

MONITORAMENTO AMBIENTAL DE METAIS PESADOS EM MACRÓFITA AQUÁTICA PELA ANÁLISE DE ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA – AAS NA BACIA DO RIO CASCAVEL, GUARAPUAVA, PR

ENVIRONMENTAL MONITORING OF HEAVY METALS IN AQUATIC MACROPHYTES BY ANALYZING ATOMIC ABSORPTION SPECTROMETRY – AAS IN THE CASCAVEL RIVER BASIN, GUARAPUAVA, PR

Glauco Nonose Negrão¹

Breno Henrique Marcondes de Oliveira²

Mariane Butik³

RESUMO

Elevadas concentrações de metais pesados em bacias hidrográficas urbanas podem oferecer efeitos nocivos à saúde humana e têm contribuído para a contaminação ambiental. O presente trabalho tem por objetivo avaliar a concentração total de Zn (Zinco), Mg (Magnésio), Chumbo (Pb), Cr (Cromo), Manganês (Mn) e Ni (Níquel) analisada conforme FAAS - “Flame Atomic Absorption Spectrometry”, em amostras da macrófita aquática *Egeria densa* presentes no trecho urbano da bacia hidrográfica do rio Cascavel, Guarapuava, PR; e objetivos específicos identificar as potenciais fontes de contaminação por metais pesados e obter parâmetros físicos da água. Os elementos zinco, magnésio, manganês e chumbo apresentaram maior potencial de emissões a montante, fato este associado à proximidade da zona industrial de Guarapuava. É provável que o aumento dos valores da condutividade elétrica nos pontos a montante esteja relacionado com o despejo de efluentes domésticos. O decréscimo de condutividade e sólidos totais dissolvidos nos pontos amostrais ocorre à jusante, correspondendo à menor topografia da área de estudo e término do trecho urbano da bacia do Rio Cascavel. Apesar das concentrações de metais pesados serem consideradas críticas, a planta mostrou eficiência na bioacumulação desses elementos químicos, sendo um instrumento eficaz de pesquisa e avaliação ambiental, podendo as macrófitas aquáticas serem base para estudos de biomonitoramento de ambientes urbanos impactados por metais pesados.

PALAVRAS-CHAVE: BIOGEOGRAFIA APLICADA, ECOLOGIA, ANÁLISE AMBIENTAL, QUÍMICA ANALÍTICA.

ABSTRACT

High concentrations of heavy metals in urban watersheds can have harmful effects on human health and have contributed to environmental contamination. This work aims to evaluate the total concentration of Zn (Zinc), Mg (Magnesium), Lead (Pb), Cr (Chrome), Manganese (Mn) and Ni (Nickel)

¹Prof. Dr. Departamento de Geografia, Universidade Estadual do Centro-Oeste. gnegrao@unicentro.br ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7733-4530>

²Bacharelado em Geografia, Universidade Estadual do Centro-Oeste. brenohenrique@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2301-6438>

³Doutoranda em Química Universidade Estadual do Centro-Oeste. marianebutik@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3367-408X>

analyzed according to FAAS - "Flame Atomic Absorption Spectrometry" , in samples of the aquatic macrophyte *Egeria dense* present in the urban stretch of the hydrographic basin of the river Cascavel, Guarapuava, PR; and specific objectives to identify potential sources of contamination by heavy metals and obtain physical parameters of the water. The elements zinc, magnesium, manganese and lead showed greater potential for upstream emissions, a fact associated with the proximity of the industrial zone of Guarapuava. It is likely that the increase in electrical conductivity values in the upstream points is related to the discharge of domestic effluents. The decrease in conductivity and total dissolved solids in the sampling points occurs downstream, corresponding to the lower topography of the study area and the end of the urban stretch of the Cascavel River basin. Despite the concentrations of heavy metals being considered critical, the plant showed efficiency in the bioaccumulation of these chemical elements, being an effective instrument for research and environmental assessment, and aquatic macrophytes can be the basis for biomonitoring studies of urban environments impacted by heavy metals.

KEYWORDS: BIOGEOGRAPHY, ECOLOGY, ENVIRONMENTAL ANALYSIS, ANALYTICAL CHEMISTRY.

INTRODUÇÃO

Dentre os diversos aspectos de contaminação ambiental resultante de atividades industriais, agrícolas e urbanas; a poluição por metais tóxicos é importante devido a sua elevada resistência à degradação, toxicidade em baixas concentrações e potencial de bioacumulação no sistema aquático (Ahmad *et al*, 2014). A liberação de metais por meio de atividades humanas para o ambiente tem aumentado ao longo dos anos (Olowoyo *et al*, 2012), onde suas concentrações são gradualmente aumentadas e conseqüentemente absorvidas pelos organismos e/ou no sedimento (Arai *et al*, 2007).

Metais pesados são contaminantes inorgânicos, poluentes e podem alterar as características físicas, químicas ou biológicas de águas naturais, ar, solo, plantas e alimentos (Karnitz Júnior, 2007), podendo ser absorvidos em sedimentos fluviais ou acumulados em organismos bentônicos, às vezes em níveis tóxicos (Arias *et al*, 2007), e contaminar a cadeia alimentar por meio da lixiviação para águas subterrâneas ou pela absorção vegetal e bioacumulação (Batista, Freire, 2010), sendo associados à neurotoxicidade, nefrotoxicidade e hepatotoxicidade em seres humanos (Divan Junior, 2009).

