133378606569>

**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/m<sup>2</sup>, enquanto as menores se apresentaram entre 2,43 e 164,58 g/m<sup>2</sup>. 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.

## **Introdução**

A expansão desordenada dos grandes centros urbanos e o fluxo migratório da população rural em direção às cidades, associado 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. 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.

Desta forma, este estudo proporcionou 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 e uso 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-se verificar como esses parâmetros interferem 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 sedimentos depositados nas vias pavimentadas como principais fontes geradoras de poluição difusa no meio urbano. O estudo ainda abordou 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), 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.

### **Processo de urbanização e os impactos na drenagem**

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. 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 (meio socioeconômico urbano) é um ser vivo e dinâmico, que gera um conjunto de efeitos interligados, que sem controle pode levar a cidade ao caos.

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.

A implantação de sistemas de drenagem utilizando teorias higienistas (captação e lançamento a jusante das águas pluviais), aliado à impermeabilização das áreas de drenagem naturais por construções e/ou pavimentação das vias, tem provocado um aumento significativo de eventos, como:

- Alagamentos: resultado da combinação de precipitações intensas e consequente geração de elevados escoamentos superficiais, 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 em 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 com grandes precipitações em breves espaços de tempo, que provocam um enorme arraste de material sedimentar.

Portanto, 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), para diminuição dos gastos com captação em longas distâncias e no menor consumo de produtos químicos para tratamento.

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 deposição em locais mais adequados.

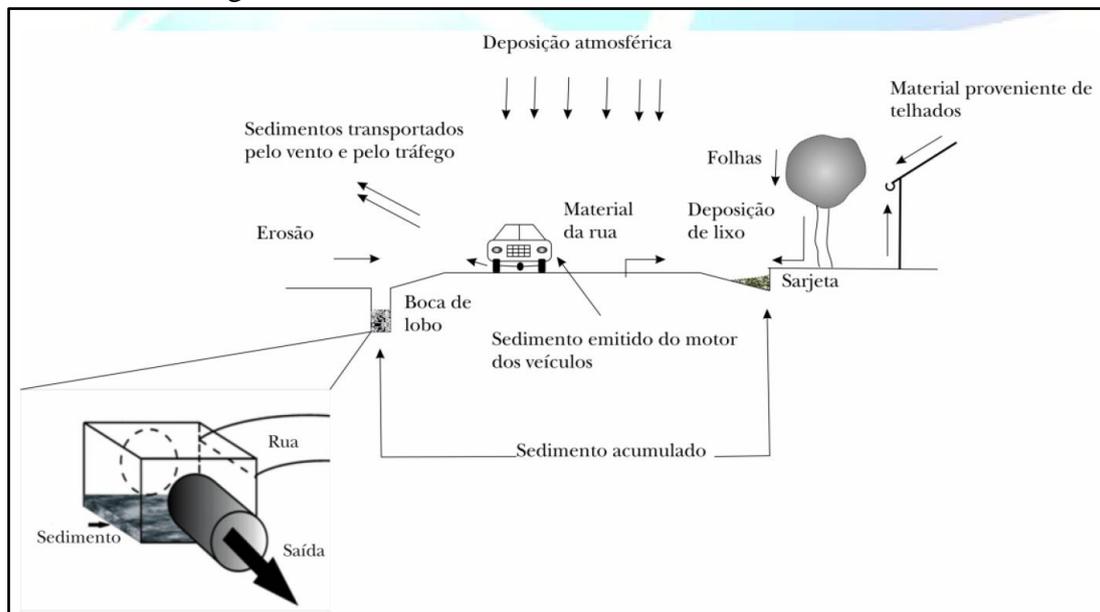
De acordo com Poletto e Merten (2013) os sedimentos contaminados por metais pesados podem exercer um grande impacto sobre a vida aquática, através da bioacumulação (transferências de substâncias do meio externo para os organismos vivos em concentrações superiores à do meio em que se encontram) e também 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).

### **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 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).

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 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 carregados através da precipitação das chuvas.

