

ACÚMULO DE METAIS PESADOS EM SUPERFÍCIES IMPERMEÁVEIS URBANAS, GOIÂNIA-GO.

Silva, E.P.^{1}; Guedes, C.S.^{2.}; Siqueira, E.Q.^{3.}; Bayer, M.^{4.}*

Resumo – Os sedimentos urbanos acumulados nas superfícies pavimentadas são fonte de poluentes potencialmente tóxicos, como os metais pesados, que deterioram a qualidade das águas pluviais e provocam impactos nos corpos d'água. Com o intuito de mensurar a massa de metais tóxicos em sedimentos, amostras foram coletadas em três ruas da cidade de Goiânia-Go e analisados quanto concentração dos metais Pb, Zn, Cu, Ni e Fe por Espectrometria de Absorção Atômica e medida a distribuição granulométrica por difração a laser. Os sedimentos foram coletados utilizando o método de aspiração e escovação, que é combinação de duas técnicas de coleta, que possibilita a obtenção da carga livre com partículas mais grosseira e da carga fixa, partículas mais finas. Os metais foram determinados em ambas às cargas, sendo que a carga fixa obteve as maiores concentrações de metais, os quais obedeceram a ordem Fe>Zn>Pb>Cu>Ni para todas as amostras. As cargas livre e fixa apresentaram distribuição granulométrica semelhante, onde mais de 90% da carga total das frações estão entre 62,5 µm e 500 µm, no entanto cerca de 50% das amostras de sedimentos foram menores que 250 µm.

Palavras-Chave – Sedimentos; Metais Pesados; Qualidade de Água.

BUILD –UP OF HEAVY METALS IN URBAN PAVED SURFACES, GOIÂNIA-GO

Abstract – The urban build- up on paved surfaces is source of potentially toxic pollutants, as heavy metals, which deteriorate the quality of stormwater and cause impacts on water bodies. With the purpose of measuring toxic metals in sediments samples were collected on three streets in Goiânia-Go city and analyzed as the concentration of Pb, Zn, Cu, Ni e Fe for Spectrometric atomic absorption and particle size distribution by laser diffraction. The sediments were collected using by a vacuuming and sweeping method, which is a combination of two collection techniques, which allows obtaining a free load, with coarser particles and a fixed load, finer particles. The metals were determined in both loads for all the samples. The free and fixed loads showed a similar particle size distribution, where more than 90% of the total load fraction are between 62,5 µm e 500 µm, however about 50% of the sediment samples were less than 250 µm in size.

Keywords – Sediments; Heavy Metals; Water Quality.

1. INTRODUÇÃO

Estudos apontam que as águas pluviais têm se tornado uma grande fonte de poluição nos centros urbanos, uma vez que os poluentes acumulados nas superfícies asfálticas são carregados durante os eventos de precipitação e lançados nos corpos receptores sem prévio tratamento (SUTHERLAND e TOLOSA, 2000; ZHAO; LI; WANG, 2011). De acordo com Sartor e Boyd, (1972) e Pitt e Burton, (2001) a concentração de sólidos, nutrientes, metais entre outros poluentes em alguns casos é maior nas águas de drenagem que em esgotos sanitários, fato que tem provocado impactos na qualidade da água e nos ecossistemas aquáticos.

Na área urbana os sedimentos se acumulam principalmente nas superfícies asfálticas impermeáveis e nos telhados, sendo que o processo de acúmulo varia de acordo com o tipo da superfície (estado de conservação, composição e declividade), número de dias secos antecedentes ao evento de precipitação e uso do solo (DELETIC e ORR, 2005; EGODAWATTA, 2007). Os

¹ Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente - UFG. e-mail:manups3@gmail.com

² Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente - UFG. e-mail: claudiasguedes@yahoo.com.br

³ Professor da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Goiás - UFG. e-mail: eduqs@yahoo.com.br

⁴ Professor do Instituto de Ciências Sócio- Ambientais da Universidade Federal de Goiás – UFG. e-mail: maxibayer@yahoo.com..ar

principais poluentes acumulados nas superfícies impermeáveis urbanas são sólidos suspensos, nutrientes, patógenos, hidrocarbonetos e metais pesados (MIGUNTANNA, 2009). Estes provêm segundo Tucci (2003), da deposição atmosférica, da erosão do solo provocada pela velocidade do escoamento, desgaste e lavagem das superfícies, acúmulo, deposição e transporte de lixo urbano, atividades industriais e do tráfego de veículos.