De modo geral diversas plantas possuem a habilidade de adaptação e sobrevivências em ambientes contaminados (Pio *et al*, 2013), podendo absorver e, ou acumular metais pesados fitotóxicos presentes em solos, águas ou atmosfera contaminados, manifestando

sintomas variados, geralmente, específicos de cada tipo de contaminação. Plantas aquáticas têm demonstrado ser um dos mais aptos bioindicadores no ecossistema aquático, podendo acumular metais em todos os tecidos e transferi-los para a cadeia alimentar, sendo esta acumulação um dos temas de interesse ambiental atualmente, seja pela fitotoxicidade de muitos destes metais ou pelos potenciais efeitos nocivos na saúde animal e humana (Maiga *et al*, 2005). Além disso, as macrófitas aquáticas podem ser empregadas para avaliar a saúde do corpo de água, como remediadores dos ecossistemas ou mesmo em sistemas construídos (*wetlands*), podendo ainda ser utilizadas para tratar efluentes domésticos e industriais (Sipaúba-Tavares, 2012).

Dentre as várias espécies de plantas que proliferam no trecho urbano da bacia do rio Cascavel, município de Guarapuava, PR destaca-se *Egeria densa*, também conhecida como “elódea brasileira”, macrófita de água doce submersa e enraizada, de ambiente limnético e perene (Oliveira *et al*, 2005), planta nativa da costa sudeste do Brasil (Alfasane *et al*, 2010), que multiplica-se, principalmente, por fragmentação do caule, sendo a reprodução por sementes muito rara (Rodella *et al*, 2006), possuindo uma taxa de crescimento relativamente elevada em condições ideais.

Neste trabalho consideramos a hipótese de que a entrada de metais pesados decorrentes da poluição urbana no trecho urbano na bacia hidrográfica do Rio Cascavel, município de Guarapuava, PR; possa vir a comprometer os diferentes usos ambientais dessa bacia hidrográfica no médio e longo prazo, pois a referida bacia hidrográfica drena quase todo o escoamento desta cidade (Peres *et al*, 2008). Deste modo, considera-se que a análise de ocorrência de metais pesados em *Egeria densa* ao longo da bacia urbana do Rio Cascavel, que apresenta diferentes formas e intensidades de degradação e assoreamento, com fontes poluidoras residências localizadas nas proximidades, atividades agropecuárias, indústrias, despejos irregulares de resíduos e lixo urbano, poderá ser uma medida eficaz de monitoramento ambiental.

Este artigo tem por objetivo geral avaliar a variabilidade espacial e concentração total de Zn (*Zinco*), Mg (*Magnésio*), Chumbo (*Pb*), Cr (*Cromo*), Manganês (*Mn*) e Ni (*Níquel*) na planta aquática *Egeria densa*, no trecho urbano da Bacia Hidrográfica do Rio Cascavel, tendo como objetivos específicos identificar as potenciais fontes de contaminação por metais pesados na área de estudo e obter parâmetros físicos da água. A concentração total de metais pesados na matéria orgânica foi analisada conforme FAAS - “*Flame Atomic Absorption Spectrometry*”, uma das técnicas mais utilizadas na determinação de elementos em baixas concentrações, que estão presentes numa variedade de amostras, sejam estas líquidas, sólidas, em suspensão e até mesmo gasosas, podendo estar associada a sistemas de análise em fluxo e permitir estudos de especiação (Amorim *et al*, 2008).

A coleta nos trechos determinados, identificação, catalogação, preparação das amostras e resultado preliminar levou em consideração as estações do ano e processos laboratoriais específicos no Laboratório de Hidrologia – LABHIDRO, do Departamento de Geografia e Laboratório de Análise de Traços e Instrumentação – Departamento de Química, ambos locados na Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO, campus Cedeteg, Guarapuava, PR.

Sendo assim considera-se a possibilidade de estabelecimento de um programa de monitoramento ambiental de metais pesados, pela análise da ocorrência desses metais em macrófitas aquáticas no meio urbano, visando a proteção da saúde humana, determinação de tendências espaciais e temporais de processos de contaminação e de seus efeitos nos ecossistemas, além da obtenção de dados para o manejo ambiental adequado, contribuindo com informações a órgãos governamentais e instituições interessadas para implementação de estratégias de controle da contaminação ambiental.

METODOLOGIA E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Este trabalho possui como recorte espacial o trecho urbano da Bacia do Rio Cascavel, localizado no centro Oeste do Paraná, no Município de Guarapuava – PR. O Rio Cascavel possui uma área de drenagem de 81,03 km², com uma hierarquização fluvial de 4ª ordem, e

conta com mais de 40% de sua Bacia ocupada em área urbana de Guarapuava (67,86 km²). O município localiza-se na região Centro-Sul do estado do Paraná, no Terceiro Planalto Paranaense ou Planalto de Guarapuava (Maack, 2002) e conta com uma área territorial de 3.117,598 km². A população total do município é de 180.364 habitantes (IPARDES, 2018), dos quais 152.993 (91,43%) residem na área urbana. O município, segundo (Thomaz, Vestena, 2003), é área de atuação da zona extratropical, o que favorece temperaturas com caráter mesotérmico, predominando médias anuais entre 16º e 20ºC, com inverno frio e verão amenizado pelas altitudes. Pela classificação de Köppen, o tipo climático é o “Cfb” correspondente ao clima temperado, chuvoso e verões moderadamente quentes (Ayoade, 1983).