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

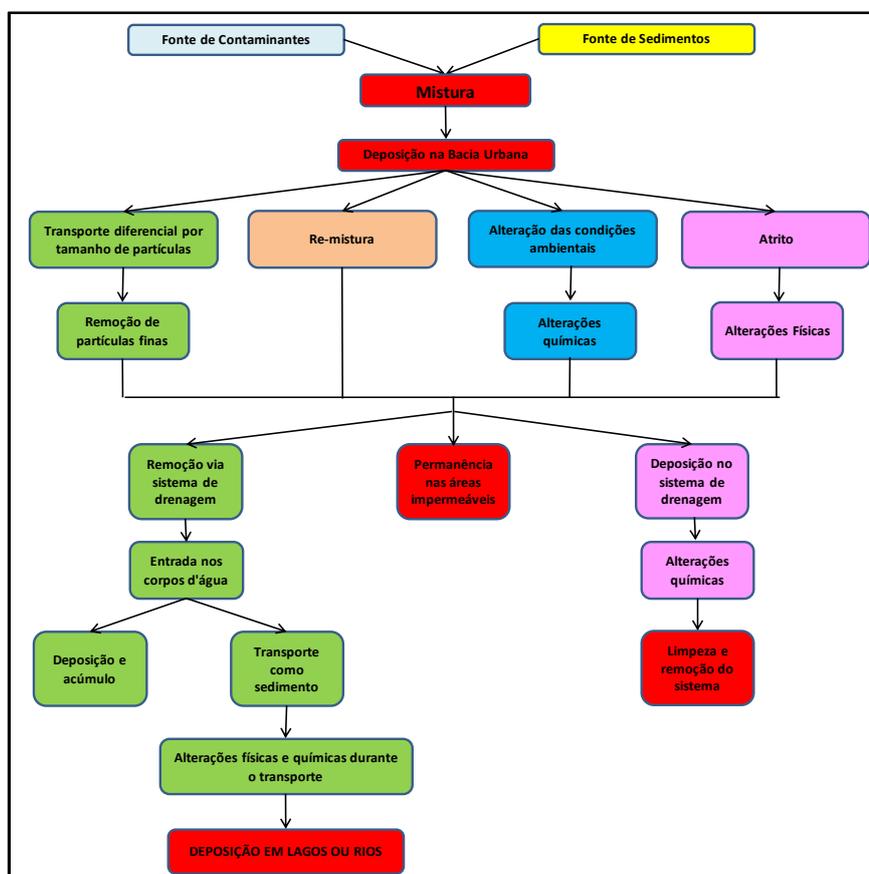
A ação de transporte de sedimentos é também detalhada por Vaze e Chiew (2002), que ressaltam as grandes concentrações de sedimentos e poluentes principalmente na primeira porção do escoamento (*first flush*). Este fenômeno foi simulado em superfícies asfálticas por Silva (2014), com intuito de quantificar 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 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, 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 2.

Figura 2 - Processo de transporte e formação de sedimentos urbanos.



Fonte: Poleto (2008).

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 físico-químicas 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.

### **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 (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.

A absorção de metais pesados ou não, 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. 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 de acordo com 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. 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.

