

Efeitos da urbanização no sistema fluvial: contaminação do sedimento do leito e da água na bacia do rio Pitimbu, Natal, nordeste do Brasil

Effects of urbanization on fluvial system: bed sediment and water contamination within Pitimbu river watershed, Natal, Brazilian northeast

Submetido em: 22/09/16
Revisado em: 05/11/16
Aprovado em: 16/11/16

Lúcio Flávio Ferreira Moreira
Andréa Saraiva de Oliveira
Renata Cristina de Araújo Lima
Kim Hudson Nunes de Oliveira

RESUMO: O objetivo deste estudo foi analisar o efeito do uso do solo na contaminação do sedimento do leito e da água na bacia do rio Pitimbu. Trata-se de uma bacia em processo de urbanização, responsável por parte do abastecimento da cidade de Natal. Para isso, foram determinadas as concentrações de Chumbo, Ferro, Alumínio, Níquel, Zinco, Manganês, Cádmio e Cobre em amostras da água e do sedimento coletadas durante a recessão do hidrograma (Novembro/2011), em oito seções ao longo da calha fluvial. As amostras foram posteriormente analisadas por espectrometria de absorção atômica por chama (FLAA). Os resultados obtidos demonstram que as concentrações máximas observadas no sedimento para Chumbo (1.100 mg/kg) e Ferro (38.750 mg/kg) foram causadas pelo tráfego de veículos automotores. Para a água, os dados revelam aumento das concentrações de Alumínio e Ferro a medida que o rio atravessa a região urbana, com valores máximos alcançando 0,55 mg/L e 0,6 mg/L respectivamente. Esses valores contrariam as diretrizes ambientais estabelecidas na Resolução CONAMA 357/2005 para corpos hídricos destinados prioritariamente ao abastecimento humano.

Palavras-Chave: Qualidade ambiental; Uso do solo; Urbanização; Rio Pitimbu

ABSTRACT: The aim of this study was to investigate the effect of land use on bed sediment and water contamination in the Pitimbu River watershed. It is a watershed in the process of urbanization, responsible for part of the city of Natal water supply. For this purpose, Lead, Iron, Aluminium, Nickel, Zinc, Manganese, Cadmium and Copper water and bed sediment metal concentrations were determined for eight transverse sections along the river length. Samples were collected during the river recession period (November/2011), and analysed by flame atomic absorption spectrometry (FLAA). Obtained results demonstrate that maximum sediment metal concentrations for Lead (1,100 mg/kg) and Iron (38,750 mg/kg) were caused by the traffic of motor vehicles. For water, obtained data reveal increasing Aluminium and Iron metal concentrations as the river drains the urban area, with maximum values attaining 0.55 mg/L and 0.6 mg/L respectively. These values contradict the environmental guidelines established by CONAMA 357/2005 Brazilian Statement for water bodies primarily used for human supply.

Keywords: Environmental quality; Land use; Urbanization; Pitimbu River

INTRODUÇÃO

A urbanização nas regiões metropolitanas produz impactos no ambiente natural. Na cidade em expansão, a ocupação do solo modifica os processos hidrológicos e a dinâmica de sedimentos na bacia (TAYLOR; OWENS, 2009). Ao mesmo tempo, aumenta a produção de resíduos que, uma vez introduzidos no ambiente aquático pelo escoamento, contamina a água e o ecossistema. No processo de ocupação da

bacia, o uso do solo traduz a atividade antrópica, potencial fonte de substâncias capazes de degradar o sistema fluvial. Vários estudos têm-se dedicado a avaliar os efeitos desses contaminantes na qualidade da água e do sedimento. Em geral, os resultados obtidos indicam altas concentrações de contaminantes no meio aquático, muitas delas apresentando valores que superam os níveis recomendáveis de proteção à saúde humana. (FOSTER; CHARLESWORTH, 1996; OWENS, 2008; SUTHERLAND, 2003)

No meio aquático, o sedimento do leito é um recipiente potencial de metais, e serve de fonte para o sedimento em suspensão. Em situações em que ocorre a introdução dessas substâncias no meio aquático, esses sedimentos são mobilizados e entram na cadeia alimentar dos organismos bentônicos. Desse modo, a química do sedimento influencia a qualidade da biota aquática, uma vez que esses organismos ingerem sedimentos, e assim acumulam contaminantes. Uma vez ingeridas essas substâncias contaminantes, ocorrem reações químicas no sistema digestivo, que produzem deformidades e extinção das espécies sensíveis (OWENS et al., 2005; OWENS, 2008; VIERS et al., 2009; MAYER et al., 1996).

Uma vez introduzidos no sistema fluvial, uma parcela dos metais ficam depositados na calha fluvial ou nas planícies de inundação e barramentos, onde ficam retidos temporariamente até serem mobilizados novamente durante os eventos de máximas vazões. Dada a sua estabilidade, o sedimento fluvial pode ser usado para avaliar o estado de degradação do meio aquático. Os estudos em geral procuram associar os impactos produzidos na água e sistema aquático com a ocorrência de fontes poluidoras distribuídas espacialmente na bacia. Os sedimentos do leito oferecem uma boa compreensão da carga de metais no meio aquático, uma vez que ficam retidos por um período suficientemente longo, até serem mobilizados e transferidos para jusante (OWENS et al., 2001).