Inicialmente foi realizado um estudo do trecho urbano da bacia do Rio Cascavel para seleção dos pontos de coleta, avaliação de formas de acesso ao local e logística. Foram escolhidos seis trechos de coleta de macrófitas aquáticas em meio urbano, estrategicamente localizados considerando as diferentes características geomorfológicas, assim como o uso e ocupação do solo nos bairros Vila Carli, Alto Cascavel e Olarias (Figura 1). Os pontos de coleta foram identificados pelas suas coordenadas geográficas.

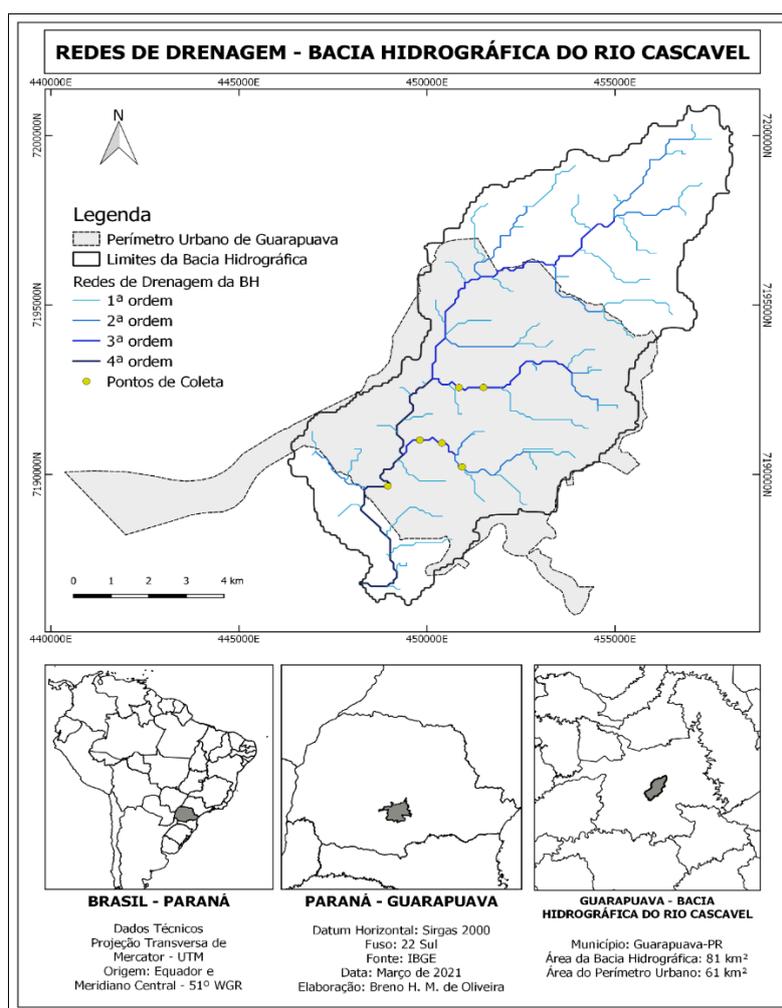


Figura 1. Pontos de coleta de *Egeria densa* no trecho urbano da Bacia Hidrográfica do Rio Cascavel, Guarapuava-PR.

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

A identificação das fontes potenciais de contaminação consistiu no levantamento de fontes potenciais de metais pesados dentro do trecho urbano de drenagem da bacia hidrográfica do rio Cascavel. Foram coletadas 48 amostras (sendo 12 amostras por campanha) da planta aquática *Egeria densa* em seis pontos ao longo do trecho urbano do Rio Cascavel, entre novembro de 2017, janeiro, abril e julho de 2018; sendo realizada com a utilização de luvas e material inerte para coleta do material. Amostras foram retiradas onde nível da água era suficientemente alto para manter a planta submersa e presas a um substrato estável, em bom estado fisiológico. Os parâmetros físicos químicos de qualidade da água mensurados em campo foram temperatura da água (C), condutividade específica ($\mu\text{s.cm}^{-1}$), pH e sólidos

totais dissolvidos (mg/L), com utilização de sonda Multiparâmetro Hanna – Modelo HI 769828.

Procedeu-se a lavagem das amostras em laboratório, diretamente na água corrente, de forma a remover sedimentos e invertebrados, sendo posteriormente armazenado em sacos plásticos, catalogados e identificados no Laboratório de Hidrologia, Departamento de Geografia - UNICENTRO. Antes de serem submetidas às determinações analíticas as amostras foram lavadas, secas em estufa com circulação de ar à temperatura de 30°C por 48 horas e moídas manualmente com a utilização de gral e pistilo. A pesagem da biomassa foi realizada em uma balança analítica (Bioprecisa, FA-2104N).