### **Materiais e métodos**

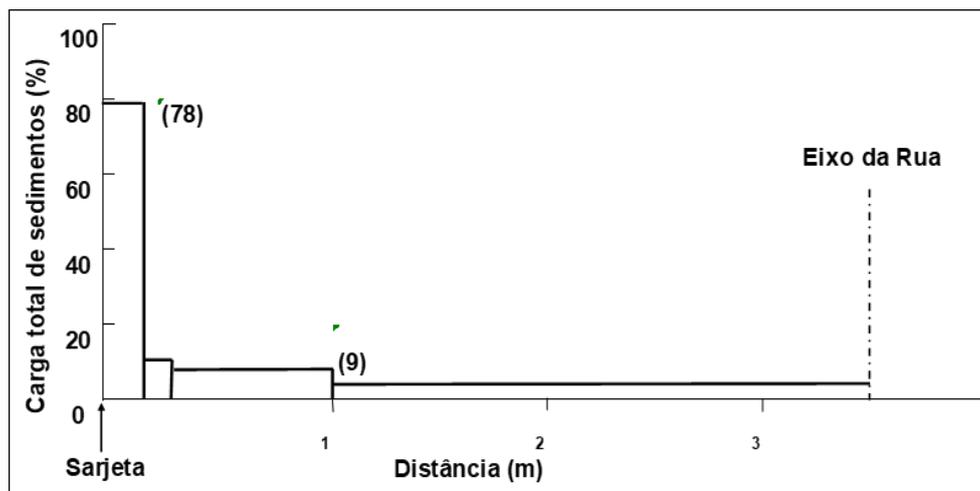
Na metodologia foram utilizados os estudos descritos de Vaze e Chiew (2002), que concluíram que a carga de sedimentos de superfície aumenta de acordo com o período seco antecedente das precipitações.

Também os resultados atingidos por Dotto (2006), que atribuiu 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.

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

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 3.

Figura 3 - Distribuição dos sedimentos ao longo da seção da rua.



Fonte: Butler e Clark (1995).

### 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. A bacia hidrográfica do córrego Botafogo possui área de aproximadamente 32,84 km<sup>2</sup> 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. (MARTINS JÚNIOR, 1996).

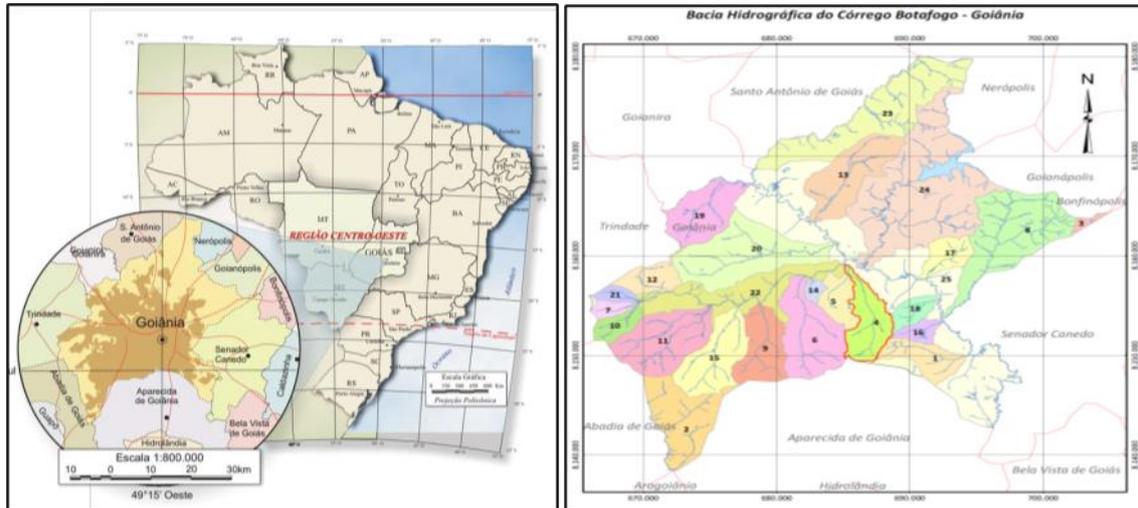
A bacia do Córrego Botafogo teve suas características originais bastante alteradas pela urbanização, com a presença de edificações residenciais, comerciais, pequenas indústrias e grandes áreas pavimentadas (ruas e avenidas). Poucas áreas ainda apresentam alguma forma de vegetação nativa, como é o caso 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 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, apresentando uma variação da média anual de chuvas da região entre 1200 mm e 2100 mm.

A Figura 4 apresenta o posicionamento da área de estudo (município de Goiânia). Destaca-se a bacia do córrego Botafogo representada pelo número 4.

