

CAPÍTULO 2

BIOMONITORAMENTO AMBIENTAL DE METAIS PESADOS EM *Egeria densa*, ÁGUA E SEDIMENTO POR ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA EM BACIA HIDROGRÁFICA URBANA

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.961112518032>

Data de aceite: 18/03/2025

Glauco Nonose Negrão

<http://lattes.cnpq.br/5701066109738562>

Breno Henrique Marcondes de Oliveira

<https://lattes.cnpq.br/9918119803215412>

Daniel Rodrigo Serbena

<http://lattes.cnpq.br/0415197533226484>

RESUMO: A intensidade da demanda atual por recursos hídricos torna necessário o seu processo de gestão. Nesse sentido, entende-se a emergência da elaboração de estudos e programas voltados ao biomonitoramento para sua proteção, ameaçados pelos impactos ambientais decorrentes da urbanização. Este trabalho tem como objetivo geral analisar a viabilidade técnica do biomonitoramento ambiental no trecho urbano da bacia hidrográfica do rio Cascavel, por meio da ocorrência, concentração e correlação de metais pesados Zinco (Zn), Magnésio (Mg), Manganês (Mn), Cromo (Cr), Níquel (Ni) e Chumbo (Pb) na macrófita aquática *Egeria Densa*, sedimento e água, utilizando a Espectrometria de Absorção Atômica – EAA. Além disso, verificar possíveis fontes poluidoras de metais pesados nos pontos

de coleta e no entorno e a obtenção de parâmetros físico-químicos específicos da água na área proposta de estudo. Foram definidos 6 pontos estratégicos para a coleta das amostras de macrófitas aquática, sedimento e água com diferentes características geomorfológicas e quanto ao uso do solo, sendo efetuadas 6 coletas entre os meses de dezembro de 2020 e maio de 2021. Os parâmetros para água e sedimentos encontram-se dentro dos níveis de normalidade, os valores encontrados nas amostras das plantas indicam teores de contaminação para Zn, Mn e Mg, além do Pb. As fontes antropogênicas de metais pesados na área de estudo são provenientes de resíduos sólidos industriais, sendo mais evidentes nos pontos mais ao norte, à jusante; e urbanos, nos pontos escolhidos a montante. A metodologia utilizada mostrou-se eficiente na quantificação dos níveis de toxicidade nos elementos de análise propostos.

PALAVRAS-CHAVE: análise ambiental; biogeografia aplicada; gestão de recursos hídricos.

ENVIRONMENTAL BIOMONITORING OF HEAVY METALS IN *Egeria densa*, WATER AND SEDIMENT BY FLAME ATOMIC ABSORPTION SPECTROMETRY IN URBAN WATERSHED

ABSTRACT: The intensity of the current demand for water resources makes its management process necessary. In this sense, the emergence of the development of studies and programs aimed at biomonitoring for their protection is understood, threatened by the environmental impacts resulting from urbanization. This work aims to analyze the technical feasibility of environmental biomonitoring in the urban area of the Cascavel river basin, through the occurrence, concentration and correlation of heavy metals Zinc (Zn), Magnesium (Mg), Manganese (Mn), Chromium (Cr), Nickel (Ni) and Lead (Pb) in the *Egeria Densa* aquatic macrophyte, sediment and water, using the Atomic Absorption Spectrometry - EAA. In addition, to verify possible polluting sources of heavy metals at the collection points and the surrounding area and to obtain specific physicochemical parameters of water in the proposed study area. Six strategic points were defined for the collection of aquatic macrophytes, sediment and water samples with different geomorphological characteristics and for land use. Six samples were collected between December 2020 and May 2021. The parameters for water and sediment are within normal levels, the values found in the plant samples indicate contamination levels for Zn, Mn and Mg, in addition to Pb. The anthropogenic sources of heavy metals in the study area come from industrial solid waste, being more evident at the northernmost points downstream; and urban areas at the points chosen upstream. The methodology used was efficient to quantify the toxicity levels in the proposed analysis elements.

KEYWORDS: environmental analysis; applied biogeography; water resources management.

BIOMONITOREO AMBIENTAL DE METALES PESADOS EN *Egeria densa*, AGUA Y SEDIMENTOS MEDIANTE ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA EN CUENCA HIDROGRAFICA URBANA

RESUMEN: La intensidad de la demanda actual de recursos hídricos hace necesario su proceso de gestión. En este sentido, se entiende el surgimiento del desarrollo de estudios y programas orientados al biomonitoreo para su protección, amenazados por los impactos ambientales derivados de la urbanización. El objetivo general de este trabajo es analizar la factibilidad **técnica** del biomonitoreo ambiental en el tramo urbano de la cuenca del río Cascavel, debido a la ocurrencia, concentración y correlación de los metales pesados Zinc (Zn), Magnesio (Mg), Manganeseo (Mn), Cromo (Cr), Níquel (Ni) y Plomo (Pb) en la macrófita acuática *Egeria Densa*, sedimento y agua, utilizando Espectrometría de Absorción Atómica – AAS. Además, verificar posibles fuentes contaminantes de metales pesados en los puntos de captación ambiental y obtener parámetros fisicoquímicos específicos del agua en el área de estudio propuesta. Se definieron seis puntos estratégicos para la toma de muestras de macrófitas acuáticas, sedimentos y aguas con diferentes características geomorfológicas y cuanto se utilizan de forma aislada, con 6 tomas realizadas entre diciembre de 2020 y mayo de 2021. Los parámetros de agua y sedimento se encuentran dentro de dos niveles de normalidad, los valores encontrados en las muestras de plantas indican teorías de contaminación por Zn, Mn y Mg, además de Pb. Las fuentes antropogénicas de metales pesados en el área de estudio provienen de los residuos **sólidos** industriales, siendo **más evidentes** más al norte, río abajo; y urbano, optamos por puntos verticales. La metodología utilizada demostró ser eficiente en la cuantificación de dos niveles de toxicidad en los elementos del análisis propuesto.

PALABRAS-CLAVE: análisis ambiental; biogeografía aplicada; gestión de los recursos hídricos.

INTRODUÇÃO

A intensidade e a variedade das demandas por recursos hídricos têm tornado cada vez mais evidente e necessário o seu processo de gestão (MACHADO; TORRES, 2011). O incremento do consumo da água e a contaminação por efluentes domésticos, industriais e insumos agrícolas estão diretamente relacionados ao crescimento populacional (VARGAS, et al 2018).

Nesse sentido, entende-se a emergência da elaboração de estudos e programas voltados ao biomonitoramento do uso e ocupação do solo voltados para a proteção dos recursos hídricos, ameaçados pela expansão dos centros urbanos. Embora outras atividades como a agricultura, a pecuária, a mineração e a geração de energia provoquem igualmente grandes impactos negativos sobre o meio ambiente a urbanização, por gerar de forma concentrada seus impactos ambientais e difundi-los além dos limites urbanos, merece uma análise especial (JATOBÁ, 2011).