Diversos estudos têm se dedicado ao sedimento rodoviário (sedimento que se acumula na superfície do pavimento), devido ao seu potencial de contaminação do sistema aquático (HJORTENKRANS, 2008; SUTHERLAND, 2000; VAN HESSEL et al., 1980; TAYLOR; OWENS, 2009; SUTHERLAND, 2003). O sedimento rodoviário encontra-se exposto à contaminação causada pelo tráfego de veículos automotores. O tráfego desses veículos geram resíduos capazes de se agregar a esses sedimentos. Dessa forma, esses contaminantes estão associados às diversas fontes veiculares: resíduos da queima dos motores a combustão, desgaste de peças e pneus, óleos lubrificantes, resíduos da lataria, entre outras. Dentre as substâncias presentes no sedimento rodoviário, vale citar o elemento Chumbo pelo efeitos nocivos à saúde humana (TONG et al., 2000).

Na bacia do rio Pitimbu, objeto deste estudo, a contaminação do ambiente aquático está associada a

um processo de urbanização desordenada. Distribuídas espacialmente ao longo do rio, as fontes poluidoras estão associadas a diversos tipos de fatores: falha na infraestrutura de saneamento, atividade agrícola e industrial, tráfego rodoviário, falha da infraestrutura do sistema de drenagem pluvial, conexão irregular de esgotos domésticos na rede pluvial, lançamento de materiais de construção de resíduos sólidos em áreas próximas da calha. Estudos anteriores avaliaram a qualidade do ecossistema aquático no rio Pitimbu considerando a diversidade biológica dos organismos bentônicos presentes no sedimento. Foram observados sinais de degradação do ecossistema associados aos efeitos produzidos pelos metais pesados. Observou-se uma ausência dos organismos das espécies *Corduliidae* e *Helicopsychidae*, consideradas sensíveis à contaminação por metais pesados (KOBAYASHI et al., 2010).

O objetivo deste estudo foi analisar a contaminação do sistema fluvial do rio Pitimbu pela presença de metais pesados. Paralelamente, foram identificadas espacialmente as fontes poluidoras. A avaliação da contaminação por metais pesados foi feita mediante a análise de amostras da água e sedimento do leito, coletadas num período de 2 semanas durante a fase de recessão do hidrograma (Novembro/2011) em pontos selecionados ao longo da calha fluvial. Neste estudo foram analisados os elementos Chumbo, Níquel, Cobre, Cádmio, Ferro, Alumínio, Zinco e Manganês.

ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Rio Pitimbu (BHRP) está situada na região oriental do Rio Grande do Norte, entre os paralelos 5°50'00" e 5°57'53" latitude Sul e os meridianos 35°11'08" e 35°23'19" longitude Oeste. A área de drenagem da bacia é de 107 km² e abrange parte de três municípios da região metropolitana (Macaíba, Parnamirim e Natal). A Figura 1 apresenta imagem da BHRP com a localização dos pontos de amostragem na calha fluvial. As águas do rio Pitimbu abastecem aproximadamente 280.000 habitantes das zonas Sul, Leste e Oeste de Natal. A Companhia de Águas (CAERN) utiliza a água do rio para o abastecimento humano, com a captação de aproximadamente 0,722 m³/s. O ponto de captação da água está situado na lagoa do Jiqui, que constitui uma variação morfoló-

gica da calha fluvial e se comporta como uma espécie de caixa de passagem das águas do rio.

O curso d'água principal tem aproximadamente 37 km de comprimento. A precipitação média anual na bacia é de 1554 mm. A estação chuvosa se estende de Fevereiro a Julho, com 45% dos eventos chuvosos ocorrendo entre os meses de Março e Maio. A maioria dos eventos críticos na bacia são de origem convectiva (alta intensidade e curta duração). A descarga líquida no rio Pitimbu varia sazonalmente como resposta à ocorrência dos eventos de precipitação. O período de recessão do rio ocorre entre Outubro e Janeiro, quando as chuvas são escassas e o rio é alimentado pelo escoamento de base. A análise do comportamento das chuvas na região revelou que a maioria dos eventos críticos ocorrem no período noturno.

A BHRP é formada por rochas sedimentares e dunas móveis, Paleo-dunas e depósitos Quaternários. Fatores geomorfológicos explicam o regime de vazões no rio Pitimbu. O caráter perene do rio pode ser explicado pela ressurgência das águas subterrâneas provenientes da formação geológica Dunas-Barreiras em toda sua extensão. O comportamento das vazões é influenciado pela sazonalidade. O monitoramento das vazões no posto da BR 101 (ponto S2, Figura 1) variou entre 0,62 m³/s na estação seca (Dezembro/2007) e 10,6 m³/s na estação chuvosa (Junho/2008).

Neste estudo, a metodologia empregada para o levantamento do uso e ocupação do solo na área da BHRP utilizou mapa em ambiente AutoCAD, imagem do Google Earth® (ano 2010), além da inspeção *in loco* de dados de coordenadas geográficas.