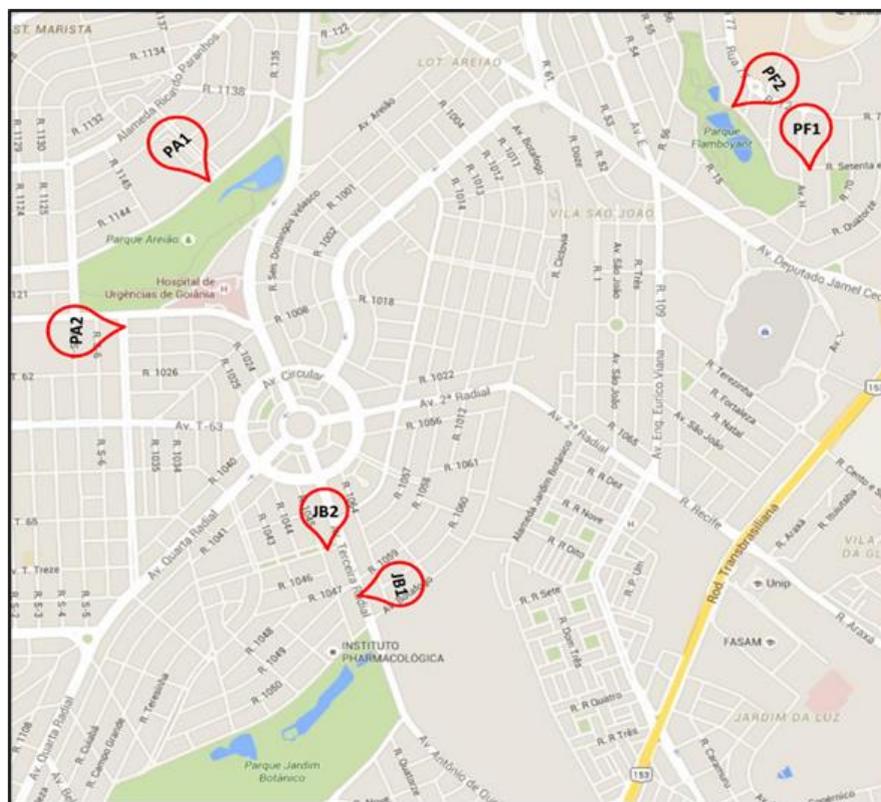
Figura 4 - Localização da bacia do córrego Botafogo, município de Goiânia/GO.



Fonte: Mapa Digital Urbano de Goiânia (MUBDG, 2012).

Na Figura 5, gerada a partir do Google Earth (2017), destacam-se as localizações dos pontos de coletas, representados de acordo com o critério de identificação das amostras e da ordem de envio ao laboratório para realização das análises granulométricas e dos metais traço.

Figura 5 - Pontos de coletas dos sedimentos – Bacia do córrego Botafogo, Goiânia/GO.



Fonte: Google Earth (2017).

No Quadro 1 estão discriminadas as seis ruas escolhidas para a coleta dos sedimentos do experimento (destacadas na Figura 1), com as respectivas codificações utilizadas para o envio das amostras utilizadas nas análises laboratoriais.

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. 3 <sup>a</sup> Radial	Al. João Elias da S. Caldas	Rua Castorina Bittencourt Alves	Rua 46