Para analisar a presença de metais pesados, os procedimentos foram realizados utilizando a técnica FAAS - “*Flame Atomic Absorption Spectrometry*”, no Laboratório de Análise de Traços e Instrumentação, vinculada ao Departamento de Química – UNICENTRO, em duplicata. Amostras de 0,1g de *Egeria densa* foram preparadas para digestão úmida com ácido nítrico em bloco digestor para posterior quantificação dos metais por espectrometria de absorção atômica com atomização em chama (FAAS) em equipamento da Varian modelo SpectraAA220, equipado com lâmpada de cátodo oco, em chama de ar/acetileno, pelo método direto e corretor de fundo em análise de chama com lâmpadas de cátodo oco, procedimento realizado de acordo com (SANTOS *et al*, 2006). As concentrações destes metais expressas em função do peso seco (mg/kg). A escolha da análise dos metais pesados Zn (Zinco), Mg (Magnésio), Chumbo (Pb), Cr (Cromo), Mn (Manganês) e Ni (Níquel) levou em consideração estudos de Dean (1972), Braile e Cavalcanti (1993) e Santos (2012) sendo estes metais comumente presentes em efluentes industriais.

Os parâmetros utilizados para mensuração de metais pesados em matéria orgânica foram conforme Kabata-Pendias, Pendias (2001), Brasil (1998), FAO (1992) e Malavolta (1994). A definição da qualidade da água faz referência ao tipo de uso ao qual se destina, e estipula os padrões de qualidade na resolução 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2005) e suas modificações nas resoluções 410 de 2009 e 430 de 2011. Os

parâmetros são definidos em limites aceitáveis das substâncias presentes de acordo com o uso da água.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

PARÂMETROS FÍSICOS DA ÁGUA

A bacia hidrográfica é compreendida enquanto unidade geográfica fundamental para o gerenciamento dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos sendo também utilizada para ações inerentes ao planejamento ambiental (Gorayeb, Pereira, 2014). A utilização da bacia hidrográfica como uma unidade de análise de sistemas ambientais, apresenta concepção mais adequada para se trabalhar com a proposta sistêmica, partindo da perspectiva do tripé formado pela dimensão ambiental, social e econômico (Albuquerque, 2015), possibilitando tratar dos componentes e da dinâmica das inter-relações necessárias ao planejamento do uso do solo e conservação ambiental.

Por se tratar de um sistema aberto com entrada de energia (ciclo hidrológico) e exportação de matéria (água, solutos, sedimentos, etc.), a importância de se adotar as bacias hidrográficas para o planejamento urbano vem sendo discutida em áreas como hidrologia, geologia e outras áreas ambientais, que passaram a discuti-las durante o século XIX. Este avanço é de grande importância, pois serve como embasamento para justificar a delimitação dessas áreas como “ideais” para os devidos fins de planejamento urbano (Mirandal *et al*, 2017).

Na tabela 1 encontram-se os valores obtidos dos parâmetros físicos da água dos pontos escolhidos para amostragem, por média aritmética e desvio padrão. O pH e sólidos totais dissolvidos encontram-se adequados quanto aos valores preconizados pela CONAMA, 2011; para Classe especial 1, que estabelece os valores de pH entre 6 a 9 e até 500 mg/L para sólidos totais dissolvidos. No entanto, ressaltamos que ocorreu uma diminuição mesmo que baixa no pH no qual, sem oxigênio, pode influenciar na solubilização de metais pesados em sedimentos e causar a indesejada introdução dos mesmos na cadeia alimentar (Gonçalves, 2016).

Quanto à condutividade, os pontos amostrais apresentaram média e desvio padrão de $105.1 \pm 15.2 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, sendo que águas naturais apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar a $1.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ (FUNASA, 2014). É provável que o aumento dos valores da condutividade elétrica nos pontos 1 e 2 estejam relacionados com o despejo de efluentes domésticos a montante dos pontos de análise. Philipi Júnior *et al.* (2004) afirmam que à medida em que sólidos dissolvidos são adicionados a um corpo hídrico, aumenta-se a condutividade elétrica da água, conforme observado nos pontos de análise.

PONTO	Temperatura C	condutividade $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	PH	sólidos totais dissolvidos (mg\L)
25°22'53.43"S 51°28'56.54"O	19.7	132.3	6.4	70.3
25°22'57.75"S 51°29'14.40"O	20.5	112.6	6.3	62.6
25°24'10.96"S 51°29'17.48"O	19.3	107.6	6.1	57.6
25°23'46.47"S 51°29'34.57"O	18.4	96.0	6.0	47.3
25°23'44.06"S 51°29'56.36"O	18.1	99.6	6.0	48.6
25°24'26.47"S 51°30'29.98"O	18.3	83.0	6.3	40.3
<i>Média aritmética e desvio padrão</i>	19.5+0.8	105.1+15.2	6.1+ 0.2	54,4+10.1

Tabela 1. Valores médios de temperatura (C), condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), pH e sólidos totais dissolvidos (mg\L), média aritmética e desvio padrão entre os pontos de amostragem no trecho urbano do Rio Cascavel, município de Guarapuava, PR. Coletas realizadas entre novembro de 2018 e julho de 2019.

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

O decréscimo de condutividade e sólidos totais dissolvidos nos pontos amostrais à jusante, correspondendo à menor topografia da área de estudo, com término do trecho urbano da bacia do Rio Cascavel em direção à ETE-Estação de Tratamento de Esgoto, pode indicar um processo de diluição natural e acumulação de elementos ao longo do trecho urbano. No entanto, se torna necessário uma maior investigação e mais amostragens para analisar este processo.