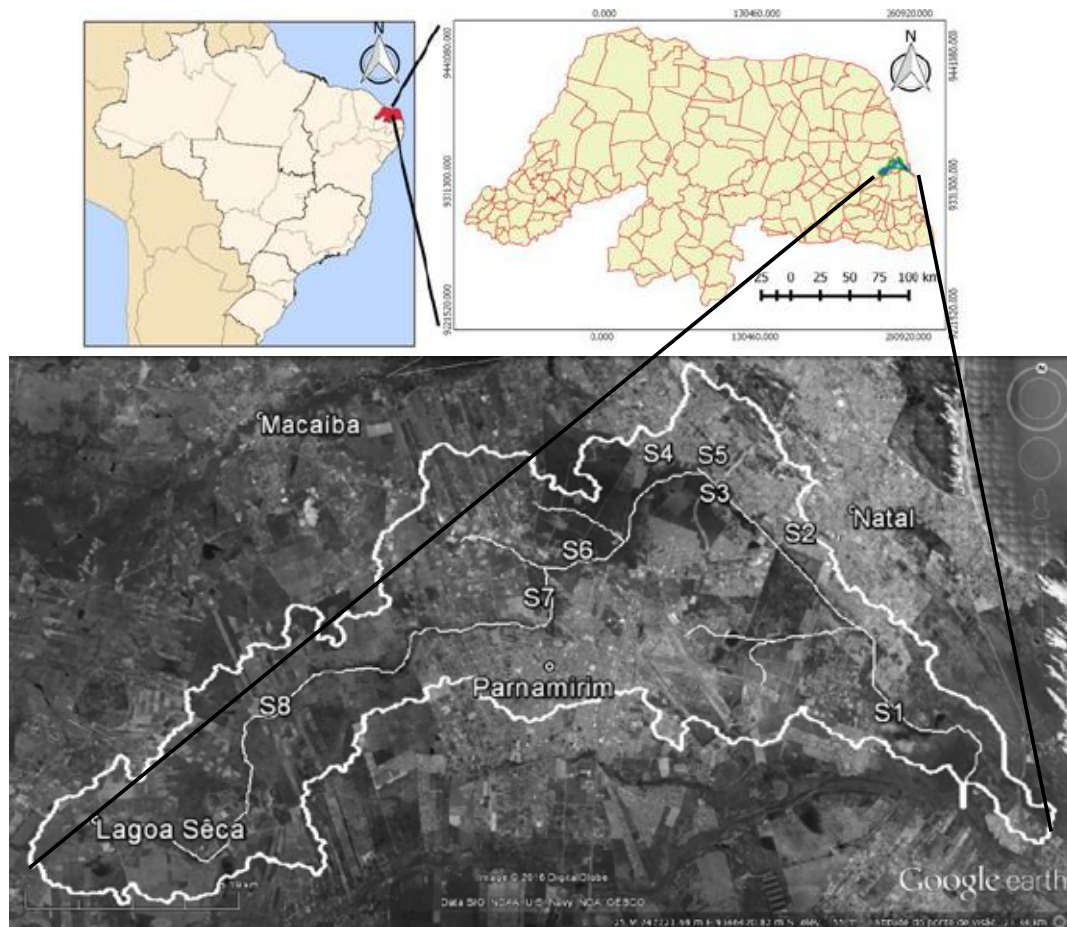


Figura 1 - Uso do solo e localização da BHRP. Fonte: Google Earth®

Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 1. É possível observar que a bacia dispõe de vasta área de vegetação nativa preservada (40,1%), situada no baixo curso do rio imediatamente a jusante da BR101. Por outro lado, as áreas ocupadas e em processo de ocupação na BHRP perfazem 30,6%.

Durante as últimas décadas, a área da BHRP tem sido submetida a intenso processo de urbanização, com ocupação do solo e rápido crescimento populacional. Nesse sentido, dados do censo populacional informam que as taxas de crescimento dos municípios de Parnamirim, Macaíba e Natal entre 1996 e 2010 correspondem a 135%, 49% e 22%, respectivamente (IBGE, 2016).

Tabela 1 – Classificação do uso do solo na BHRP

USO DO SOLO	Ha	%
Ocupação residencial/comercial	18,3	17,6
Cobertura vegetação nativa	41,7	40,1
Área em processo de ocupação	13,4	13
Agricultura	19,3	18,6
Aglomerado rural	2,2	2,1
Área militar	6,7	6,4
Cemitério	0,04	0,04
Industrial	2,3	2,2

Na região de nascente do rio, situada no município de Macaíba, predomina-se o uso do solo para a pequena agricultura. A ocupação da bacia no curso médio do rio, em que atravessa o meio urbano, ocorre numa condição de baixa cobertura de coleta de esgotos. O resultado disso é o uso disseminado de fossa e sumidouro, o que resulta na produção de efluentes domésticos infiltrados no solo que contaminam as águas subterrâneas. Estudos anteriores relacionaram a degradação do sistema aquático com a existência de fontes difusas e pontuais ao longo da calha fluvial (KOBAYASHI et al., 2010; OLIVEIRA, 2012). As substâncias contaminantes podem ter origem orgânica ou inorgânica: esgotos domésticos, atividade agrícola, materiais de construção e resíduos automotores gerados nas rodovias. Uma análise histórica do processo de ocupação da bacia nos últimos 20 anos revela uma conjunção de fatores que condicionaram a ocupação. Vale citar a proximidade aos bairros

periféricos de Parnamirim e Natal e a existência de um mercado imobiliário com demanda aquecida. No entanto, é possível observar que a ocupação dessas áreas ocorreu de forma desorganizada, com pouca articulação intermunicipal e ocupação das áreas de proteção do ambiente fluvial. Além disso, a interceptação do rio por rodovias com alta densidade de tráfego em duas seções (BR 101 e BR 304), aumenta o impacto das fontes de origem rodoviária na degradação do meio aquático.