O termo contaminação pode ser definido como a presença de concentrações acima do nível base para uma determinada área em um determinado organismo (RIBEIRO, 2013), água, solo ou sedimentos. Dentre os aspectos de contaminação ambiental resultantes da produção agrícola, atividades industriais e urbanas, a poluição por metais tóxicos apresenta elevada resistência a degradação, toxicidade em baixas concentrações e grande potencial de bioacumulação em sistemas aquáticos (AHMAD et al., 2014). A liberação de metais no meio ambiente em perímetros urbanos aumenta todos os anos e conseqüentemente são absorvidas por organismos e/ou sedimentos (ARAI et al., 2007).

Os metais são elementos químicos cuja estrutura em seu estado puro são conhecidos pela sua boa condutividade elétrica, pelo seu brilho, dureza, maleabilidade, ductibilidade e elevados pontos de ebulição e fusão (RIBEIRO, 2013). Segundo Routhier (2000), metais pesados apresentam valores elevados de número atômico e massa específica. As principais propriedades dos metais pesados são altos níveis de bioacumulação e reatividade, ou seja, além de desencadear diversas reações químicas não metabolizáveis, também são cumulativos ao longo da cadeia alimentar (RIBEIRO, 2013).

Alguns metais são essenciais para realização de funções vitais nos organismos, como o caso do Mn e do Zn. Porém outros, como o Pb, não possuem nenhuma função para os organismos e a sua acumulação pode provocar graves doenças, principalmente para os mamíferos (RIBEIRO, 2013). O metais pesados são contaminantes inorgânicos, poluentes e podem alterar as características químicas e biológicas das águas, ar e solo, além de animais e plantas (KARNITZ JÚNIOR, 2007) e podem ser absorvidos por sedimentos fluviais e organismos bentônicos (ARIAS et al., 2007), e contaminar a cadeia alimentar por meio da lixiviação para as água subterrâneas ou pela absorção vegetal e bioacumulação (BATISTA e FREIRE, 2010), sendo associados à neurotoxicidade e hepatotoxicidade em seres humanos (DIVAN JUNIOR et al, 2009).

A comunidade de macrófitas aquáticas desempenha um papel estrutural e funcional de grande importância para os ecossistemas aquáticos, sendo formadas por partes fotossinteticamente ativas e encontradas submersas em águas rasas permanentemente ou por alguns meses do ano (TRINDADE et al, 2010), servindo como alimento e abrigo para outros seres vivos, além de serem um importante sistema natural de filtragem, principalmente em cursos d'água dentro dos perímetros urbanos.

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).

A *Egeria Densa*, também conhecida como Elódea Brasileira, pertence à família dos Hydrocharitaceae, nativa da América do Sul, encontradas principalmente em regiões tropicais (OLIVEIRA et al, 2005), permanecendo submersas e enraizadas, muitas vezes considerada uma invasora agressiva, multiplicando-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. No Brasil é comumente encontrada nas regiões sul e sudeste (GANI et al, 2017). Esta macrófita aquática foi escolhida pela sua abundância em alguns trechos da bacia hidrográfica do rio Cascavel, no município de Guarapuava, Paraná.

Além das plantas, o sedimento presente no fundo dos rios e a água corrente também são importantes instrumento de análise ambiental. A elevada concentração de metais pesados nos sedimentos de fundo dos rios está relacionada à ausência de manejo apropriado dos solos agrícolas e à carência de tratamento adequado de efluentes, tanto em áreas rurais quanto urbanas (VARGAS et al, 2018). Os sedimentos têm sido reconhecidos como os maiores repositórios de poluentes no ambiente aquático, mesmo quando as concentrações na água são baixas ou inexpressivas (CARMO et al, 2011), além de servirem como importante elemento no monitoramento ambiental.

Este trabalho tem como objetivo geral analisar a viabilidade técnica do biomonitoramento ambiental no trecho urbano da bacia hidrográfica do rio Cascavel, por meio da ocorrência e concentração de metais pesados na macrófitas aquática *Egeria Densa*, sedimento e água. Além disso, verificar as possíveis fontes poluidoras de metais pesados nos pontos de coleta e no entorno, levando em consideração as modificações sofridas pelo município nos últimos anos e a obtenção de parâmetros físico-químicos específicos da bacia hidrográfica do rio Cascavel. A presente bacia drena quase todo o escoamento da cidade (PERES et al, 2008), sendo o principal receptor da descarga de efluentes, bem como principal rede de drenagem do perímetro urbano do município.

Para avaliar a variabilidade espacial e temporal da ocorrência e concentração total de Zn (Zinco), Mg (Magnésio), Chumbo (Pb), Cr (Cromo), Manganês (Mn) e Ni (Níquel) na planta aquática *Egeria densa*, no sedimento e na água foram coletadas amostras em diferentes pontos da referida bacia. Para determinar os níveis dos metais foi utilizado a técnica de Espectrometria de Absorção Atômica, realizada no Laboratório de Análise e de Traços e Instrumentação, do Departamento de Química – UNICENTRO, técnica amplamente utilizada para determinação de metais pesados em baixas concentrações, presentes em amostras líquidas, sólidas, em suspensão e até mesmo gasosa (AMORIM et al, 2008).

Conforme Charalampides & Manoilidis, 2002 a análise multielementar pode servir como indicador da influência de contaminantes de origens antrópicas no ambiente geoquímico natural e relacionar as possíveis fontes sendo utilizados para monitorar o estágio de evolução do meio ambiente em relação ao desenvolvimento sustentável e ameaças ambientais (VARGAS et al, 2018). Sendo assim, considera-se a possibilidade de estabelecimento de um programa voltado ao biomonitoramento ambiental de metais pesados que visa 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.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da Área de Estudo

Este trabalho foi realizado no município de Guarapuava (figura 1), localizado no centro-sul do estado do Paraná, no Terceiro Planalto ou Planalto de Guarapuava (Maack, 2002) a 25°18'03" e 25°26'19" de latitude sul, 51°24'29" e 51°32'07" de longitude oeste, 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.

Segundo Thomaz e Vestena (2003), o município de Guarapuava encontra-se na área de atuação extratropical, o que favorece temperaturas de caráter mesotérmico, com médias anuais entre 16°C e 20°C, com temperaturas mais baixas no inverno e verão amenizado pela altitude. Pode ser classificado, de acordo com Koppen, como "cfb", que corresponde ao clima temperado, com distribuição de chuvas durante o ano todo e verões moderadamente quente (AYOADE, 1983).