Destas principais fontes Egodawatta (2007) comenta que o fluxo intenso de veículos nas áreas urbanas é um fator crítico que afeta a concentração dos poluentes depositados na superfície asfáltica, de forma que a maior proporção de elementos tóxicos depositados na superfície está relacionada com o tráfego de veículos, dos quais advêm os poluentes: da emissão de escape dos veículos, degradação dos pneus e revestimento dos freios, sistema de perda de lubrificantes do veículo, degradação das superfícies asfálticas. Segundo Zhao; Li; Wang (2011) a maior contribuição de metais pesados depositados nas superfícies é por emissões veiculares, pois muitos destes estão na composição da gasolina, lubrificantes, baterias e outros produtos.

De acordo com Volesky (2001) os metais que apresentam maiores riscos ao meio ambiente são respectivamente, o cádmio (Cd), chumbo (Pb), mercúrio (Hg), cromo (Cr), cobalto (Co), níquel (Ni), zinco (Zn), alumínio (Al) e ferro (Fe). Estes metais estão potencialmente nas redes de drenagem pois são amplamente usados nas atividades antrópicas no meio urbano. Estudos da EPA (1999) em Nationwide apontaram que os metais mais recorrentes no escoamento superficial urbano são o chumbo (94%), zinco (94%), cobre (91%), cromo (58%), arsênio (52%), cádmio (48%) e níquel (43%). Sendo que o Pb, Zn e Cu são detectados com uma frequência de 75%.

Estes metais no meio ambiente encontram-se principalmente complexados as partículas de menor diâmetro, ou seja, partículas suspensas e dissolvidas, fato que eleva a distribuição dos mesmos sobre a superfície asfáltica e ao longo da bacia hidrográfica. A concentração de metais no sedimento tende a aumentar com o decréscimo do tamanho da partícula (DELETIC e ORR, 2005). De modo que frações de argila (3,285- 0,488 μm) são as partículas que mais complexam metais, seguido das frações de silte (52,556 – 3,906 μm) e areia fina (62,5 – 250 μm).

Neste sentido, estudos têm sido desenvolvidos com intuito de caracterizar e mensurar a carga de poluentes acumulados em superfícies pavimentadas e potencialmente carregados para corpos receptores (SARTOR e BOYD, 1972; BALL et al., 1998; HERNGREN et al., 2006). Assim, considerando que os sedimentos urbanos provocam degradação ambiental aos ecossistemas aquáticos, o presente artigo tem por objetivo determinar a massa poluidora de metais tóxicos em sedimentos acumulados em superfícies impermeáveis no município Goiânia- GO, associando -a o fluxo de veículos e com as frações granulométricas.

2. MATERIAL E MÉTODO

2.1 Área de Estudo

Esta pesquisa foi desenvolvida em três Ruas com usos distintos da cidade de Goiânia, município mais populoso do Estado de Goiás localizado na porção Centro- Oeste do Brasil com cerca de 1.302.001 milhões de habitantes (IBGE, 2010). A Avenida Universitária é uma via arterial que dá acesso a pontos estratégicos da cidade, de uso residencial e comercial, possui um volume médio diário (VMD) de 10.000 veículos e uma declividade média de 2%. A Rua 240 é considerada uma via coletora, possui uso comercial e residencial, e um VMD de 1.500 veículos e declividade de 3%. A Viela Um é uma via que dá acesso aos lotes, é de uso industrial e residencial, possui um VMD de 150 veículos e uma declividade de 2,3%. O volume médio diário do tráfego foi determinado conforme Ficha de Contagem Volumétrica I, do Manual de Estudos de Tráfego (BRASIL, 2006). A medição foi realizada em dois dias, nos períodos matutino e vespertino por

compreender que estes horários abrangem a maior circulação diária de veículos de uma via. A declividade pelo Xclinometer em três pontos e realizado a média.