AMOSTRAGEM E ANÁLISE

Foram realizadas 24 coletas de amostras da água e sedimento de fundo distribuídas em oito seções transversais ao longo da calha fluvial. O período de amostragem teve uma duração de quinze dias durante o mês de Novembro/2011, período que compreende a fase de recessão do hidrograma, com ausência de eventos chuvosos. Nessa condição, é possível inferir que os dados de concentração caracterizam uma fotografia do estado crítico de contaminação do sistema fluvial.

A amostragem envolveu a coleta de uma amostra de água (1 Litro) e três amostras de sedimento ao longo do perímetro molhado da seção transversal, com a formação de uma amostra composta representativa. Os pontos de amostragem estão representados na Figura 1. Eles foram selecionados levando em conta os seguintes fatores: potencial poluidor, acesso, zonas de depósito fluvial e presença de obras de tráfego. A Tabela 2 apresenta as coordenadas geográficas das seções transversais (em coordenada UTM) e discrimina as principais fontes observadas nos trechos a montante de cada ponto: pesticidas, efluentes domésticos, industriais, resíduos automotores, processos erosivos de estruturas de lançamento de águas pluviais, resíduos de construção.

A metodologia de tratamento das amostras de sedimento adotada neste estudo foi a digestão ácida, estabelecida pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA 3050B, 1996). Durante os procedimentos de coleta e acondicionamento da amostra, foram tomadas as devidas precauções visando minimizar os riscos de mudanças na especiação dos metais. Para isso, foi usada a técnica de

Tabela 2 – Pontos de amostragem usados no estudo. Fontes: MO matéria orgânica; RA resíduos rodoviários; ED lançamento de efluentes domésticos; SED processos erosivos com aporte de sedimentos ao rio; IN efluentes industriais; MC material de construção; PE pesticidas. A localização dos pontos está indicada pela sua coordenada geográfica (em UTM)

Seção	Nomenclatura	Localização		Fontes
1	EMPARN	256612,3	9345510,4	ED
2	BR101	253557,6	9349575,9	RA SED ED
3	Prudente	251898,2	9351018	RA ED
4	Planalto 1	251040	9351398	ED
5	Planalto 2	250469,4	9351075,5	ED SED RA
6	BR 304	248416,3	9348668,2	RA ED IN
7	Passagem Areia	247905,5	9347144	ED RA
8	Lamarão	240493,7	9344037	PE MO

preservação da amostra com congelamento a seco, que permite manter a estabilidade dos metais por longo período. O congelamento a seco minimiza a atividade microbiana na amostra oxidada, e o seu armazenamento em condições anóxicas evita a oxidação do sulfeto e sulfato. As amostras de sedimento de fundo foram coletadas na superfície (0-5 cm), em duplicata, utilizando draga tipo Van Veen em aço inoxidável, depositadas numa bandeja de PE para homogeneização com espátula de aço inoxidável. Foram acondicionadas em recipientes de PE e transportadas em gelo, num período aproximado de 60 minutos, para o armazenamento a -5°C até posterior análise. Antes de serem submetidas à digestão ácida, as amostras foram secas em estufa a 80°C durante 24 horas. Após secagem, as amostras foram desagregadas em almofariz de ágata e peneiradas em peneira de nylon 63 µm para evitar contaminação. Uma vez realizada a digestão ácida, o extrato obtido foi filtrado e diluído em água destilada, para posterior análise por espectrometria de absorção atômica por chama (FLAA), usando para isso um espectrofotômetro (marca VARIAN® modelo AA240). Foram analisadas as concentrações dos seguintes metais no sedimento e na água: Chumbo, Níquel, Cobre, Cádmio, Ferro, Alumínio, Zinco e Manganês. Vale mencionar que a análise das concentrações de referência na água e no sedimento obedeceu a metodologia apresentada anteriormente.

O índice de geo-acumulação (Igeo) serve para medir o grau de poluição por metais em sedimentos aquáticos e tem sido usado em vários estudos na Europa (FORSTNER et al., 1990). O Igeo foi usado neste trabalho para avaliar o nível de contaminação do sedimento por metais pesados, e foi determinado em cada seção de acordo com a Equação 1,

$$I_{geo} = \log_2 [Amostra_n / (1,5 \cdot Referência_n)] \quad (1)$$

onde $Amostra_n$ e $Referência_n$ são as concentrações de metais pesados nas amostras de sedimento e de referência em mg/kg, respectivamente. O Igeo normalmente é calculado com base no valor médio das concentrações de referência, definidas para uma condição em que o sedimento sofreu pouca influência das atividades humanas. Neste estudo, os valores de referência foram obtidos em amostras de sedimentos coletadas em áreas de nascente na bacia, localizadas no município de Macaíba, distrito de Lamarão (seção 8). Na Equação 1, a constante 1,5 foi introduzida para minimizar possíveis variações nos valores de referência atribuídas às variações litológicas do sedimento. De acordo com Miller (1979), o índice de geo-acumulação abrange sete níveis e estabelece o grau de severidade da poluição obedecendo à seguinte classificação: <0 ausência de poluição; 0-1 pouco a moderadamente poluído; 1-2 moderadamente poluído; 2-3 moderadamente a fortemente poluído; 3-4

Tabela 3 – Índices de geo-acumulação dos metais pesados na água.