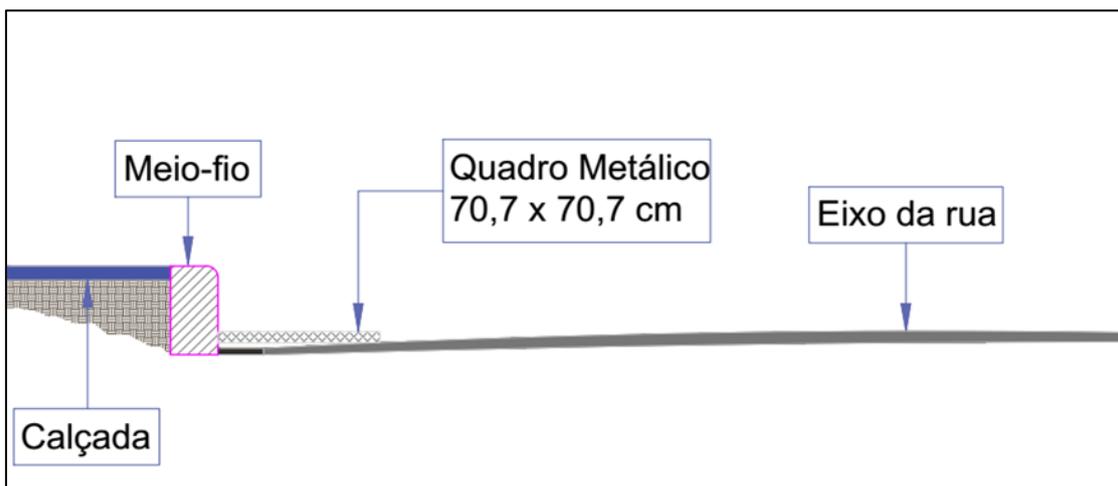
Fonte: Próprios autores (2018).

### 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 a coleta de no mínimo três amostras simples 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 ao lado de um bueiro (boca de lobo), padronizando assim, o mesmo sentido de escoamento superficial para todos os pontos de coleta.

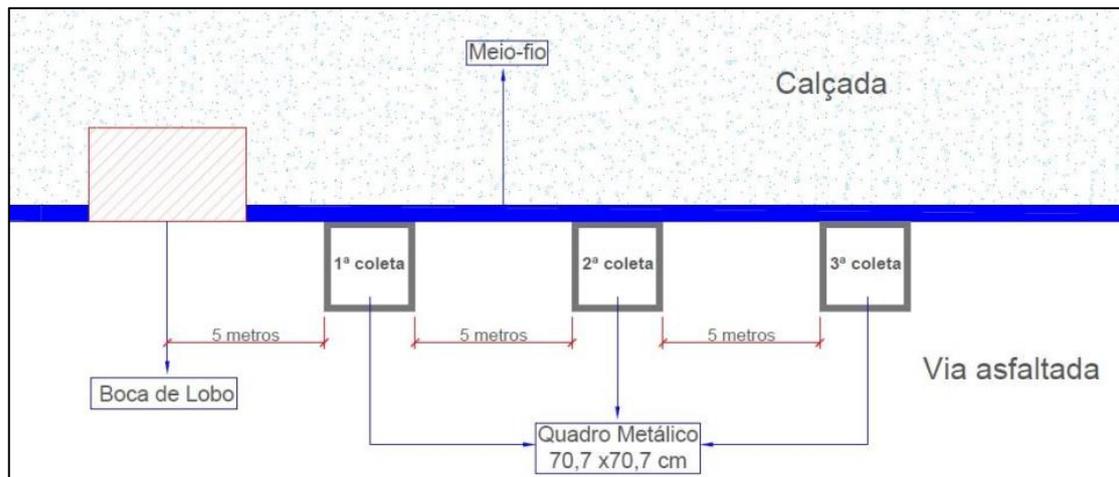
As Figuras 6 e 7 ilustram o posicionamento do quadro metálico em relação ao pavimento asfáltico e ao meio fio.

Figura 6 – Vista em corte do quadro de coleta das amostras dos sedimentos.



Fonte: Próprios autores (2018).

Figura 7 – 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 as 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 m<sup>2</sup>.

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 da próxima coleta (próxima rua) o saco do aspirador de pó era substituído por um novo.

No laboratório de Solos do IFG, todas as amostras foram homogeneizadas, pesadas e armazenadas. Após a retirada do material, os sacos coletores do aspirador foram descartados. Estas amostras foram destinadas à realização dos ensaios de granulometria e uma pequena fração, aproximadamente 1 grama de cada amostra, foi enviada para o laboratório terceirizado, responsável pela análise dos metais presentes nas amostras.