A Lei Federal nº 9.433, responsável pela Política Nacional de Recursos Hídricos, instituiu a bacia hidrográfica como unidade territorial de gestão e planejamento de recursos hídricos (BRASIL, 1997). O recorte espacial foi a bacia hidrográfica do rio Cascavel, principal receptor do lançamento de efluentes do município, mais especificamente sua área de abrangência no perímetro urbano, limitada pelas coordenadas geográficas 25°18'03" e 25°26'19" de latitude sul e os meridianos 51° 24' 49" e 51° 32' 07" de longitude oeste.

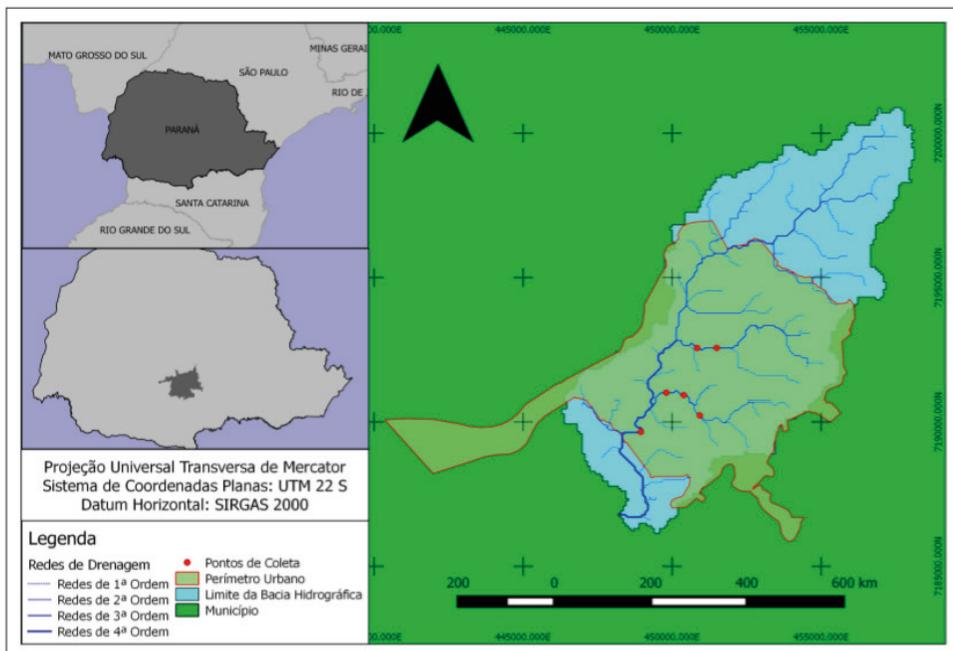


Figura 1: Mapa de localização do Município de Guarapuava, Paraná, e área de drenagem na bacia hidrográfica do rio Cascavel, bem como os pontos de coleta para construção desse trabalho.

Fonte: elaborado pelos autores.

A referida bacia possui uma área de drenagem de 81 km² e, segundo a classificação de Strahler (MACHADO e TORRES, 2012), sua classificação hierárquica é de 4ª ordem, onde mais de 40% de sua área total é predominantemente urbana. O município de Guarapuava teve seu desenvolvimento no entorno da bacia hidrográfica do rio Cascavel, principalmente a partir dos anos 1980, e seu crescimento territorial acompanhou ao longo da bacia, porém sem ordenamento adequado (OLIVEIRA et al, 2009).

Pontos, coletas e processamento das amostras

Para avaliar a variação espacial e temporal e a concentração de metais potencialmente tóxicos foram determinados pontos de coleta da BH do rio Cascavel com a presença da planta *Egeria Densa*, bioindicador utilizado na construção desse trabalho. Além da planta foi coletado igualmente amostras de sedimentos e água. Sendo assim foram definidos 6 pontos estratégicos para a coleta das amostras com diferentes características geomorfológicas e quanto ao uso do solo. Foram efetuadas 6 coletas entre os meses de dezembro de 2020 e maio de 2021, com intervalo aproximado de 30 dias de cada coleta. As coletas foram seguidas de acordo com o Guia de Coletas e Preservação de Amostras: Água, Sedimento, Comunidades Aquática e Efluentes Líquidos (BRANDÃO et al, 2011).

A pesquisa consistiu em 4 etapas principais: a coleta do material, com utilização de equipamentos de segurança, sendo feita a devida catalogação em campo e as análises das condições da água no momento da coleta (pH, temperatura, sólidos dissolvidos e condutividade) por meio de equipamento portátil Waterproof HI 98129; o processamento das amostras, desde a lavagem e separação de outros materiais, a permanência em estufa, a trituração para pesagem, realizada em uma balança analítica (Bioprecisa, FA-2104N), no Laboratório de Hidrologia, Departamento de Geografia - UNICENTRO, até a digestão das amostras em ácido nítrico e ácido clorídrico; a análise química, realizado no Laboratório de Análise de Traços e Instrumentação, do Departamento de Química - UNICENTRO; por fim a elaboração de material para melhor representação dos dados, com a construção de gráficos e mapas. Ao todo, constitui-se em 216 amostras, sendo divididas em 72 amostras de *Egeria Densa*, 72 amostras de sedimento e 72 amostras de água. Para melhor representação dos dados, as amostras foram coletadas em duplicata.

As amostras de *Egeria Densa*, após 48 horas na estufa entre 30°C e 40°C, foram trituradas para posteriormente serem pesadas 0,1g. Em seguida, permaneceram em bloco digestor durante 2 horas e 30 minutos, com temperaturas entre os 30°C e 120°C. Para a digestão das plantas, foram usados 2 ml de ácido nítrico. As amostras de sedimento, após 48 horas na estufa entre 30°C e 60°C, foram filtradas com peneira 0,18mm e pesadas 0,25g de amostra seca. A digestão foi feita inicialmente com 3ml de ácido clorídrico e 1ml de ácido nítrico. Após aproximadamente 7 horas, ou mais precisamente com as amostras secas, foi adicionado mais 6,25ml de ácido clorídrico, com o bloco digestor a 80°C, por 20 minutos. As amostras de água foram coletadas diretamente no ponto de coleta, com tubos de ensaio de acrílico de 10ml. As coletas de água foram efetuadas no dia anterior as análises das amostras de sedimento e planta.

A técnica utilizada para determinação da concentração dos elementos foi a Espectrometria de Absorção Atômica (EAA), ou *Flame Atomic Absorption Spectrometry (FAAS)*, 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). Considerada uma técnica analítica bem-sucedida e uma das mais utilizadas na determinação de elementos em baixas concentrações, presentes em amostras líquidas, sólidas, em suspensão e até mesmo gasosas, estando associadas a sistemas de análises em fluxo, permitindo estudos de especiação (AMORIM et al, 2008). As concentrações destes metais foram expressas em função do peso seco (mg/kg). A escolha da análise dos metais pesados levou em consideração (DEAN, 1972), (BRAILE & 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 A., & PENDIAS, H. 2001); (BRASIL, 1998; FAO, 1992) e (MALAVOLTA, 1994). A definição da qualidade da água faz referência N°430 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2011), modificando a Resolução N°357 de Maio de 2005. Os parâmetros são definidos em limites aceitáveis das substâncias presentes de

acordo com o uso da água. Para a avaliação dos resultados encontrados para as amostras de sedimento, foi utilizado a Resolução N°420 de Dezembro de 2009 (CONAMA, 2009), que define os valores de qualidade do solo quanto a presença de contaminantes químicos.

As correlações relevantes foram investigadas empregando-se os coeficientes de correlação de Pearson, representado por r , sendo um ramo da estatística descritiva que calcula a intensidade de correlação entre duas amostras, ou seja, é uma medida da direção e grau em que duas variáveis, quantitativas, se associam linearmente (MARTINS, 2014). Esse valor pode variar de 1, uma correlação positiva, a -1, uma correlação negativa. Quanto mais perto de 1, maior é o nível de associação linear entre as variáveis, quanto mais perto de 0, menor é grau de associação (PARANHOS et al, 2014). O coeficiente de determinação é medido pelo valor de r^2 . O quadrado do coeficiente de correlação de Pearson (r^2) é uma medida da proporção da variabilidade em uma variável que é explicada pela variabilidade da outra.

Com a ajuda de softwares de análise espacial, o SIG (Sistema de Informação Geográfica) livre QGIS 2.10 PISA e o Google Earth Pro, bem como o trabalho realizado em campo, foi possível determinar as possíveis fontes de contaminação da bacia hidrográfica do rio Cascavel. Levando em consideração as atividades comerciais e cotidianas desenvolvidas no entorno dos pontos de coleta, foram elaborados mapas da variação e concentração dos metais pesados nos diferentes pontos de acordo com as amostras.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A urbanização, com a concentração de pessoas e atividades produtivas, gera impactos irreparáveis, prejudiciais a curto e longo prazo, ao meio ambiente (JATOBÁ, 2011). A intensificação de atividades antrópicas nas bacias hidrográficas, normalmente sem planejamento ou controle, associada ao carregamento de nutrientes para o leito dos rios, através do aporte de despejos domésticos, industriais e fertilizantes químicos empregados nos cultivos ao longo de toda a bacia hidrográfica, tem levado a uma condição de desequilíbrio no sistema, caracterizado pela grande disponibilidade de nutrientes, acelerando o crescimento de organismos autotróficos, particularmente algas planctônicas (fitoplâncton) e macrófitas aquáticas (VELINI, 2000).

No meio aquático, os metais são oriundos de fontes naturais como lavagem geológica de solos e rochas, diretamente expostos à água, e por meio de fontes antrópicas como efluentes domésticos e industriais pelo processo de mineração, pela aplicação de pesticidas na agricultura (EBRAHIMPOUR & MUSHRIFAH, 2008) e através de precipitação em áreas com poluição atmosférica (PEREIRA, 2006).

Nos ecossistemas aquáticos, os metais e outros compostos tendem a acumular no sedimento (SHRIVASTAVA, 2003) e, dependendo das condições ambientais, podem começar a ser liberados na coluna d'água tornando-se biodisponíveis. Nestas condições podem afetar a biota, sendo incorporados ao longo da cadeia alimentar e conseqüentemente podendo causar danos também à saúde humana (KHAN et al, 2005).

As amostras da planta atuaram como importante indicativo da contaminação ambiental e da necessidade do estabelecimento de um programa de reestruturação da bacia em questão. A utilização de amostras de sedimento e água também são importantes, porém, o primeiro está em constante deslocamento pelo segundo, as chuvas e o aumento da vazão transportam o sedimento de fundo dos rios, assim como a água dos córregos estão sempre em movimentação.

Amostras de *Egeria Densa*

Os bioindicadores, definidos como qualquer resposta a um contaminante ambiental ao nível individual, medidos no organismo ou matriz biológica, indicam um desvio do status normal que não pode ser detectado no organismo intacto (ARIAS et al 2007) sendo cada vez mais utilizados no monitoramento ambiental.

Macrófitas aquáticas são reconhecidas como organismos resistentes à contaminação por metais pesados, tendendo a absorver altas concentrações destes elementos (MIKRYAKOVA, 2002), sem nenhuma mudança funcional evidente (BREKHOVSKIKH et al., 2001), podendo ser utilizadas como biorremediadoras (VALITUTTO *et al.*, 2006). Podem ser fonte de alimento para uma variedade de herbívoros e organismos detritívoros levando à possibilidade de biomagnificação de metais nos níveis tróficos subsequentes (MISHHRA et al., 2008).

Nas amostras de *Egeria Densa* foram encontrados números elevados de concentração, com alguns metais ultrapassando os valores definidos para concentração crítica (tabela 2). Para Mg, porém a concentração crítica desse elemento em plantas é muito questionável, levando em consideração que este é essencial para o desenvolvimento e fortalecimento das mesmas, bem como o principal átomo da molécula de clorofila (VALE, 2015).

Para Zn os valores ultrapassaram a concentração normal em todos os pontos para todas as amostras, com maior atenção para a terceira coleta no mês de fevereiro, dos pontos 1, 5 e 6 e a quinta coleta do ponto 3, onde esses valores ultrapassam mais de 200 mg/kg dos definidos para concentração crítica em matéria orgânica. Já o Mn apresenta variações entre os resultados. Todos os valores então acima do teor normal definido para este trabalho, porém, nos pontos 2, 3, 4 e 5 a concentração ultrapassa em todas as amostras os valores definidos para concentração crítica desse elemento, com uma leve baixa para o ponto 6, no terceiro e no quarto mês.

Ponto	Zn	Mn	Mg	Pb	Ni	Cr
Teor Normal	1-100	0.02-5	30-100*	0,20-20	0,02-5	N/D
Concentração Crítica	100-400	10-100	N/D	30-300	10-100	75-100
25°22'53.43"S 51°28'56.54"O	409-308-615 210-421-392	99-110-48 42-153-149	643-634-600 620-592-740	30-33-35 38-27-31	5-7-7 8-10-10	15-14-19 13-21-19
25°22'57.75"S 51°29'14.40"O	376-432-420 529-440-485	107-108-174 92-106-106	645-536-598 813-600-646	32-34-35 32-40-40	7-6-6 7-9-10	19-17-20 16-29-26

25°24'10.96"S	492-522-517	95-127-166	546-537-621	28-24-31	7-5-9	16-17-18
51°29'17.48"O	552-605-435	182-191-187	647-596-618	30-41-34	13-10-12	16-28-24
25°23'46.47"S	451-417-485	113-115-168	648-739-677	29-31-28	8-8-9	20-21-22
51°29'34.57"O	550-506-460	179-245-174	755-677-528	28-32-28	10-13-8	21-26-21
25°23'44.06"S	524-399-605	131-103-130	749-740-689	22-29-28	9-7-6	19-17-18
51°29'56.36"O	377-417-465	135-124-167	649-545-620	21-40-38	6-14-11	14-31-29
25°24'26.47"S	529-495-654	89-91-54	751-722-549	48-42-50	15-12-17	29-33-36
51°30'29.98"O	562-320-296	41-102-111	598-372-364	44-38-40	15-16-17	30-31-30

Tabela 2. Valores médios referente a presença dos metais pesados Zn, Mn, Mg, Pb, Ni e Cr nas amostras da planta *Egeria Densa*, entre os meses de dezembro de 2020 e maio de 2021. Valores de concentração definidos por Kabata-Pendias & Pendias, 1992; *Knezek & Ellis, 1980. Os valores estão em mg/kg. N/D sem parâmetro de referência.

Fonte: elaborado pelos autores.

Sobre os valores de Pb, Ni e Cr, esses metais são menos abundantes, porém, pequenas concentrações já podem indicar sérios riscos de contaminação. Os valores de Cr estão abaixo da concentração crítica, com uma forte acumulação nos últimos pontos, em relação aos demais. Para Ni todos os valores ultrapassaram a concentração normal, sendo que o último ponto apresentou os valores mais elevados, indicando que esse metal está sendo transportado pela água, levando em conta que os pontos iniciais têm os menos valores encontrados. Isso se repete com o Pb, sua acumulação está nos pontos mais abaixo, ou seja, os pontos 5 e 6.

No último ponto a concentração está entre os valores críticos em todas as amostras. No caso do Pb, que é um metal potencialmente tóxico até mesmo em baixas concentrações, todos os pontos estão fora dos indicadores de normalidade, e pelo menos dois terços das amostras apresentaram valores de concentração crítica para este elemento.

Sedimento

Os termos erosão e sedimentação envolvem os processos de erosão, transporte e deposição de partículas sólidas, o que é usualmente chamado de sedimento (CARVALHO, et al, 2000). Processos esses responsáveis por parte do modelamento dos relevos durante os estados de modificação da superfície da Terra. A coleta e avaliação da presença e concentração de metais pesados no sedimento presente no leito dos pontos selecionados, é de grande importância para classificação a longo e curto prazo dos níveis de contaminação pelo lançamento de efluentes na bacia em estudo, por se tratarem de matérias que demandam maior período para absorção dos contaminantes, se encontrados em grandes quantidades, podem inferir que a contaminação está avançada, ou indicar fontes mais precisas de contaminação.

Pela análise de sedimentos é possível verificar o histórico da acumulação de metais que ocorreu ao longo do tempo, em decorrência do crescimento populacional e desenvolvimento industrial (LOKESHWARI & CHANDRAPPA, 2007). Em um sistema aquático, formam-se camadas no sedimento ao longo do tempo, contendo compostos que representam a quantidade destes elementos liberadas no corpo d'água em diferentes períodos (Esteves, 1998), tornando possível interpretar o desenvolvimento histórico e as alterações de determinados ambientes, em geral, influenciadas pelo desenvolvimento industrial, desflorestamento, mineração e aumento de poluição (XUE et al, 2007).

Os valores de Mn e Mg não foram encontrados nas resoluções brasileiras, porém encontram-se em níveis altos se comparados com os outros elementos (tabela 4). Esse processo pode ser natural, com o efeito de lixiviação das rochas e o intemperismo acelerado pela erosão causada pelo rio. Além disso, os valores de Zn indicam que este elemento se encontra dentro dos definidos para prevenção, com exceção dos pontos 2 e 4, onde as últimas amostras ultrapassaram os estabelecidos para prevenção, mantendo-se abaixo do residencial.

Ponto	Zn	Mn	Mg	Pb	Ni	Cr
Prevenção	300	-	-	72	30	75
Residencial	1000	-	-	65	100	300
Industrial	2000	-	-	90	130	400
25°22'53.43"S 51°28'56.54"O	174-251-263 216-46-61	1344-1325-1501 1246-912-834	1151-1509-1389 2021-2009-3357	17-27-21 32-30-22	5-6-5 4-12-10	17-20-16 24-15-13
25°22'57.75"S 51°29'14.40"O	183-260-298 218-401*-392*	2335-2008-2300 1603-1283-1342	1092-1449-2490 1406-4959-1215	37-35-37 26-31-20	9-7-11 5-11-4	25-27-29 20-55-13
25°24'10.96"S 51°29'17.48"O	192-200-193 295-51-122	1125-1471-1529 1296-1174-1324	1032-1389-1995 1530-1774-2704	26-23-25 21-24-22	6-4-5 5-8-7	16-15-19 16-15-25
25°23'46.47"S 51°29'34.57"O	171-106-80 566*-300-426*	1007-1008-1291 1146-1856-1260	972-1329-1984 1513-2407-2831	29-32-29 28-38-43	7-10-8 7-13-17	22-20-21 22-22-25
25°23'44.06"S 51°29'56.36"O	129-130-140 162-127-135	1047-900-1471 1256-1101-1176	913-1270-1994 1647-3223-3442	28-30-32 26-32-35	7-8-8 11-12-13	24-21-21 21-29-31
25°24'26.47"S 51°30'29.98"O	118-119-121 0-0-0	904-978-1208 1284-3765-3931	853-1210-1267 1485-2875-2540	20-19-22 20-44-38	5-6-5 4-12-10	12-10-15 9-23-21

Tabela 3. Valores referentes a presença dos metais pesados Zn, Mn, Mg, Pb, Ni e Cr nas amostras de sedimento, entre o mês de dezembro de 2018 e maio de 2019. CONAMA – Resolução nº 420.

Fonte: elaborado pelos autores.

Para Pb, Ni e Cr, os resultados encontrados nas amostras de sedimento estão abaixo dos valores de prevenção. O Cr foi encontrado em maiores quantidades nos pontos mais altos da área em estudo, com uma dispersão para o último ponto. O Pb foi o que teve uma maior uniformidade nos resultados, com valores próximos em todas as amostras. Porém, se considerado o nível determinado com prevenção, observamos que o Pb, sendo um metal pesado altamente tóxico ao meio ambiente, tem níveis muito próximos do definido pela resolução, e mais importante, sem uma variação muito forte, o que pode indicar uma concentração elevada a longo prazo em toda a bacia.

Contudo, de acordo Ribeiro (2013) metais como Zn, Ni e Cr são mais comuns em regiões com rochas basálticas, característico do terceiro planalto paranaense. Já o Pb vem sendo considerado como um dos metais pesados mais perigosos quando encontrados no meio ambiente, associado a diversas doenças crônicas.

Poluição difusa espacial pela relação entre planta e sedimento

A intensificação de atividades antrópicas na bacia hidrográfica do rio Cascavel, sem planejamento ou controle, está associada ao carregamento de nutrientes pelo aporte de despejos domésticos, industriais e fertilizantes químicos empregados ao longo de todo o trecho urbano a bacia hidrográfica, levando a uma condição de desequilíbrio no sistema. 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.

Em geral, quando liberados no corpo hídrico os metais primeiramente são adsorvidos por partículas orgânicas ou inorgânicas e são então incorporados ao sedimento pelo processo de sedimentação, resultando em níveis mais elevados de metais neste compartimento (BOTTÉ et al, 2007). As águas intersticiais (água do sedimento) podem apresentar altas concentrações de metais e são capazes de influenciar as concentrações de metais nas águas superficiais por meio de processos como a difusão, consolidação e bioturvação (SALOMONS & FORSTNER, 1984). Assim, as concentrações de metais no sedimento são maiores do que na coluna d'água. Portanto, a análise do sedimento é uma fonte de dados fundamental sobre a poluição no meio aquático (BREKHOVSKIKH et al, 2002).

De acordo com Chen & Folt (2000), a concentração de metais em água nem sempre prediz a concentração de metais na biota. Em macrófitas aquáticas a concentração de metais pode ser muitas vezes superior do que no meio aquático em que elas estão inseridas (SAMECKA-CYMERMAN & KEMPERS, 2007), de acordo com Mishra et al (2008) este valor pode ser até 100 mil vezes maior. As fontes antropogênicas de Cr, Zn, Ni e Pb também podem estar relacionadas com atividades metalúrgicas, equipamentos elétricos, aterros, indústrias, ligas metálicas, entre outros, sendo que o Pb também está ligado a queima de lixos e combustíveis fósseis e utilização de fertilizantes e pesticidas (RIBEIRO, 2013).

De acordo com Carvalho (2018), as principais fontes de contaminação de Pb e Zn em ambientes urbanos podem estar associadas ao tráfego e degradação de automóveis. Segundo Carrero et al (2013), as fontes de Ni e Cr estão fortemente ligadas a corrosão de veículos. Além disso, as fontes naturais derivadas da rocha-mãe indicam os processos geomorfológicos ativos na transformação e na composição do relevo, apesar disso, a inserção de fertilizantes e adubos contaminados contribui para o enriquecimento de metais pesados nos solos (RIBEIRO, 2013) e conseqüentemente do restante do meio ambiente.

A correlação de Pearson foi feita entre amostras de planta e sedimento, com base nos valores médios da concentração de cada elemento para os 6 pontos (tabela 4). Quanto ao coeficiente de correlação de Pearson (r) o Ponto 1, 2 e 6 possuíram correlação forte positiva e maior valor de Coeficiente de Determinação (r^2). Os pontos 3, 4 e 5 apresentaram correlação moderada positiva e menor coeficiente de determinação (r^2), o que pode indicar que alguns fatores locais específicos (geomorfologia, ausência de fonte de efluentes tóxicos, diluição no corpo hídrico) podem estar interferindo na capacidade de retenção de metais pesados no meio de análise.

Ponto	Correlação de Pearson (r)	Coeficiente de Determinação (r^2)	Intensidade de Correlação (%)
25°22'53.43"S 51°28'56.54"O	0.800148	0.640237	64%
25°22'57.75"S 51°29'14.40"O	0.859395	0.73856	74%
25°24'10.96"S 51°29'17.48"O	0.721769	0.520951	52%
25°23'46.47"S 51°29'34.57"O	0.724346	0.524677	52%
25°23'44.06"S 51°29'56.36"O	0.686342	0.471066	47%
25°24'26.47"S 51°30'29.98"O	0.857132	0.734676	73%

Tabela 4. Coeficiente de Correlação de Person (r) e Coeficiente de Determinação (r^2), entre as amostras de sedimento e planta, nos pontos de coleta, utilizando os valores médios (mg/Kg) encontrados nas amostras entre os meses de dezembro de 2020 e maio de 2021.

Fonte: elaborado pelos autores.

Os elementos zinco, cromo, magnésio, chumbo e níquel apresentaram maior potencial de emissões nos primeiros pontos de coleta a jusante, fato este associado à proximidade da zona industrial de Guarapuava. Convém ressaltar que os três últimos pontos amostrais correspondem à menor topografia da área de estudo, com presença de horta urbana e saída da bacia do Rio Cascavel para ETE-Estação de Tratamento de Esgoto.

A identificação das fontes prováveis de contaminação na área proposta de estudo consistiu no levantamento de fontes potenciais de metais pesados dentro da área de drenagem da bacia hidrográfica do rio Cascavel. De forma geral as fontes antropogênicas de metais pesados na área de estudo são provenientes de resíduos sólidos industriais (galvanoplastia e metalurgia, fundições, soldagem, fusão e modelagem de ligas, incineração), sendo mais evidentes nos pontos mais ao norte, 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 a montante; além de pesticidas, fertilizantes e combustão de combustíveis fósseis, encontradas ao longo do trecho analisado. Além disso, 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.

Água

Dos parâmetros analisados, com exceção do pH, estatisticamente o fator localização dos pontos de amostragem tem uma influência significativa nos valores médios da temperatura, condutividade e sólidos totais dissolvidos (tabela 5). Tais interferências se devem a hidrodinâmica do corpo hídrico, diluição ao longo da bacia hidrográfica e recepção de efluentes domésticos e industriais. A condutividade, STD e sódio foram os parâmetros que apresentaram uma maior concentração no ponto P1, que recebe a maior influência das atividades das empresas localizadas no pólo industrial do município, parâmetros estes relacionados com lançamento de efluentes industriais e esgoto doméstico (tabela 8).

Os valores representam pouca associação com os valores encontrados no sedimento e na planta, isso se deve ao fato de que os metais são constantemente transportados e sua absorção pela matéria orgânica e pelo sedimento ocorre de maneira lenta e contínua. De acordo com os parâmetros físico-químicos encontrados nos pontos de coleta, observa-se que a condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos decrescem de acordo com os pontos de menor topografia.

Nas análises de água foram encontrados valores baixos de concentração dos metais estudados, de acordo com a Resolução N° 430, de 17 de maio de 2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Segundo o Art. 1° da presente resolução, visa determinar as condições, parâmetros, padrões e diretrizes para a gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores (CONAMA, 2011).

Ponto	Temperatura (°C)	Condutividade (μS)	Sólidos totais dissolvidos (ppm)	PH
25°22'53.43"S 51°28'56.54"O	24.9	155	77	10.2
25°22'57.75"S 51°29'14.40"O	25	149	74	10.2
25°24'10.96"S 51°29'17.48"O	23.3	113	56	9.5
25°23'46.47"S 51°29'34.57"O	24.6	112	56	9.9
25°23'44.06"S 51°29'56.36"O	24.4	117	58	9.7
25°24'26.47"S 51°30'29.98"O	22.6	96	49	9.9
Média/DP	24.1/0.9	124/23	62/11	9.8/0.2

Tabela 5. Valores médios das características físico-químicas da água dos pontos de coleta, na bacia hidrográfica do rio Cascavel, entre os meses de dezembro de 2020 e maio de 2021.

Fonte: elaborado pelos autores.

Para Zn os valores ultrapassam o determinado pela resolução nos pontos 1, 3, 5 e 6, com valores mais altos para o primeiro ponto. Para Pb e Cr, os valores ultrapassaram o estabelecido pela norma somente em um ponto, 4 e 6, respectivamente. Para os outros metais não foram ultrapassados os parâmetros de contaminação nas amostras de água.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O monitoramento das bacias hidrográficas por meio de bioindicadores é uma importante ferramenta de análise ambiental. As atividades antropogênicas aceleram os processos de contaminação ambiental, resultantes das alterações do uso e ocupação do solo, bem como a falta de fiscalização acerca dos materiais descartados nos efluentes. Sendo assim, entende-se a necessidade de uma maior atuação do poder público, bem como a participação da comunidade para que os cursos d'água em perímetros urbanos não sejam prejudicados pelas atividades humanas.

A metodologia utilizada mostrou-se eficiente na quantificação dos níveis de toxidade, sendo que a contaminação no sedimento e na planta obtiveram alto grau de correlação. Sendo assim, a macrófita *Egeria Densa*, pode ser utilizada nos estudos de biomonitoramento das bacias hidrográficas. Estudos nesse sentido são capazes de mostrar a capacidade de uma planta em acumular metais pesados, avaliar as condições tóxicas que se encontram os córregos urbanos ou se estas condições oferecem riscos a plantas, animais e microrganismos.

Os autores agradecem o Departamento de Química - DEQ, da UNICENTRO pelos equipamentos e monitores que auxiliaram as análises e a Fundação Araucária, pela bolsa de Iniciação Científica disponibilizada.

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, p. 7357-7366, 2014.

AMORIM, Fábio Alan Carqueija, SANTOS, Vera Lucia C. S., LÔBO, Ivon Pinheiro, FERREIRA, SERGIO L.C. Espectrometria de Absorção Atômica: O Caminho para Determinação Multi-Elementares. **Química Nova**, v.31, n.7, p. 1784 – 1790, 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, p. 255-263, 2007.

ARIAS, A. R. L.; BUSS, Daniel Forsin; ALBUQUERQUE, Carla; INÁCIO, Alan Ferreira; FREIRE, Marina Moreira; EGLER, Mariana; MUGNAI, Riccardo; BAPTISTA, Darcilio Fernandes. 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, p. 166-179, 2010.
- 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 bio sorção em algas marinhas. Tese de Doutorado – Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2001.
- BRANDÃO, Carlos Jesus, BOTELHO, Márcia Janete Coelho, SATO, Maria Inês Zanoli, LAMPARELLI, Marta Condé. **Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos**. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução N° 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrão de lançamento de efluentes complementa e altera a Resolução n° 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. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução N° 420, de 28 de dezembro de 2009**. CONAMA. Diário Oficial da União, n. 249, 30 dezembro 2009, p. 81. Brasília, 2009.
- BRASIL. Lei Federal N.º 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial [República Federativa do Brasil], Brasília, 9 jan. 1997.
- BRASIL. **Portaria n° 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 01 de março de 2022.
- BREKHOVSKIKH, V.F.; VOLKOVA, Z.V.; KATUNIN, D.N.; KAZMIRUK, V.D.; KAZMIRUK, T.N. & Ostrovskaya, E.V. Heavy Metals in Bottom Sediment in the Upper and Lower Volga. **Water Resources**, v. 29, n. 5, p. 539–547. 2002.
- BOTTÉ, S.E., FREIJE, Hugo, R. & MARCOVECCHIO, J.E. Dissolved Heavy Metal (Cd, Pb, Cr, Ni) Concentrations in Surface Water and Porewater from Bahia Blanca Estuary Tidal Flats. **Bull Environ Contam Toxicol**. v.79, p.415–421. 2007.
- CHARALAMPIDES, G. & MANOLIADIS, O. Sr and Pb isotopes as environmental indicators in environmental studies. **Environment International**, v. 28, p. 147-151, 2002.
- CHEN, C. & FOLT, C. Bioaccumulation and Diminution of Arsenic and Lead in a Freshwater Food Web. **Environ. Sci. Technol**. v. 34, p.3878-3884. 2000.
- CARRERO, J.A.; ARRIZABALAGA, I.; BUSTAMANTE, J.; GOIENAGA, N.; ARANA, G.; MADARIAGA, J.M. Diagnosing the traffic impact on roadside soils through a multi analytical data analysis of the concentration profiles of traffic-related elements. **Sci Total Environ** 458-460:427–434. 2013.
- CARMO, Carolina Almeida, ABESSA, Denis Moledo de Souza, MACHADO NETO, Joaquim Gonçalves. Metais em águas, sedimentos e peixes coletados no estuário de São Vicente-SP, Brasil. **O Mundo da Saúde**, v.35, n.1, p. 64 – 70, 2011.

- CARVALHO, Nelson Guzella. **Avaliação do nível de contaminação do solo em áreas adjacentes a rodovia BR-040 no município de Juiz de Fora - MG**. Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora – MG, 2018.
- CARVALHO, Newton de Oliveira, FILIZOLA JÚNIOR, Naziano Pantoja, SANTOS, Paulo Marcos Coutinho, LIMA, Jorge Enoch Furquim Werneck. **Guia de Práticas Sedimentométricas**. Brasília, Agência Nacional de Energia Elétrica, 2000.
- DEAN, J.G.; BOSQUI, F.L.; LANOUILLE, V.H. Removing heavy metals from waste water. **Environmental Science & Technology**, v. 6, p. 518-522, 1972.
- DIVAN JUNIOR, A. M., OLIVEIRA, Paulo Luiz, PERRY, Carolina Trindade, ATZ, Vera Lúcia. Using wild plant species as indicators for the accumulation of emissions from a thermal power plant, Candiota, South Brazil. **Ecological Indicators**, 9, 1156–1162, 2009.
- EBRAHIMPOUR, M. & MUSHRIFAH, I. Heavy metal concentrations (Cd, Cu and Pb) in five aquatic plant species in Tasik Chini, Malaysia. **Environ Geol**. v. 54, p. 689–698.2008.
- 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 01 de março de 2022.
- GANI, M.D.; ALFASANE, M.D.; KHONDER, M. Bloom forming phytoplankton and their comparative limnology in wastewater lagoons of Bangladesh. **Bangladesh Journal of Botany**, v. 46, 2017.
- IPARDES. **Caderno Estatístico Município de Guarapuava**. Junho de 2018. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=85000>. Acesso em 01 de março de 2022.
- JATOBÁ, Sérgio Ulisses Silva. Urbanização, Meio Ambiente e Vulnerabilidade Social. **IPEA**, jun. 2011.
- KABATA-PENDIAS, A., & PENDIAS, H. **Trace Elements in Soils and Plants**. 3rd Edition, CRC Press, New York. 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.
- KHAN, R.; Israili, S.H.; AHMAD, H. & MOHAN, A. Heavy Metal Pollution Assessment in Surface Water Bodies and its Suitability for Irrigation around the Neyevli Lignite Mines and Associated Industrial Complex, Tamil Nadu, India. **Mine Water and the Environment** v. 24, p.155–161. 2005.
- LOKESHWARI, H. & CHANDRAPPA, G. T. Effects of heavy metal contamination from anthropogenic sources on Dasarahalli tank, India H. **Lakes & Reservoirs: Research and Management**, v.12, p.121–128. 2007.
- MACHADO, Pedro José de Oliveira; TORRES, Fellipe Tamiozzo Pereira. **Introdução a Hidrogeografia**. 1ª Ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012.
- MAIGA, Ababacar, DIALLO, Drissa, BYE, Ragnar, PAULSEN, Berit Smestad. Determination of some toxic and essential metal ions in medicinal and edible plants from Mali. **J Agric Food Chem** 53: -2321. 2005.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados – mitos, mistificação e fatos**. Piracicaba: Produquímica, 1994. 153p.

MARTINS, Maria Eugénia Graça. Coeficiente de Correlação Amostral. **Revista de Ciência Elementar**, v.2, n.2, 2014.

MISHHRA, V. K.; UPADHAYAY, A. R.; PANDEY, Sudhir Kumar; TRIPATHI, B.D. Concentrations of heavy metals and aquatic macrophytes of Govind Ballabh Pant Sagar an anthropogenic lake affected by coal mining effluent. **Environ Monit Assess**. v. 141, p.49–58. 2008

MIKRYAKOVA, T. F. Accumulation of heavy metals by macrophytes at different levels of pollution of aquatic medium. **Water Resources**, v. 29, n. 2, p. 230–232. 2002.

OLIVEIRA, N.M.B., SAMPAIO, E.V.S.B., PEREIRA, S.M.B.; MOURA JUNIOR, A.M. Capacidade de Regeneração de *Egeria Densa* nos reservatórios de Paulo Afonso, BA. **Planta Daninha**, Viçosa – MG, v.23, n.2, p. 363 – 369, 2005.

PARANHOS, Ranulfo Paranhos; FIGUEIREDO FILHO, Dalson Britto; ROCHA, Enivaldo Carvalho; SILVA JÚNIOR, José Alexandre; NEVES, Jorge Alexandre Barbosa; SANTOS, Manoel Leonardo Wanderley Duarte. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson: o Retorno. **Leviathan**, São Paulo, n.8, p. 66 – 95, 2014.

PEREIRA, M.O.; CALZA, C.; ANJOS, M.J.; LOPES, R.T. & ARAÚJO, F.G. Metal concentrations in surface sediments of Paraíba do Sul River (Brazil). **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v.269, n.3 707–709. 2006.

PERES, Clérito Peres; KRUPPEK, Rogério Antonio; BRANCO, Ciro Cesar Zanini. Diagnóstico da qualidade da água do Rio Cascavel, município de Guarapuava, Estado do Paraná. **Ambiência Guarapuava**, PR, v.4 n.1 p.25-35 jan./abr. 2008.

RIBEIRO, Macos André do Côto. **Contaminação do solo por metais pesados**. Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologia, Lisboa, 2013.

RODELLA, R.A., COSTA, N.V., COSTA, L.D.N.C. e MARTINS, D. Diferenciação entre *Egeria densa* e *Egeria najas* pelos caracteres anatômicos foliares. **Planta Daninha**, v. 24, n. 2, p. 211-220, 2006.

ROUTHIER, P. **Voyage au monde du metal**, eds. Berlin, Paris. 2000.

SHRIVASTAVA, P.; SAXENA, A. & SWARUP, A. Heavy metal pollution in a sewage-fed lake of Bhopal, (M. P.) India. **Lakes & Reservoirs: Research and Management** v.8, p. 1–4. 2003.

SALOMONS, W. & FORSTNER, U. *Metals in the Hydrocycle*. **Springer Verlag**. 1984. 349p.

SAMECKA-CYMERMAN, A. & KEMPERS, A.J. Heavy Metals in Aquatic Macrophytes from Two Small Rivers Polluted by Urban, Agricultural and Textile Industry Sewages S.W Poland. **Arch. Environ. Contam. Toxicol**. v.53, 198–206. 2007.

SANTOS, Gustavo Henrique Fidelis. **Utilização da espectroscopia PIXE na avaliação do mecanismo de bioissorção 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, p. 261-265, 2008.

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

TRINDADE, Claudio Rossano T.; PEREIRA, Sabrina Amaral, ALBERTONI, Edélti Faria & PALMA-SILVA, Cleber. Caracterização e importâncias das macrófitas aquáticas com ênfase nos ambientes límnicos do campus Carreiros: FURG, Rio Grande, RS. **Cadernos de Ecologia Aquática**, v.5, n.2, ago – dez 2010.

VALE, Fabio. Magnésio: Importância e Necessidades. Disponível: <https://embracal.com.br/informativos-tecnicos/a-importancia-do-magnesio/> Acesso em 01 de março de 2022.

VARGAS, Tiago; ROISENBERG, Ari; PULGATO, Fernando Hepp. **Contaminação de Sedimentos de Fundo nas Bacias de Captação de Abastecimento Público de Caxias do Sul, RS**. São Paulo, v. 37, n. 2, p. 331 – 346, 2018.

VELINI, E. D. Controle de plantas daninhas aquáticas. In: **22 CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS**, Foz do Iguaçu. Palestras... *Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2000*.

VALITUTTO, R.S.; SELLA, S.M.; SILVA-FILHO E.V.; PEREIRA, R.G. & MIEKELEY, N. Accumulation of metals in macrophytes from water reservoirs of a power supply plant, Rio de Janeiro State, Brazil. **Water Air Soil Pollut.** v.178, p.89–102. 2006.

XUE, B.; YAO, S. & XIA, W. Environmental changes in Lake Taihu during the past century as recorded in sediment cores. **Hydrobiologia**. N.581, P.117–123. 2007.