Seção	1	2	3	4	5	6	7
Alumínio	3,0	1,4	1,0	-0,58	1,4	0,41	-0,58
Ferro	-0,1	-0,92	-0,7	-0,65	-0,84	0,74	0,5
Zinco	1,41	1,0	1,0	-0,58	-0,58	-0,58	0,4

Tabela 4 – Índices de geo-acumulação dos metais pesados no sedimento do leito.

Seção	1	2	3	4	5	6	7
Alumínio	2,07	-2,2	-0,6	-2,3	-1,6	-2,3	-2,5
Chumbo	9,4	-0,6	11	-0,6	-0,6	12,8	12,7
Ferro	5,00	1,7	3,9	2,4	3,1	7,24	5,2
Zinco	1,8	0,07	0,19	1,13	-0,8	1,4	0,78

fortemente poluído; 4-5 extremamente poluído; >5 poluição no estado crítico.

RESULTADOS

Os valores das concentrações de referência detectadas no sedimento foram os seguintes: Alumínio[121 mg/kg], Chumbo[0,1 mg/kg], Ferro[171 mg/kg] e Zinco[35 mg/kg]. Os elementos Níquel, Cádmio, Manganês e Cobre não foram detectados no sedimento. Para a água, as concentrações de referência foram: Alumínio[0,05 mg/kg], Ferro[0,43 mg/kg] e Zinco[0,005 mg/kg]. Os elementos Manganês, Níquel, Cádmio, Cobre e Chumbo não foram detectados na água. Vale mencionar que esses valores refletem as condições litológicas da bacia nas áreas de nascente.

Os valores da concentração de metais no sedimento apresentaram a seguinte variação espacial [mínimo-máximo], média geométrica, ao longo do comprimento da calha fluvial (em mg/kg): Alumínio[121-2970], 270; Chumbo[0,1-1100], 6,5; Ferro[171-38750], 2912; Zinco[30-180], 74; Níquel[0-100].

Neste estudo, os dados obtidos revelaram uma tendência ao aumento da contaminação do meio aquático em função do escoamento para jusante, com os valores máximos observados na seção 1. No entanto, vale citar que para os elementos Chumbo e Ferro,

as concentrações máximas observadas no sedimento decorrem de fontes pontuais nas seções 6 e 7. Nesse sentido, a contaminação está fortemente condicionada à presença de fontes que promovem a transferência dos contaminantes para a calha fluvial (HOROWITZ et al., 2008). O sedimento contaminado se deposita no leito até ser remobilizado e transportado pelo fluxo para regiões situadas a jusante.

Os valores dos índices de geo-acumulação (Igeo) calculados para a água e sedimento estão apresentados nas Tabelas 3 e 4, respectivamente. As concentrações de Chumbo, Ferro, Alumínio, Níquel e Zinco observadas na água e no sedimento estão apresentadas nos gráficos das Figuras 2 e 3, respectivamente. Nestas Figuras, o eixo horizontal superior indica a distância (em km) até o ponto de captação da água para abastecimento situado na lagoa do Jiqui. O eixo das abcissas indica a localização (distância indicada no eixo horizontal superior) dos pontos de coleta de amostras. Na Figura 2, setas indicam a localização das fontes pontuais consideradas relevantes neste estudo: obras de infraestrutura (rodovias, estrutura de lançamento de águas pluviais, com formação de voçoroca), lançamento de efluentes domésticos na calha fluvial. Nas Figuras 2 e 3, as linhas tracejadas representam concentrações de referência dos metais analisados. Os resultados obtidos revelam que os elementos Níquel, Cádmio, Manganês e Cobre encontram-se ausentes no sedimento, pois não foram

detectados pelo método de análise aplicado no estudo. Além disso, os elementos Cádmio, Cobre, Chumbo, Níquel e Zinco não foram observados na água. Na Figura 2, observa-se tendência de aumento da concentração do Alumínio e Ferro na água a medida que o rio escoava para jusante através do meio urbano. Esse comportamento parece refletir o efeito da contaminação pelo lançamento de efluentes domésticos por fontes pontuais ao longo do rio.

Os índices de geo-acumulação (Igeo) no sedimento para o Chumbo e Ferro apresentaram alta severidade de poluição. Os dados revelam que para o Chumbo, 54% das seções estão severamente poluídas; para o Ferro, 28% das seções estão severamente poluídas e 57% estão fortemente poluídas. Para o Zinco, 43% das seções estão moderadamente poluídas. Os resultados sugerem a transferência da contaminação por metais para jusante através do sedimento. É possível observar que a contaminação do sedimento por Chumbo e Ferro são as mais altas entre os metais analisados. Para a água, os índices de geo-acumulação (Igeo) dos metais apresentaram poluição moderada a forte para o Alumínio e Zinco. Para o Alumínio e Zinco, os dados revelam que 43% dos locais de coleta estão moderadamente poluídos.