QUANTIFICAÇÃO DE METAIS PESADOS EM *EGERIA DENSA* POR PONTO AMOSTRAL

De acordo com Tuna *et al*, 2006, metais pesados são contaminantes ambientais estáveis e persistentes, uma vez que não podem ser degradados e, a depender das características físicas e químicas do ambiente aquático, reagem, se dispersam ou são mobilizados e depositados nos sedimentos, constituindo um perigo potencial pelas características de biodisponibilidade que podem adquirir. A escolha dos metais avaliados teve como a identificação de potenciais fontes poluidoras na área proposta de estudo.

O uso e manejo dos solos são indicadores para gestão dos recursos hídricos e a saúde de uma bacia hidrográfica, uma vez que a qualidade dos corpos d'água é resultante das ações que ocorrem ao longo das suas vertentes. Em relação à Tabela 2, a ocorrência de zinco e níquel mostrou-se em concentrações críticas para as plantas. O magnésio apresentou valores acima dos normais, no entanto, Torres, 2005 afirma que o magnésio não gera problemas significativos para a saúde humana. Além disso, esse metal é comumente encontrado em plantas.

Ponto	Zn (mg/kg) média Teor normal 1-100 Conc. Crítica 100-400	Ni (mg/kg) média Teor normal 0,02-5 Conc. Crítica 10-100	Mg (mg/kg) média Teor normal 30-100*
25°22'53.43"S 51°28'56.54"O	149 – 95 – 290 – 207	160 - 36.5 - 61 – 27	554-382-242-285
25°22'57.75"S 51°29'14.40"O	183 – 318 – 482 – 283	26 - 43.5 – 38 – 38	488-352-376-297
25°24'10.96"S 51°29'17.48"O	159 -68 -161– 166	11.5 – 59 – 20 – 49	390-379-271-289
25°23'46.47"S 51°29'34.57"O	191 -146 – 172–219	17.5 - 49.5 - 47 – 40	484-370-482-289
25°23'44.06"S 51°29'56.36"O	178 – 96 – 307–227	12.5 – 38 – 10 – 54	461-351-317-274
25°24'26.47"S 51°30'29.98"O	153-89 – 227 – 95	68.5 – 71 – 55 – 36	420-415-327-229

Tabela 2. Valores médios encontrados de Ni, Zn e Mg em *Egeria densa*, no município de Guarapuava, PR e respectivos teores normais e concentração crítica (Kabata-Pendias & Pendias, 1992; *Knezek & Ellis, 1980).

N\D sem parâmetro de referência. Coletas realizadas entre novembro de 2018 e julho de 2019.

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Em relação à Tabela 3, a ocorrência de cromo mostrou-se abaixo da concentração crítica para as plantas. No entanto, os resíduos possuem alto poder de contaminação e com

facilidade o cromo atinge o lençol freático ou mesmo reservatórios ou rios, que são as fontes de abastecimento de água das cidades (CETESB, 2005).

Ponto	Cr (mg/kg) média Teor normal n\ d Conc. Crítica 75- 100	Mn (mg/kg)média Teor normal 0.02-5 Conc. Crítica 10-100	Pb (mg/kg)média Teor normal 0.20-20 Conc. Crítica 30-300
25°22'53.43"S 51°28'56.54"O	50 – 40 – 65 – 49	48 – 113 – 30 – 45	75.5 - 50.5 – 67 – 33
25°22'57.75"S 51°29'14.40"O	33 – 63 – 8 – 6	96 – 143 – 111 - 58	72.5 – 55 – 68 – 32
25°24'10.96"S 51°29'17.48"O	63.5 - 45.5 – 10 – 5	124 – 105 – 76 - 92	70 – 47 – 54 – 20
25°23'46.47"S 51°29'34.57"O	12 - 59.5 – 18 – 13	137 – 260 – 186 - 120	88.5 - 52.5 – 79 – 34
25°23'44.06"S 51°29'56.36"O	77 – 65 – 35 – 1	166 – 221 – 155 - 93	86.5 - 48.5 – 66 – 26
25°24'26.47"S 51°30'29.98"O	62 - 44.5 – 0 – 0	296 – 232 – 192 - 230	75 - 40 – 59 – 21

Tabela 3. Valores médios encontrados de Cr, Mn e Pb em *Egeria densa*, no município de Guarapuava, PR e respectivos teores normais e concentração crítica (Kabata-Pendias & Pendias, 1992). N\ D sem parâmetro de referência. Coletas realizadas entre novembro de 2018 e julho de 2019.

Fonte: Organizado pelos autores (2021).

Somente os pontos 4, 5 e 6 à jusante encontram-se com quantidade crítica de manganês. O chumbo encontra-se dentro do limiar crítico de ocorrência em todos os pontos de análise. Além dos processos naturais de intemperismo, as principais fontes de chumbo são os escapamentos de automóveis, chaminés de indústrias, fundições, fertilizantes, pesticidas, pigmentos e a deposição atmosférica presente na gasolina que o possui como aditivo (Sharma, Bubey, 2005).