2.2 Coleta do acúmulo de poluentes por via seca

O material acumulado na superfície pavimentada foi coletado em setembro de 2012, usando a técnica de aspiração e escovação, nas três áreas descritas. As amostras foram coletadas em parcelas distribuídas ao longo de 200 m de cada rua durante 14 dias, sendo coletadas amostras no 1º, 2º, 3º, 5º, 7º e 14º dia antecedente em uma área de 0,5m² delimitada por uma moldura de madeira colocada entre a sarjeta e a faixa central da estrada, as parcelas amostradas foram consideradas como sendo homogêneas. O número de dias foi adotado, pois segundo Egodawatta e Goonetilleke (2006) o acúmulo de poluentes é rápido nos primeiros dias, mas tende ao equilíbrio entre ao sétimo e nono dia assumindo o comportamento de uma função assintótica. E os sedimentos foram coletados na faixa central, pois de acordo com Sartor e Boyd, (1972) as substâncias como óleos, graxas, e uma variedade de líquidos que derramam ou vazam sobre a superfície da rua são geralmente encontrados em maiores concentrações ao longo do centro de cada pista. E também porque a intensidade das partículas menores está em maior concentração na linha asfáltica central (Grottker, 1987).

Dois tipos de carga de sedimentos foram coletados em cada parcela amostral seguindo a metodologia adotada por Vaze e Chiew (2002). Primeiro a superfície da rua foi aspirada utilizando um aspirador de pó e água, modelo Flex S com potência de 1400 W para obtenção da carga livre, em seguida a mesma superfície foi escovada levemente utilizando uma escova de fibra para desagregar os finos do pavimento, e então aspirada novamente para coleta da carga fixa. O processo é ilustrado na Figura 1. As amostras coletadas foram acondicionadas no filtro coletor e encaminhadas para o laboratório.



Figura 1: Coleta de sedimento na parcela amostral de 0,5m². (a) Aspiração, (b) Escovação e (c) Aspiração novamente.

2.3 Análises das Amostras

As seis amostras coletadas diariamente foram secas a 105°C +- 3°C por 24 h em estufa de secagem para remover a umidade, a determinação da massa foi por gravimetria. Depois da secagem e pesagem, as amostras individuais de carga livre foram agrupadas, assim como as de carga fixa para obter maior representatividade das amostras. As amostras compostas de carga livre e fixa de cada local foram analisadas quanto à determinação de metais tóxicos e distribuição granulométrica.

Para determinação dos metais, cinco elementos foram selecionados por apresentarem características tóxicas aos ecossistemas aquáticos e por serem potencialmente encontrados em águas

do escoamento superficial como já observado em outras pesquisas (HERNGREN, 2005; DELETIC e ORR, 2005; GUNAWARDANA et al., 2012), foram eles zinco, chumbo, cobre, níquel e ferro.

A concentração total dos metais foi determinada com a digestão de 1 g da amostra e adição de 10 mL de HNO₃, a digestão foi mantida por 1 hora a +- 85°C em chapa elétrica até a redução do volume para +- 2mL, o qual foi filtrado em papel de filtro faixa branca e avolumado para 50 mL. As leituras foram feitas no Laboratório de Métodos Instrumentais do Instituto de Química da Universidade Federal de Goiás, em um espectrofotômetro de absorção atômica da Perkin Elmer, modelo Analyst 400. As curvas de calibração foram feitas a partir de solução estoque de 100 mg/L de cada metal. Os coeficientes de correlação para todas as curvas foram maiores que 0,99.