Neste estudo, os níveis críticos de contaminação, observados para Chumbo e Ferro na seção 6, indicam poluição severa, e refletem a contaminação do meio aquático causada por fontes pontuais na rodovia BR304. Vários estudos associam a ocorrência de altas concentrações para Chumbo e Zinco no sedimento do leito com a densidade no tráfego de veículos (VAN HESSEL et al., 1980; HEINY; TATE, 1997). As áreas situadas a montante das seções 6 e 7 têm sido historicamente submetidas a fatores de uso do solo que causaram a contaminação do meio aquático: aumento da intensidade da urbanização e da densidade de tráfego na BR 304, a atividade industrial, descarte de material de construção. Na seção 6, a BR 304 é a principal via de tráfego em direção ao interior do Rio Grande do Norte e Ceará. Isso a torna ponto de depósito e acumulação de contaminantes associados ao tráfego rodoviário: lubrificantes, pneus, óleos, freios, desgaste de peças. Particularmente nesse trecho da rodovia, a configuração do relevo condiciona a drenagem dos contaminantes para o meio aquático. Além disso, vale mencionar a atividade industrial nas áreas que mar-

geiam a rodovia. Estudos associam a contaminação do sedimento por metais com a atividade industrial (TIEFENTHALER et al., 2008; KUUSISTO-HJORT et al., 2013). Na seção 7, situada em Passagem de Areia, a ausência de obra rodoviária (ponte) obriga aos veículos o acesso ao leito do rio durante a travessia. O tráfego de veículos neste local torna a contaminação do meio aquático evidente. Assim, os níveis de contaminação por Chumbo e Ferro observados nestas seções evidenciam os efeitos causados por fontes veiculares. Essas observações confirmam os estudos realizados por SUTHERLAND, (2000), que observou altas concentrações de Chumbo (1730 mg/kg) e Zinco (159 mg/kg) associadas à densidade de tráfego veicular no Havai.

Neste estudo, as fontes pontuais da BR 304 potencializam a contaminação do meio aquático. Muito embora o depósito do sedimento contaminado tenha um efeito espacialmente restrito, a sua remobilização durante eventos críticos promove a transferência do sedimento contaminado para outros locais a jusante. A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece diretrizes ambientais para o enquadramento de corpos hídricos em função dos usos prioritários. Neste estudo, as concentrações de Alumínio e Ferro observadas na água no ponto 1, seção próxima ao ponto de captação do Jiqui, foram 0,55 mg/L e 0,6 mg/L respectivamente. Vale mencionar que a coleta de amostras de água na fase de recessão do hidrograma (baixas vazões) caracteriza uma condição hidrológica que tende a aumentar o risco de contaminação causada por fontes pontuais de lançamento de efluentes domésticos. Por outro lado, a ausência de eventos máximos de precipitação nesse período tende a reduzir o risco de contaminação causada pela transferência de sedimento rodoviário para a calha fluvial, com o aumento da turbidez da água. De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, o enquadramento menos restritivo do rio Pitimbu (uso prioritário para abastecimento humano) é de Classe 2. Nesse sentido, as concentrações de Alumínio e Ferro observadas na água (mencionadas anteriormente) contrariam as diretrizes estabelecidas na Resolução para corpos hídricos Classe 2, destinados prioritariamente ao abastecimento humano. Os valores apresentados na Resolução são: para o Alumínio, concentração máxima 0,1 mg/L; para o Ferro, concentração máxima 0,3 mg/L.

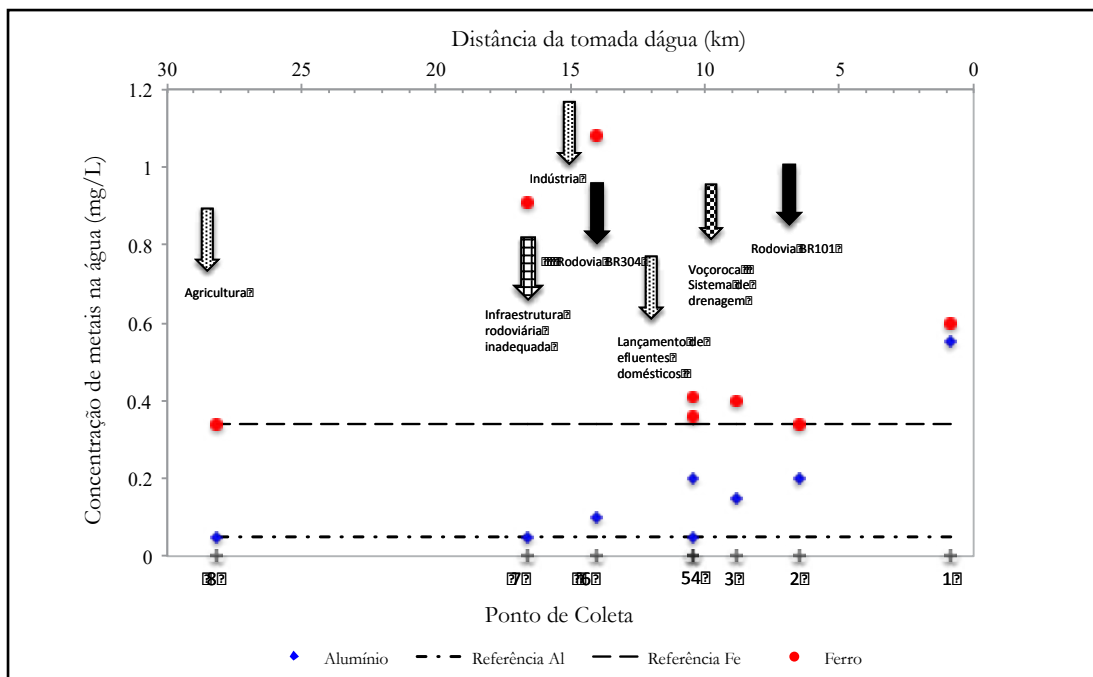


Figura 2 - Concentração de metais na água. O eixo horizontal superior indica a distância até o ponto de captação. O eixo das abcissas indica a localização dos pontos de coleta de amostras. As setas indicam a localização de fontes pontuais consideradas relevantes