FONTES POLUIDORAS NO TRECHO URBANO DO RIO CASCAVEL, GUARAPUAVA, PR

A intensificação de atividades antrópicas no trecho urbano do rio Cascavel, Guarapuava, PR ocorreu sem planejamento ou controle, sendo associada ao carregamento de nutrientes pelo aporte de despejos domésticos, industriais e fertilizantes químicos empregados ao longo de toda a área de estudo, levando a uma condição de desequilíbrio no sistema. Além disso, assim como a poluição pontual ocasionada por esgotos clandestinos, a poluição difusa advinda das chuvas e dos escoamentos superficiais contribui como uma

importante fonte de deterioração da qualidade da água de drenagem urbana (Song *et al*, 2017).

As fontes antropogênicas de metais pesados na área de estudo provavelmente sejam provenientes de resíduos sólidos industriais (galvanoplastia e metalurgia, fundições, soldagem, fusão e modelagem de ligas, incineração), sendo mais evidentes nos pontos mais ao sul, à jusante; e urbanos (águas residuais de postos de combustíveis e lava car, oficinas mecânicas, esgoto, aterro sanitário, lixos urbanos e industriais, incineração), nos pontos escolhidos à montante; além de pontos com ocorrência de pesticidas, fertilizantes e combustão de combustíveis fósseis, encontradas ao longo do trecho analisado.

Na figura 2 evidencia-se que a dispersão desses elementos no meio urbano pode indicar sua presença na cadeia alimentar, pois tais metais podem atingir e contaminar as plantas por meio da água e do solo (Mahmood *et al*, 2013). A espacialização geográfica da concentração dos metais pesados, de acordo com os valores médios obtidos durante as 4 amostragens e análises, utilizando o complemento de interpolação do software QGIS, tem como intuito apresentar a distribuição dessas concentrações em toda extensão da bacia, inclusive não áreas onde não foram amostradas.

De acordo com a figura, os elementos magnésio e chumbo apresentaram as maiores concentrações nos pontos 1 (montante) e 6 (jusante), sendo que nos pontos centrais os valores de contaminação são mais baixos. Para manganês e zinco, as concentrações mais altas estão nos pontos 1 e 2 (montante), sendo que nos demais pontos esses valores reduzem. Já os elementos cromo e níquel apresentaram os valores mais altos de concentração no ponto 3, sendo que há uma variação entre os pontos 5 e 2, respectivamente, onde a concentração aparece acentuada.

Os pontos com maior concentração aparecem em vermelho mais escuro e conforme o valor diminui, o vermelho enfraquece, até chegar no branco onde os valores são os menores. Os pontos 1 (montante), 2 e 3 correspondem a trechos da região central, com maior fluxo de pessoas, veículos e maior número de residências e conseqüentemente, maior

geração de efluentes domésticos, sendo que os pontos 4 e 5 estão localizados em bairros mais afastados do centro, em áreas com ocupações irregulares. O ponto 6 encontra-se na área a jusante dos demais pontos, estando poucos metros da estação de tratamento de esgoto do município.