Para determinação granulométrica as amostras de carga livre e fixa foram previamente peneiradas em frações de 1,0 mm e 0,5 mm em peneiras Tyler 16 e 32 respectivamente, o material passante de cada peneira foi pesado e armazenado separadamente. A massa passante da peneira de 0,5 mm foi então analisada em um analisador de partículas por difração a laser da Malvern, modelo HYDRO 2000MU pelo software Mastersize 2000, no Laboratório de Geomorfologia, Pedologia e Geografia Física (LABOGEF) do Instituto de Ciências Sócio- Ambientais da UFG e analisado no GRADISTAT, programa estatístico de análise de sedimentos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Metais tóxicos

As Figuras a seguir apresentam as concentrações de Fe, Pb, Zn, Cu e Ni para as cargas livre e fixa nos sedimentos das três ruas amostradas.

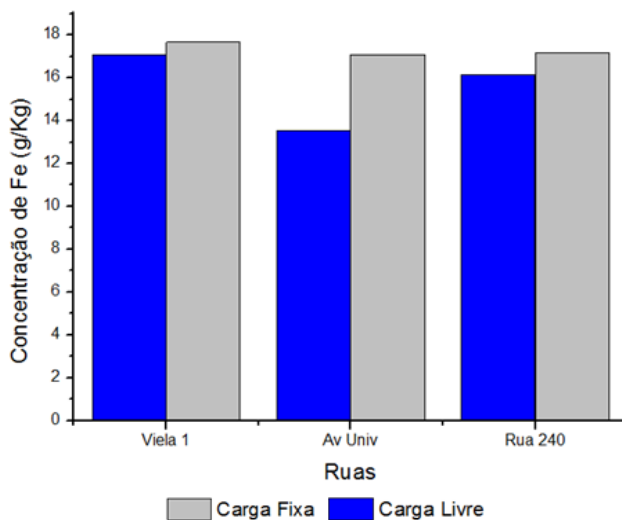


Figura 2: Concentração de Ferro nas Cargas Livre e Fixa das ruas amostradas em set/2012

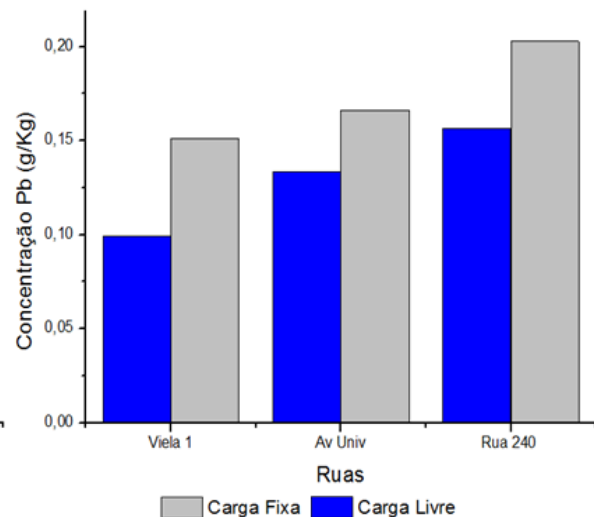


Figura 3: Concentração de Chumbo nas Cargas Livre e Fixa das ruas amostradas em set/2012

Na Figura 2 observa-se que as concentrações de Fe foram similares para todas as ruas, e que não há uma diferença significativa entre as concentrações na carga livre e fixa. A concentração mínima detectada foi 13,5g/kg para carga livre na Avenida Universitária e a máxima 17,7 g/kg para carga fixa da Viela 1. As cargas totais de ferro nos sedimentos da Viela 1, Avenida Universitária e Rua 240 foram respectivamente 34,73g/kg, 30,59g/Kg e 33,31 g/kg.

Na Figura 3 as concentrações de Pb variaram de 0,10 g/kg a 0,20 g/kg para Viela 1 carga livre e Rua 240 carga fixa respectivamente. As amostras de carga fixa apresentaram maiores

concentrações de Pb em relação a carga livre, e as cargas totais para cada rua foram de 0,25 g/kg, 0,30 g/Kg e 0,36 g/Kg, sendo Rua 240 > Avenida Universitária > Viela 1 respectivamente.