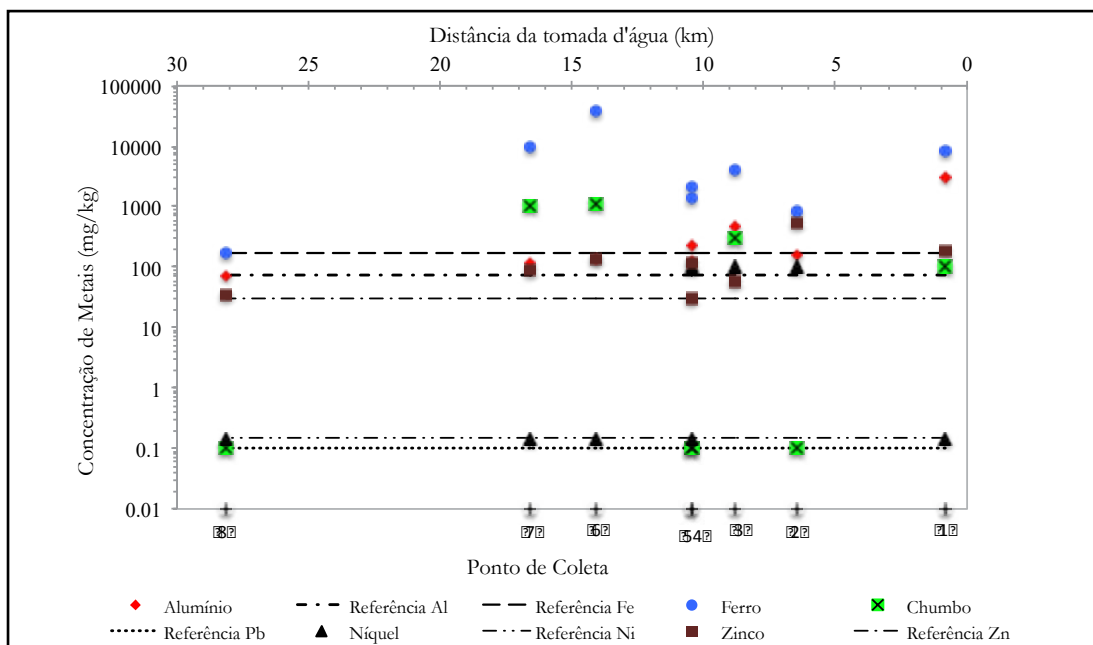


Figura 3 - Concentração de metais no sedimento. O eixo horizontal superior indica a distância até o ponto de captação. O eixo das abcissas indica a localização dos pontos de coleta de amostras

O estado de contaminação severa do ecossistema do rio Pitimbu nas seções mencionadas neste estudo aponta para a necessidade de aperfeiçoamento do modelo de gerenciamento do uso e ocupação do solo na BHRP visando a proteção do sistema fluvial. Além disso, considerando o seu papel estratégico no abastecimento d'água na cidade de Natal, o cenário atual aponta para a necessidade de estudos que permitam o monitoramento contínuo da qualidade da água do rio Pitimbu.

CONCLUSÕES

O sedimento do leito pode fornecer informações sobre o estado de contaminação do meio aquático pela presença de metais pesados causada pela atividade humana. Neste estudo, foram analisadas as concentrações de metais pesados em amostras de água e sedimento do leito coletadas em oito seções distribuídas ao longo da calha fluvial do rio Pitimbu. Os resultados obtidos revelam altos níveis de contaminação do sedimento por Chumbo e Ferro devido a fontes pontuais. Além disso, observou-se um aumento da concentração do Alumínio e Ferro na água a medida que atravessa o meio urbano. As concentrações observadas para o Alumínio e Ferro na água alcançaram 0,55 mg/L e 0,6 mg/L, respectivamente, o que contraria as diretrizes estabelecidas na Resolução CONAMA 357/2005 para corpos hídricos destinados prioritariamente ao abastecimento humano.

Neste estudo, a análise da severidade da poluição baseou-se nos índices de geo-acumulação (Igeo). Com base nos resultados obtidos, podem ser formuladas as seguintes conclusões:

As máximas concentrações de Chumbo e Ferro no sedimento foram causadas por fontes pontuais, na ponte da BR 304 e em Passagem de Areia. Nesta rodovia, a poluição severa é causada por substâncias do tráfego de veículos, num histórico de acumulação de contaminantes que ocorre desde a sua implantação na década de 1960. Em Passagem de Areia, a inexistência de uma ponte no local evidencia o efeito da contaminação.

Os dados obtidos demonstram um enriquecimento dos metais na água a medida que o rio escoava para jusante, com valores máximos observados na seção 1, um barramento situado a montante da tomada d'água.

Neste estudo, os resultados obtidos apontam para a necessidade de aperfeiçoamento do modelo de gerenciamento do uso do solo na BHRP, dada a sua importância estratégica no abastecimento d'água da cidade de Natal.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi desenvolvido com o apoio do CNPq/MCT/Governo Federal do Brasil, pelo que os autores agradecem.