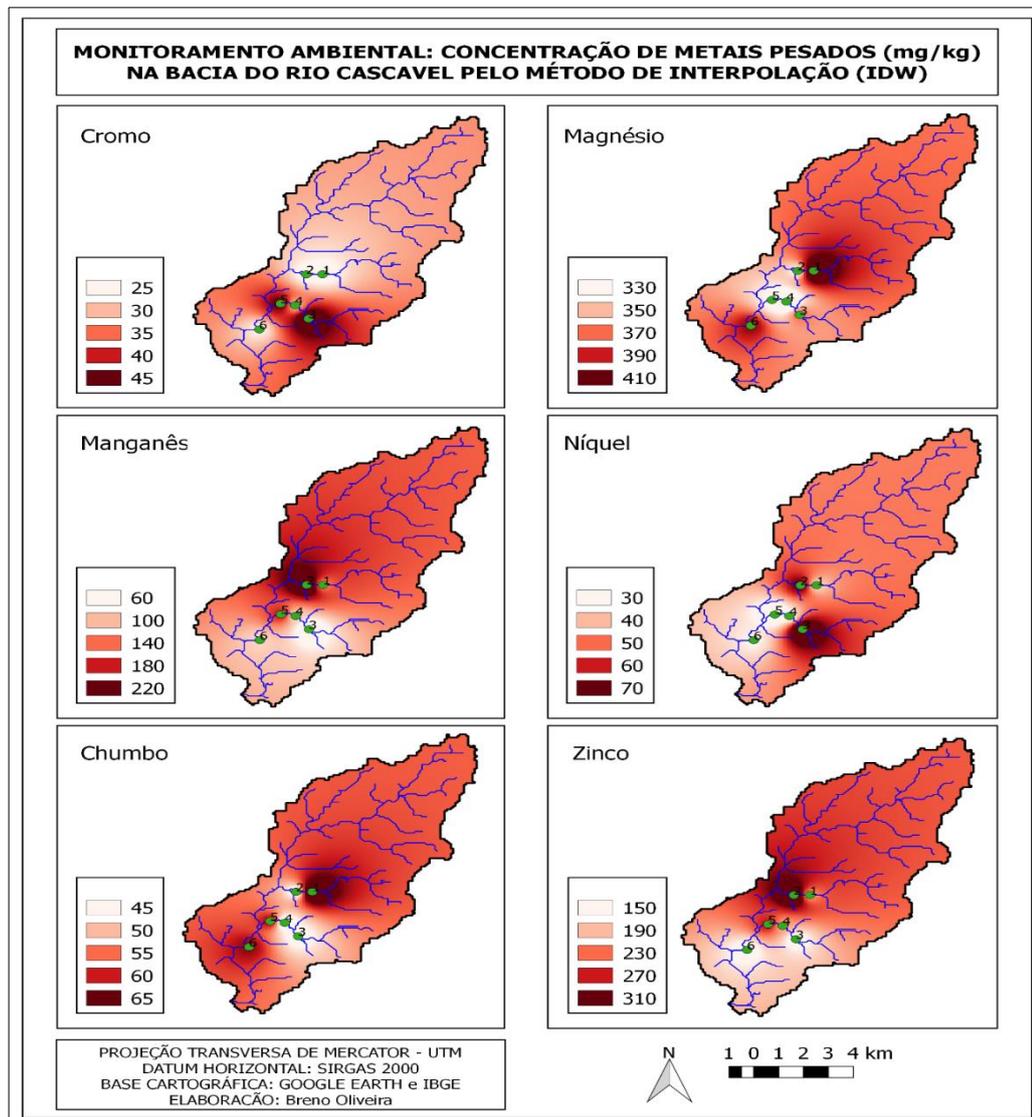


Figura 2. Concentração de metais pesados, gerado pela interpolação dos dados pelo método de Ponderação do Inverso das Distâncias (IDW).
Fonte: Organizado pelos autores.

Em linhas gerais as características geomorfológicas e uso e ocupação do solo ao longo da bacia hidrográfica do rio Cascavel tem produzido um ciclo de contaminação, gerado

pelos efluentes resultantes do esgoto doméstico-industrial e pluvial, transportado pelo escoamento superficial, sendo comumente encontrados zinco, cromo, magnésio, chumbo, níquel e manganês.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia proposta neste trabalho, de trabalhar apenas com dados de concentrações de metais, atende parcialmente ao objetivo definido, uma vez que ao avaliar o nível de contaminação por metais pesados em corpos hídricos e sua variabilidade de concentração espacial e temporal, deve-se levar em consideração também as condições físico-químicas do meio e os efeitos ambientais decorrentes da sazonalidade.

Apesar de não ter sido determinado mais pontos de coletas e análises distribuídos ao longo do trecho urbano da Bacia Hidrográfica do rio Cascavel, em Guarapuava, PR, decorrente da escassez da macrófita aquática *Egeria* densa na área de estudo; foi possível identificar os metais pesados zinco, manganês, chumbo, cromo, magnésio e níquel em sua estrutura fisiológica. Apesar das concentrações de metais pesados serem consideradas críticas para matéria orgânica conforme Kabata – Pendias e Pendias (1992), a planta mostrou eficiência na bioacumulação desses elementos químicos.

A metodologia evidenciou que o uso de *Egeria* densa pode servir para estudos de biomonitoramento de metais pesados em ecossistemas aquáticos urbanos contaminados. Ressaltamos que o rio Cascavel é o principal receptor de despejos clandestinos e industriais do município de Guarapuava, PR, sendo necessário propor e empreender um programa alternativo de monitoramento de sua bacia em caráter emergencial.

REFERÊNCIAS

AHMAD, K.; AZIZULLAH, A.; SHAMA, S.; KHATTAK, M. N. K. Determination of heavy metal contents in water, sediments, and fish tissues of *Shizothorax plagiostomus* in river Panjkora at Lower Dir, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 186, 2014. p. 7357-7366.

ALBUQUERQUE, E. L. S. **Avaliação das condições socioambientais em bacias hidrográficas costeiras: contribuição ao ordenamento territorial do setor leste da Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará**. Tese (doutorado) - Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2015. 258p.

ALFASANE, M.A. *et al.* Egeria densa Planchón: a new report for Hydrocharitaceae of Bangladesh. Bangladesh, **J. Plant Taxon.** 17(2), 2010. p. 209-213.

AMORIM, F. A. C. *et al.* Espectrometria de absorção atômica: o caminho para determinações multi-elementares. **Quím. Nova** vol. 31 n.7, 2008.

ARAI, T.; OHJI, M.; HIRATA, T. Trace metal deposition in teleost fish otolith as an environmental indicator. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 179, 2007. p. 255-263.

ARIAS, A. R. L.; *et al.* Utilização de Bioindicadores na avaliação de impacto no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos. **Ciência e Saúde coletiva**. Associação Brasileira de Pós-Graduação em Saúde Coletiva, 2007.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 1983.

BATISTA, F. G. A; FREIRE J. A. Avaliação de metais pesados no corpo aquático do Açude Velho: Campina Grande-Paraíba. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 4, 2010. p. 166-179

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J .E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. CETESB, 1993, *apud* HAYASHI, A. M. Remoção de cromo hexavalente através de processos de biossorção em algas marinhas. Tese de Doutorado – Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2001.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrão de lançamento de efluentes complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. CONAMA. Diário Oficial da União, n. 92, 16 maio 2011, p. 89. Brasília, 2011.

BRASIL. **Portaria nº 685, de 27 de agosto de 1998**. Princípios Gerais para o Estabelecimento de Níveis Máximos de Contaminantes Químicos em Alimentos. Disponível em: <https://www.univates.br/unianalises/media/imagens/Anexo_XI_61948_11.pdf> Acesso em 29 abr 2018.