Na Figura 8 estão representados os equipamentos utilizados nas coletas dos sedimentos, descritos abaixo pelas letras “a”, “b” e “c”:

- a) Aspirador Eletrolux-AQP 20 (1200 W). Grupo gerador Branco (2200 W);
- b) Quadro metálico (0,707 x 0,707) m. Trena metálica de 8 metros;
- c) Escova com pelo de malta para escovação do pavimento.

Figura 8 - Equipamentos utilizados nas coletas dos sedimentos



Fonte: Próprios Autores (2018).

### **Análise granulométrica dos sedimentos coletados**

As amostras coletadas foram pesadas para determinação da massa total obtida em cada uma das 06 (seis) ruas, para cada evento de coleta 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 e após esse período, 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.

### **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 retirada 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 para preservar as amostras retiradas de dentro do saco descartável do aspirador), para determinar a amostragem do branco das coletas. As amostras passaram pelo processo de digestão ácida (ou abertura) para remover os compostos orgânicos presentes.

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 em diversos tipos de amostras. As amostras foram

analisadas de acordo com o método 3050B, USEPA (United States Environmental Protection Agency). Equipamento utilizado: Perkin Elmer Optima 7300 DV.

### **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.

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

## **Resultados**

### **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%).

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

Tabela 1 - Massa média coletada por campanha (g/m<sup>2</sup>)

Nº Evento de Coleta	Data das Coletas	Nº de dias s/ chuva antes da coleta	Volume precipitado entre as coletas (mm)	PA1	PA2	JB1	JB2	PF1	PF2
				Mm g/m <sup>2</sup>					
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 comparados os resultados obtidos das massas médias entre os períodos chuvoso e seco.

Tabela 2 - Comparativo das menores e maiores massas coletadas

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

Fonte: Próprios autores (2018).

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

Os resultados obtidos nesta pesquisa apresentaram uma grande diferença quando comparados aos apresentados por Nelson e Booth (2002), talvez explicados pela diferença entre as regiões estudadas, que sofrem com as interferências das diversas condições como a qualidade do pavimento, o clima da região, o grau de desenvolvimento urbano e o tipo de urbanização da 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 (massa média registrada de 100 g/m<sup>2</sup>) e a rua JB2, com massa média de 87,08 g/m<sup>2</sup>. 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 (com máquina de limpeza) registrou quantitativos de massas médias de sedimentos entre 62,0 e 872,0 g/m<sup>2</sup> 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/m<sup>2</sup>. Esses valores aproximaram-se dos resultados obtidos nesta pesquisa, que apresentaram uma variação da massa média coletada entre 87,08 e 448,58 g/m<sup>2</sup> conforme descrito na Tabela 1.

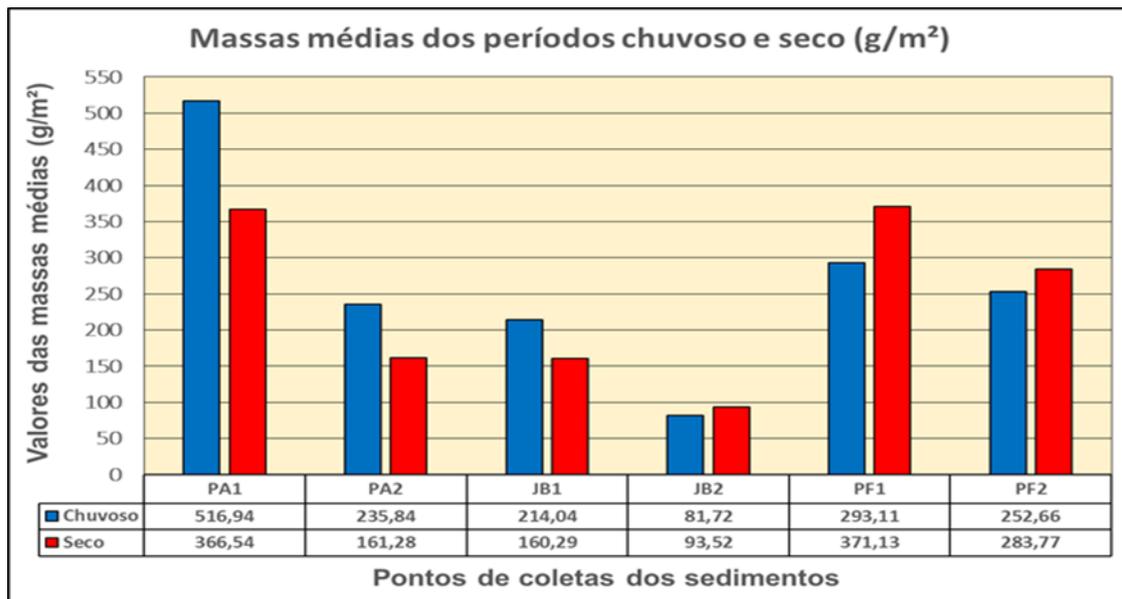
Considerando os estudos de Deletic *et al.* (2000), que afirmaram que 90% das cargas do sedimento se encontram depositadas na sarjeta e 10% no eixo da via, as massas médias calculadas para o eixo das ruas nesta pesquisa apontam para valores entre 8,71 e 44,86 g/m<sup>2</sup>, aproximando-se bastante 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/m<sup>2</sup>. 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/m<sup>2</sup> e de 10,0 a 240,0 g/m<sup>2</sup> 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.

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 (de setembro a dezembro/2015) e um acréscimo no período seco (de abril a junho/2016).

No gráfico da Figura 9 estão ilustrados os valores médios das massas médias dos sedimentos coletadas, nos dois períodos do experimento (chuvoso e seco).

Figura 9 - Massas médias coletadas nos períodos chuvoso e seco



Fonte: Próprios autores (2018).

### 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 descritas na 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®.

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), afirmando 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 descritos na Tabela 3 estão dispostos considerando-se as coletas realizadas nos dois períodos, chuvoso e seco.

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 3 - Valores ajustados das massas médias estimadas

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>
			<i>g/m<sup>2</sup></i>	<i>g/m<sup>2</sup></i>	<i>g/m<sup>2</sup></i>	<i>g/m<sup>2</sup></i>	<i>g/m<sup>2</sup></i>	<i>g/m<sup>2</sup></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).

Tabela 4 - Área de coleta do sedimento para cada rua da pesquisa

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

Fonte: Próprios autores (2018).

Os valores estimados apresentados na Tabela 5, foram obtidos utilizando-se os dados descritos nas Tabelas 3 e 4.

A partir da interação e análise dos dados das Tabelas 3 e 4, apresentamos abaixo a Tabela 5.

Tabela 5 – Estimativa de massa depositada nas ruas nas datas das coletas

Nº Evento de Coleta	Período	Pts. de Coleta	PA1	PA2	JB1	JB2	PF1	PF2
		Área de sarjeta (m <sup>2</sup> )	1.414,00	565,60	1.131,20	777,70	636,30	820,12
		Data das Coletas	<i>Massa estimada (kg)</i>	<i>Massa estimada (kg)</i>	<i>Massa estimada (kg)</i>	<i>Massa estimada (kg)</i>	<i>Massa estimada (kg)</i>	<i>Massa estimada (kg)</i>
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).

### Granulometria dos sedimentos coletados

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.

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. 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)

<b>Percentual granulométrico das 11 campanhas em PA1</b>									
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)

<b>Percentual granulométrico das 11 campanhas em PA2</b>									
<b>Classificação do Solo ABNT</b>	<b>Argila (%)</b>	<b>Silte (%)</b>	<b>Areia (%)</b>			<b>Pedregulho (%)</b>			
			<b>Fina</b>	<b>Média</b>	<b>Grossa</b>	<b>Fino</b>	<b>Médio</b>	<b>Grosso</b>	
<b>Datas das Coletas</b>	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 observado em 26/09/2015) e 5,82% (menor valor em 29/11/2015). A faixa da areia grossa indica um acréscimo 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, resultaram em menores percentuais de materiais mais finos no período chuvoso. 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.

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.

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)

<b>Percentual granulométrico das 11 campanhas em JB1</b>									
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 E. da S. Caldas (JB2)

<b>Percentual granulométrico das 11 campanhas em JB2</b>									
Classificação do Solo ABNT	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)			Pedregulho (%)			
			Fina	Média	Grossa	Fino	Médio	Grosso	
Datas das Coletas	26/09/15	0,27	12,9	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 (areia fina e média), apresentando 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)

<b>Percentual granulométrico das 11 campanhas em PF1</b>									
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).

### 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 e seco).

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
<b>Cu</b>	83,4	0,7	61,9	0,8	122,0	1,1	86,8	0,9	60,4	1,0	166,7	0,6	<b>85,1</b>	<b>0,9</b>
<b>Zn</b>	50,6	1,1	99,3	1,5	135,3	3,1	140,0	2,4	59,0	1,2	71,5	1,4	<b>85,3</b>	<b>1,4</b>
<b>Mn</b>	63,4	0,8	54,6	0,5	97,2	2,0	61,2	0,9	103,8	1,0	81,7	0,8	<b>72,5</b>	<b>0,8</b>
<b>Cr</b>	44,4	0,5	25,0	0,4	39,1	0,5	29,0	1,3	27,4	0,3	35,4	0,4	<b>32,2</b>	<b>0,4</b>
<b>Pb</b>	28,6	0,2	17,7	0,1	24,3	0,2	17,0	0,1	10,4	0,2	18,4	0,1	<b>18,1</b>	<b>0,1</b>
<b>Ni</b>	8,0	0,1	9,7	0,2	11,3	0,2	10,1	0,5	7,7	0,1	7,2	0,1	<b>8,8</b>	<b>0,1</b>

Legenda: **C**- período Chuvoso; **S**- período Seco

Fonte: Próprios autores (2018).

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. 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 (exceto PF2, que possui taxa de ocupação de 53,71%).

Esses resultados confirmam que as taxas de ocupação urbana e o fluxo de veículos 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 favorece 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.

Essa drástica redução pode ser explicada pela ocorrência das grandes precipitações no 1º período das coletas, que agem diretamente nos grãos dos sedimentos, lavando os mesmos e diminuindo a concentração destes metais nas amostras depositados nas sarjetas. O Cr, Pb e o Ni apresentaram as menores concentrações medianas 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 aumento dos períodos sem chuvas entre as coletas.

### **Conclusões**

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.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 266 p. 2005.

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.; 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.

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.

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, 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.

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.

The screenshot shows a web browser window with the following elements:

- Browser Tabs:** Caixa de entrada (425) - ricard..., Editora Dialética | Painel de Aut..., RICARDO, nossas boas-vindas a..., tradutor google - Pesquisar.
- Address Bar:** Não seguro | plataforma.editoradialetica.com/obras\_sucesso.php?msg=Alteração%20realizada%20com%20sucesso!
- Header:** DIALÉTICA logo and menu icon.
- Left Sidebar (Dark Red):**
  - RICARDO DE ALCANTARA FERREIRA  
ricardo.af@ufjf.edu.br
  - Início
  - Nova Submissão do Site
  - Minhas Submissões
  - Normas de Publicação
  - Meu Cadastro
  - Sair
- Main Content Area (White):**
  - Seu artigo foi submetido com sucesso!
  - Illustration of a person sitting cross-legged with a laptop, surrounded by floating document icons.
  - Text: Seu artigo segue agora para análise do nosso Conselho Editorial. Não se preocupe, contamos com um corpo de profissionais dedicados à avaliação dos trabalhos e em cerca de uma semana você receberá um e-mail com a decisão editorial.
  - Text: Por isso, fique atento a caixa de entrada e spam do seu e-mail cadastrado. Você também pode acompanhar o status de todos os seus artigos na seção "minhas submissões".
  - Button: OK, ver minhas submissões
- Windows Taskbar (Bottom):** Search bar (Digite aqui para pesquisar), taskbar icons (Edge, File Explorer, etc.), system tray (26°C Chuva fraca, 17:53, 03/03/2022).