Para o cobre observou-se uma variação de 0,004 g/kg a 0,007 g/kg para Avenida Universitária carga livre e Rua 240 carga fixa respectivamente (Figura 4). A concentração de cobre na carga livre da Viela 1 foi maior que na carga fixa, o que não foi verificado para nenhum dos outros metais em nenhuma das outras ruas. As cargas totais foram 0,012 g/kg, 0,010 g/kg e 0,011 g/kg, sendo na ordem crescente Viela 1 > Rua 240 > Avenida Universitária.

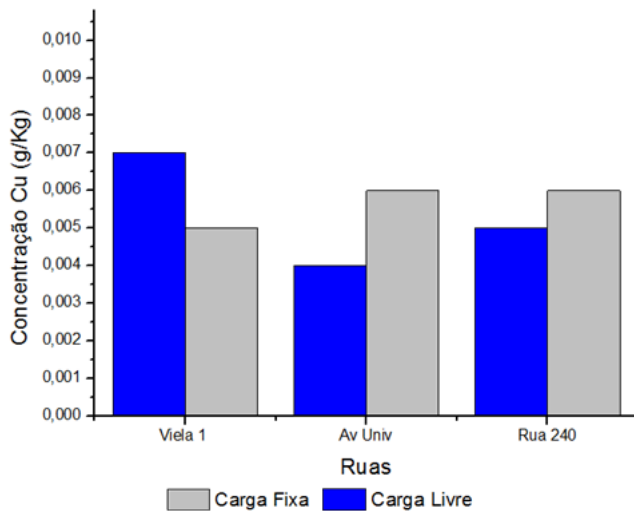


Figura 4: Concentração de Cobre nas Cargas Livre e Fixa das ruas amostras em set/2012

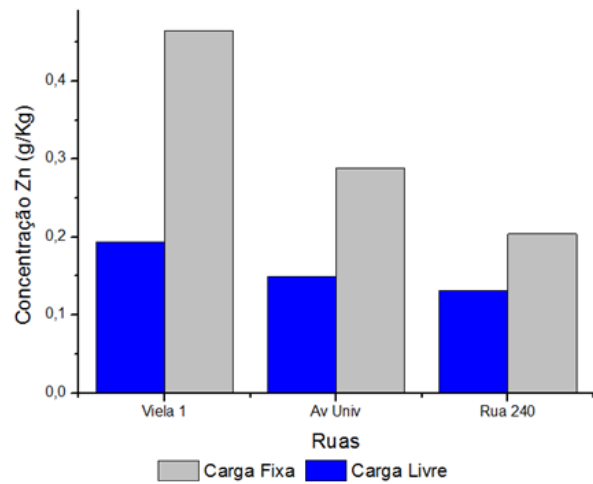


Figura 5: Concentração de Zinco nas Cargas Livre e Fixa das ruas amostras em set/2012

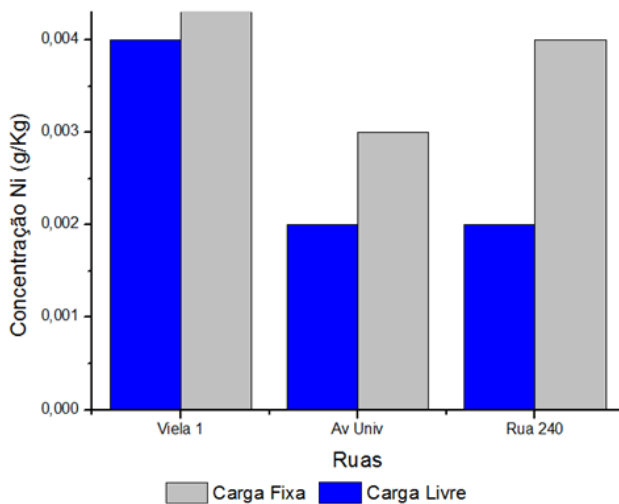


Figura 6: Concentração de Níquel nas Cargas Livre e Fixa das ruas amostradas

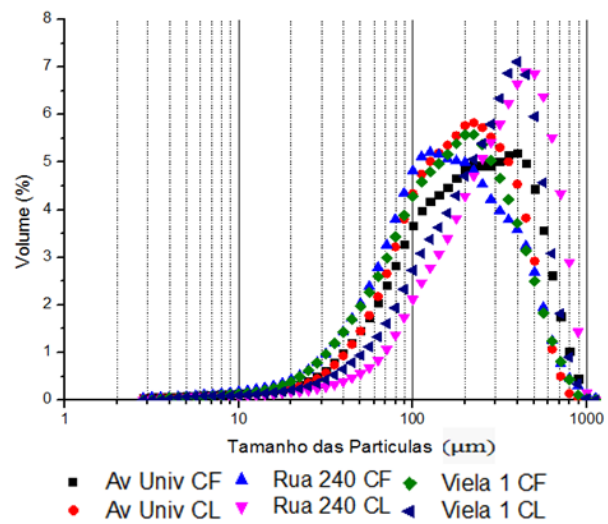


Figura 7: Distribuição Granulométrica das cargas Livre e Fixa das ruas amostras em set/2012

As amostras de zinco apresentaram a maior faixa de variação das concentrações entre as ruas, de 0,46 g/kg a 0,13 g/kg para Viela 1 carga fixa e Rua 240 carga livre respectivamente (Figura 6). Nas cargas fixas também estão as maiores concentrações do elemento em relação à carga livre, e as concentrações seguem a sequência crescente Viela 1 > Avenida Universitária > Rua 240 com cargas totais de 0,66 g/kg, 0,44g/kg e 0,34 g/kg respectivamente.

As amostras de níquel apresentaram cargas totais de 0,005 g/kg, 0,006 g/kg e 0,008 g/kg respectivamente para Avenida Universitária, Rua 240 e Viela 1. As maiores concentrações foram encontradas na carga fixa, sendo que o Ni foi o metal encontrado em menor concentração em todas as ruas.

Analisando os metais nos sedimentos de todas as ruas, percebe-se que há uma considerável variação entre as concentrações dos elementos, de forma que os metais com maiores concentrações seguem em geral a sequência Fe>Zn>Pb>Cu>Ni, sendo que estes estão depositados sobretudo na carga fixa, exceto para o cobre na Viela 1. Robertson et al., (2003) em seus estudos encontraram a mesma sequência com cargas de 11, 3 g/kg, 0,706 g/kg, 0,354 g/kg e 0,092 g/kg respectivamente para Fe, Zn, Pb e Cu, o níquel não foi analisado. Deletic e Orr (2005) encontraram a sequência Zn>Cu>Pb respectivamente 1,75 g/kg, 1,04 g/kg, 0,97 g/kg, não foi analisado níquel e ferro. Comparando os estudos posteriores com a pesquisa nota-se que as concentrações de Fe encontradas nas ruas de Goiânia é o triplo da encontrada por Robertson et al., (2003) em Manchester, para os outros metais os valores são inferiores em comparação com ambos os estudos. No entanto, segundo Deletic e Orr, (2005) as concentrações e cargas dos poluentes nos diversos estudos podem ter uma considerável variação, devido aos diferentes métodos de amostragem e métodos de análise, e também deve-se considerar as diferenças geológicas e climáticas das áreas estudadas.

Em um momento não foi possível observar uma relação direta entre concentração de metais e o fluxo de veículos, pois neste caso a Avenida Universitária teria que ter as maiores concentrações de metais, seguida da Rua 240 e Viela 1. Fato que não foi observado, visto que a Viela 1 possui as maiores concentrações de Fe, Zn, Cu e Ni. Apenas para o chumbo não foi observada essa característica, pois o maior valor de Pb foi detectado na Rua 240 seguindo da Avenida Universitária. No entanto, dois aspectos precisam ser considerados para compreender os resultados. Primeiramente o uso de solo afeta diretamente na concentração dos poluentes, e apesar da Viela 1 não possuir um alto fluxo de veículos, perto dela está localizada uma fábrica de transformadores, característica que explica as maiores concentrações de Fe, Zn, Cu e Ni, considerando que estes elementos são matéria prima nesta fábrica. O outro aspecto importante que interfere no acúmulo de poluentes na superfície é as condições do pavimento, como idade do pavimento e textura. Assim, deve-se ressaltar que a Avenida Universitária no período de coleta, tinha o pavimento em ótimas condições, pois tinha sido recapada cerca de dois meses antes da coleta do sedimento, e ainda assim apresentou concentrações dos Fe, Pb, Cu, Zr e Ni similares as outras ruas.

3.2 Distribuição Granulométrica

A Figura 8 apresenta a distribuição granulométrica das cargas livre e fixa de cada rua amostrada, na qual nota-se que há uma variação no tamanho das partículas das cargas livre e fixa, mas em geral as características são semelhantes. As amostras de carga livre da Viela 1 e da Rua 240 apresentam uma distribuição unimodal com picos em 400 e 500 µm respectivamente que compreende as frações de areia média e grossa, sendo estas cargas são as únicas a apresentarem frações maiores que 1000 µm, que é uma fração de areia muito grossa. A Avenida universitária apresentou um comportamento bimodal com picos em 200 e 400 µm compreendendo areia fina e média na carga livre e em 200 para carga fixa µm.

Na distribuição estatística no GRADISTAT observou-se que o principal constituinte do sedimento nas cargas livre e fixa é a areia, sendo que na carga livre a areia compreende 90,4%, 95,5% e 93,2% e na carga fixa 89,9%, 85,5% e 86,6% da massa total do sedimento amostrado respectivamente para Avenida Universitária, Rua 240 e Viela 1. No entanto as maiores porcentagens de areia estão entre 62,5 e 250 µm que compreende a areia fina, partículas de pequeno diâmetro e fáceis de serem transportadas pelo escoamento, vento e tráfego de veículos. Este mesmo

fato foi observado por Zhao et al., (2011) em estudos na China onde constataram que os sedimentos urbanos acumulados em superfícies impermeáveis são predominantemente < 250 µm. Robertson et. al (2003) no Reino Unido encontraram resultados similares que mostraram que os sedimentos urbanos eram compostos principalmente por areia, onde o tamanho das partículas variou de 200 a 300 µm.

CONCLUSÃO

Os resultados apresentados indicam que os sedimentos urbanos das ruas amostradas em Goiânia contêm metais tóxicos. As concentrações de Fe na carga livre e fixa variaram de 13,52 a 17,75 g/kg, as de Zn de 0,13 a 0,46 g/kg, as de Cu de 0,004 a 0,007 g/kg, as de Ni de 0,002 a 0,004 e as de Pb de 0,1 a 0,2 g/kg, de forma que as maiores concentrações de Fe, Zn, Cu e Ni foram encontradas na Viela 1, exceto o Pb que apresentou maior concentração na Rua 240 seguido da Avenida Universitária. O uso do solo se mostrou uma característica essencial no processo de acúmulo dos metais em superfícies impermeáveis urbanas e o efeito do tráfego no quantitativo das massas de metais não é evidente. A variação no tamanho das partículas das cargas livre e fixa apresentaram características semelhantes, mas como esperado, os sedimentos constituintes da carga fixa são mais finos que aqueles da carga livre. Os metais foram detectados principalmente na carga fixa, que apresentou uma distribuição em que 50% das frações do sedimento estão entre silte e areia fina, ou seja, menores que 250 µm.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Química e Instituto de Ciências Sócio-Ambientais da Universidade Federal de Goiás pela parceria no desenvolvimento da pesquisa, e ao programa de bolsas da CAPES que propicia aos estudantes de várias áreas a abertura para o mundo da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- BALL; JENKS; AUBOURG. An assessment of the availability of pollutant constituents on road surfaces. **The Science of the Total Environment**, Vol. 209, p. 243-254.1998.
- BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - Denit. **Manual de estudos de tráfego**. Rio de Janeiro, 2006. 384 p. (IPR. Publ., 723). Disponível em:< http://ipr.dnit.gov.br/manuais/manual_estudos_trafego.pdf>. Acesso em 20 nov.2012.2006.
- DELETIC; ORR. Pollution Buildup on Road Surfaces. **Journal of Environmental Engineering - ASCE**.Vol.131, p.149- 159. 2005.
- EPA. **Preliminary Data Summary of Urban Storm Water Best Management Practices**. EPA-821-R-99-012. Office of Water (4303). Washington. 1999.
- HERNGREN. **Build-up and wash-off process kinetics of PAHs and heavy metals on paved surfaces using a simulated rainfall**. Thesis submitted to Faculty of Built Environment and Engineering, Australia. 2005. Disponível em: < http://eprints.qut.edu.au/16111/1/Lars_Herngren_Thesis.pdf>. Acesso 22 ago. 2012.2005.
- HERNGREN; GOONETILLEKE; AYOKO. Analysis of heavy metals in road-deposited sediments. **Analytica Chimica Acta- Elsevier**, Vol. 571, p. 270-278.2006.
- EGODAWATTA; GOONETILLEKE. Characteristics of pollution build-up on residential road surfaces. Paper presented at the **7th International Conference on Hydrosience and Engineering -ICHE**. 2006.Disponível em:< http://eprints.qut.edu.au/12660/1/Prasanna-ICHE__ePrint_.pdf>. Acesso em 15 out.2012.2006.

- EGODAWATTA. **Translation of small-plot scale pollutant build-up and wash-off measurements to urban catchment scale.** Thesis submitted to Faculty of Built Environment and Engineering, Austrália. 2007.
- GROTTKER. Runoff quality from a street with medium traffic Loading. **Science of the Total Environment**, Vol. 59, p. 457-466.1987.
- GUNAWARDANA; GOONETILLEKE; EGODAWATTA; DAWES; LES; KOKOT. Role of solids in heavy metals build-up on urban road surfaces. **Journal of Environmental Engineering-ASCE**, Vol. 138(4), p. 490-498. 2012.
- IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010.** 2011. Disponível em< <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/0000000402.pdf>>. Acesso em 30 out. 2012. 2010.
- MIGUNTANNA. **Nutrients build-up and wash-off process in urban land uses.** Thesis submitted to Faculty of Built Environment and Engineering, Australia. 2009. Disponível em:< http://eprints.qut.edu.au/31236/1/Nandika_Miguntanna_Thesis.pdf> . Acesso 22 ago.2012.2009.
- PITT; BURTON. **Stormwater effects handbook: a toolbox for watershed managers, scientists, and engineers.** Ed. CRC Press, New York, 2001.
- ROBERTSON; TAYLOR; HOON. Geochemical and mineral magnetic characterisation of urban sediment particulates, Manchester, UK. **Applied Geochemistry**, Vol.18, p. 269–282.2003.
- SARTOR; BOYD. Water pollution aspects of street surface contaminants. Office of Research and Monitoring U.S. **Environmental Protection Agency - EPA**, Washington, D.C.20460. 1972.
- SUTHERLAND; TOLOSA .Multi-element analysis of road-deposited sediment in an urban drainage basin, Honolulu, Hawaii. **Environmental Pollution- Elsevier**, Vol. 110, p. 483-495. 2000.
- TUCCI. Drenagem Urbana. **Ciência e Cultura**, vol.55. São Paulo Oct. /Dec. 2003.
- VAZE; CHIEW. Experimental study of pollutant accumulation on an urban Road surface. **Urban Water** 4(2002), p. 379-389. 2002.
- VOLESKY. Detoxification of metal-bearing effluents: biosorption for the next century. **Hydrometallurgy - Elsevier**, Vol. 59, p. 203- 216. 2001.
- ZHAO; LI; WANG. Heavy Metal Contents of Road-Deposited Sediment along the Urban-Rural Gradient around Beijing and its Potential Contribution to Runoff Pollution. **Environmental Science Technology**, Vol. 45, p. 7120–7127. 2011.