CETESB. **Valores orientadores para solo e água subterrânea**. São Paulo: CETESB, 2005.

DEAN, J.G.; BOSQUI, F.L.; LANOUILLE, V.H. Removing heavy metals from wastewater. **Environmental Science & Technology**, v. 6, 1972. p. 518-522.

DIVAN JUNIOR, A. M., *et al.* Using wild plant species as indicators for the accumulation of emissions from a thermal power plant, Candiota, South Brazil. **Ecological Indicators**, 9, 2009. p. 1156–1162.

FAO,. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Maize in human nutrition**. Rome, 1992. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/t0395e/T0395E00.htm>>, Acesso em 28 abr 2018.

GORAYEB, A; PEREIRA, L. C. C. **Análise integrada das paisagens de Bacias Hidrográficas na Amazônia Oriental**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014. 108p

IPARDES. **Caderno Estatístico Município de Guarapuava**. Junho de 2018. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=85000>. Acesso em 03 de junho de 2018.

JAKOB, A. A. E.; YOUNG, A. F. O uso de métodos de interpolação especial de dados nas análises sociodemográficas. *In: Encontro Nacional de Estudos de População*, 15, 2006, Caxambu. **Anais Eletrônicos...** Caxambu, MG: ABEP, 2006.

KABATA-PENDIAS, A., & PENDIAS, H. **Trace Elements in Soils and Plants**. 3rd Edition, CRC New York: Press, 2001.

KARNITZ JÚNIOR, O. **Modificação química no bagaço de cana e celulose usando anidro de EDTA: uso destes materiais na adsorção de metais pesados em solução aquosa**. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto – SP, 2007.

MAACK, Reinhard. **Geografia física do Estado do Paraná**. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2002. 4.ed.

MAHMOOD, A., RASHID, S., MALIK, R. N. Determination of toxic heavy metals in indigenous medicinal plants used in Rawalpindi and Islamabad cities, Pakistan: **Journal of Ethnopharmacology**, , 148, 2013. p. 158–164.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados – mitos, mistificação e fatos**. Piracicaba: Produquímica, 1994.

MIRANDAL, G. Aparecida; CAMILA, M. G.; MARTINS, C. S.; SILVA, R. G. **A bacia hidrográfica como unidade de planejamento urbano**. Florianópolis, SC: XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2017.

OLIVEIRA, N. M. B. *et al.* Capacidade de regeneração de *Egeria densa* nos reservatórios de Paulo Afonso, BA. **Planta Daninha**, v. 23, n. 2, 2005. p. 7-13.

OLOWOYO, J.O., *et al.* Uptake and translocation of heavy metals by medicinal plants growing around a waste dump site in Pretoria, South Africa. **South African Journal of Botany**, 78, 2012. p. 116–121.

PERES, C. K. *et al.* Diagnóstico da qualidade da água do Rio Cascavel, município de Guarapuava, Estado do Paraná. **Ambiência Guarapuava**, PR, v.4 n.1 2008. p.25-35.

PIO, M. C. S. da; SOUZA, K. S. dos; SANTANA, G. P. Capacidade da *Lemna aequinoctialis* para acumular metais pesados de água contaminada. **Acta amazônica**, v. 43, n. 2, 2013. p. 203-210.

RODELLA, R. A. *et al.* Diferenciação entre *Egeria densa* e *Egeria najas* pelos caracteres anatômicos foliares. **Planta Daninha**, v. 24, n. 2, 2006. p. 211-220.

SANTOS, D.M., *et al.* Avaliação de Metais Pesados na Baía de Paranaguá, PR, Brasil, sob Influência das Atividades Antrópicas. **Journal Brazilian Society Ecotoxicology**, 1: 2006. p. 157- 160.

SANTOS, Gustavo Henrique Fidelis. **Utilização da espectroscopia PIXE na avaliação do mecanismo de biossorção dos íons Cu²⁺, Zn²⁺, Cd²⁺ pela macrófita *Egeria densa***. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Campus de Toledo. Centro de Engenharias e Ciências Exatas. Toledo, PR: [s. n.], 2012.

SIPAÚBA-TAVARES, L. H.; BRAGA, F. M. S. Constructed wetland in wastewater treatment. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 30, n. 3, 2012. p. 261-265.

SHARMA, P., DUBEY, R. S. Lead toxicity in plants. **Brazilian Journal Plant Physiol.** 17(1), 2005. p. 35-52.

SONG, C.; LIU, X.; SONG, Y.; LIU, R.; GAO, H.; HAN, L.; PENG, J. Key blackening and stinking pollutants in Dongsha River of Beijing: Spatial distribution and source identification. **Journal of Environmental Management**, v. 200, p. 335-346. <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman>> 2017. p. 5-88.

THOMAZ, E. L. VESTENA, L. R: **Aspectos Climáticos de Guarapuava-PR.** Guarapuava: UNICENTRO, 2003.

TORRES, V. F. N. **Engenharia ambiental subterrânea e aplicações.** Rio de Janeiro: CETEM\CYTED, 2005.

TUNA C., *et al.* Determination of nutritional value of some legume and grasses. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, 7, 2004. p. 1750-1753.