Referências

MMA-BRASIL. Resolução CONAMA 357/2005. Publicação DOU no. 053, de 18/03/2005, p. 58-63. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>

EPA Method 3050B: Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils. Disponível em: <https://www.epa.gov/homeland-security-research/epa-method-3050b-acid-digestion-sediments-sludges-and-soils> Acesso em 10/09/2016.

FÖRSTNER, U.; WITTMANN, G. T. W. *Metal pollution in aquatic environment*. New York: Springer. 1979.

FÖRSTNER, U.; AHLF, W.; CALMANO, W.; KERSTEN, M. Sediment criteria development – contributions from environmental geochemistry to water quality management. In: *Sediments and environmental geochemistry: selected aspects and cases histories*. Berlin, p. 311-338, 199, 1990.

FOSTER I. D. L.; CHARLESWORTH S. M. Heavy metals in the hydrological cycle: trends and explanation. *Hydrological Processes*, v. 10, p. 227–261. 1996.

HEINY J. S.; TATE C. M. Concentration, distribution, and comparison of selected trace elements in bed sediment and fish tissue in the South Platter River Basin, USA, 1992-1993. *Archiv Environ Contam Toxicol*, v. 32, p. 246-259. 1997.

HOROWITZ A. J.; KENT A.E.; SMITH J.J. Monitoring urban impacts on suspended sediment, trace element and nutrient fluxes within the city of Atlanta, Georgia, USA: program design, methodological considerations and initial results. *Hydrological Processes*, v. 22, p. 1473–1496. 2008.

IBGE-BRASIL – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=24&search=rio-grande-do-norte>

KOBAYASHI R. T.; MOREIRA, L. F. F.; ANDRADE, H. T. de A. Pitimbu river lowland portion water and sediment monitoring data, Natal Brazil. In: *Proceedings of the International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs)*. Ottawa, Canadá, 2010. CD-ROM.

KUUSISTO-HJORT, P.; HJORT, J. Land use impacts on trace metal concentrations of suburban stream sediments in the Helsinki region, Finland. *Science of the Total Environment*. v. 456, p. 222-230. 2013.

MULLER, G. Heavy metals in the sediment of the Rhine – Changes seity. 1971. *Umsch Wiss Tech*. v. 79, p. 778-783. 1979.

OLIVEIRA, A. S. Uso e ocupação do solo e a concentração de metais pesados no sediment e na água: bacia do rio Pitimbu. Dissertação de Mestrado. 2012.

OWENS, P. N. Sediment behavior, functions and management in river basins. In: *Sustainable management of sediment resources: sediment management at the river basin scale*. Elsevier, Amsterdam, p. 1–29. 2008.

OWENS, P. N. Sediment behaviour, functions and management in river basins. *Sustainable Management of Sediment Resources*, v. 4, p. 1-29, 2008.

OWENS, P. N.; BATALLA, R. J.; COLLINS, A. J.; GOMEZ, B.; HICKS, D. M.; HOROWITZ, A. J.; KONDOLF, G. M.; MARDEN, M.; OAGE, M. J.; PEACOCK, D. H.; PETTICREW, E. L.; SALOMONS, W.; TRUSTRUM, N. A. Fine-grained sediment in river systems: environmental significance and management issues. In: *Sediment Management at the River Basin Scale*. cap. 3, 2005.

PEKEY, H. Heavy metal pollution assessment in sediments of the Izmit Bay, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 123, p. 219–231, 2006.

RIVER TAYLOR, K. G.; OWENS, P. N. Sediments in urban river basins: a review of sediment-contaminant dynamics in an environmental system conditioned by human activities. *J. Soils Sediments*, v. 9, p. 281-303, 2009.

SUTHERLAND, R. A. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environmental Geology*, v. 39, p. 611–627, 2000.

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

TAYLOR, K. G.; OWENS, P. N. Sediments in urban river basins: a review of sediment-contaminant dynamics in an environmental system conditioned by human activities. *J. Soils Sediments*, v. 9, p. 281-303, 2009.

TIEFENTHALER, L. L.; STEIN, E. D.; SCHIFF, K. C. Watershed and land use-based sources of trace metals in urban stormwater. *Environmental Toxicology & Chemistry*, v. 27, p. 277-287, 2008.

TONG, S.; SCHIRNDING, Y. E.; PRAPAMONTPL, T. Environmental lead exposure: a public health problem of global dimensions. *Bulletin of the World Health Organization*, v. 78, n. 9, 2000.

VAN HESSEL, J. H.; NEY, J. J.; GARLING D. L. Heavy metals in a stream ecosystem at sites near highways. *Trans Am Fish Soc*, v. 109, p. 636-643, 1980.

VIERS, J.; DUPRE, B.; GAILLARDET, J. Chemical composition of suspended sediments in World Rivers: new insights from a new database. *Sci Total Environ*, v. 407, p. 853-868, 2009.

Lúcio F. F. Moreira
RN, Brasil,

email: lucio@ct.ufrn.br

Contribuição do autor:

Redação do manuscrito.

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal,

Andréa S. de Oliveira

Contribuição do autor:

realização de trabalho de campo e laboratorial.

Universidade Federal do Semi-árido, Mossoró, RN, Brasil.

Renata C. A. Lima
Brasil.

Contribuição do autor:

realização de trabalho de campo e laboratorial.

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN,

Kim H.N. de Oliveira
Brasil.

Contribuição do autor:

análise dos resultados.

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN,