

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUALIDADE AMBIENTAL

DOUTORADO ACADÊMICO

Teses – 2022



Trabalho de Conclusão

Título: AVALIAÇÃO DO SOLO ATRAVÉS DE BIOINDICADOR VIRAL, ANÁLISE DE METAIS E O USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO EXTREMO SUL DO BRASIL

Autor: TATIANA MORAES DA SILVA HECK

Abreviatura: HECK, T. M. S.

Tipo do Trabalho: TESE

Data da Defesa: 24/02/2022

Resumo: O processo de deterioração e contaminação do solo é crescente em diversos locais, especialmente nos países em desenvolvimento. Diversas ações antrópicas têm contribuído fortemente para esse cenário, tais como a contaminação com poluentes de origem doméstica e industrial. A avaliação do impacto do solo é fundamental para compreender melhor esse processo. O uso de bioindicadores como agentes virais e o monitoramento de fatores abióticos tem se revelado como excelentes ferramentas de diagnóstico ambiental. As áreas de bacias hidrográficas são alvo de grande interesse de investigação do solo, considerando seu importante papel ambiental. A Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos (BHRS) localiza-se no Estado do Rio Grande do Sul (RS), Brasil, e é a principal mantenedora de recursos hídricos da região sendo comum a exploração agrícola, regiões com intensa urbanização e industrialização, havendo assim impacto no solo por agrotóxicos e esgoto doméstico/industrial. Desta forma, o presente estudo tem como objetivo avaliar a contaminação do solo em diferentes regiões da BHRS através de bioindicadores virais, análise de metais (cromo, cobre, ferro e zinco) e a associação destes com os diferentes tipos de uso e ocupação do solo relacionando-os ao impacto antrópico em diferentes áreas da BHRS. Foram coletadas amostras em setembro de 2019 e setembro de 2020 em locais pré-determinados (branco, rural, urbano e industrial) ao longo da bacia. No total, obteve-se 24 amostras em diferentes profundidades (10, 20, 30 cm) e detectado o genoma de Mastadenovírus (AdV) humano com quantificação máxima de $9,28 \times 10^5$ cg/g e $1,37 \times 10^5$ cg/g

(área urbana e industrial, respectivamente). AdV bovino (BAdV) apresentou valor de $5,93 \times 10^4$

cg/g de solo. A investigação da percolação viral demonstrou maiores quantificações nas camadas superficiais, embora observadas quantidades nos 30 cm de profundidade e a ocorrência de partículas infecciosas de HAdV-C e BAdV. Os metais indicaram contaminação mais acentuada nas áreas urbana e industrial (Cu, Fe e Zn). O uso e ocupação do solo evidenciaram maior mancha urbanizada na área urbana e o tipo de solo mais comum foi o argissolo vermelho na Bacia. Dentre os dados censitários, destacamos densidade populacional na área urbana e industrial, escassez de saneamento básico e análise econômica de menor intensidade nas áreas designadas como branco e rural. Ações e gerenciamento com auxílio da população, principalmente local, somados às ações das autoridades, são mais eficazes para a qualidade do ambiente.

Palavras-Chave: Matriz ambiental; Contaminação no solo; Mastadenovírus; Efluente industrial

Abstract: The process of soil deterioration and contamination is increasing in several places, especially in developing countries. Several human actions have strongly contributed to this scenario, such as contamination with pollutants from domestic and industrial origin. Soil impact assessment is essential to better understand this process. The use of bioindicators as viral agents and the monitoring of abiotic factors has proved to be excellent tools for environmental diagnosis. The areas of river basin are the target of great interest in soil investigation, considering their important environmental role. The Rio dos Sinos Watershed Hydrographic Basin (RSW) is located in the State of Rio Grande do Sul (RS), Brazil, and is the main maintainer of water resources in the region, being common to agricultural exploitation, regions with intense urbanization and industrialization, thus having an impact on the soil by pesticides and domestic/industrial sewage. Thus, the present study aims to evaluate soil contamination in different regions of the RSW through viral bioindicators and analysis of metals (chromium, copper, iron and zinc), and the association of these with



the different types of land use and occupation relating them to the anthropic impact in different areas of the RSW. Samples were collected in September 2019 and September 2020 at predetermined locations (white, rural, urban and industrial) throughout the basin. In total, 24 samples were obtained at different depths (10, 20, 30 cm) and human Mastadenovirus (HAdV) genome was detected with a maximum quantification of 9.28×10^5 gc/g and 1.37×10^5 gc/g (urban and industrial area, respectively). Bovine AdV (BAdV) presented a value of 5.93×10^4 gc/g of soil. The investigation of viral percolation showed greater quantification in the superficial layers, although quantities were observed in the 30 cm depth and the occurrence of infectious particles of HAdV-C and BAdV. Metals indicated more severe contamination in urban and industrial areas (Cu, Fe and Zn). The use and occupation of the soil showed a greater urbanized patch in the urban area and the most common type of soil was the red argisol in the Basin. Among the census data, we highlight population density in the urban and industrial area, the scarcity of basic sanitation and economic analysis of less intensity in the designated white and rural area. Actions and management with the help of the population, mainly local, added to the actions of the authorities, are more effective for the quality of the environment.

Keywords: Environmental matrix; Soil contamination; Mastadenovirus; Industrial efluente

Orientador: DANIELA MULLER DE QUEVEDO

Acesso ao documento: <https://pergamum.feevale.br/acervo/283214>



Trabalho de Conclusão

Título: CONCEPÇÃO DE UM FRAMEWORK PARA A MANUFATURA VERDE NA INDÚSTRIA CALÇADISTA

Autor: MARCO ANTONIO MABILIA MARTINS

Abreviatura: MARTINS, M. A. M.

Tipo do Trabalho: TESE

Data da Defesa: 08/06/2022

Resumo: A área de produção, dentro das indústrias calçadistas, tem se tornado foco de diversos estudos acadêmicos, uma vez que seus impactos no ambiente natural têm aumentado de forma significativa. Com isso, houve um aumento da preocupação ambiental por parte da sociedade, tendo como consequência uma mudança na gerência dos processos produtivos das pequenas, médias e grandes indústrias, que precisam rever suas estratégias de modo a assegurar processos mais sustentáveis. Neste contexto, o objetivo geral desse trabalho é analisar as características de processos operacionais na indústria de calçados para viabilizar a concepção do framework específico de Manufatura Verde. Para contribuir com este tema e para o alcance do objetivo proposto, realizou-se uma pesquisa de natureza aplicada e descritiva quanto aos objetivos, com estratégia de estudo de caso múltiplo e abordagens qualitativa e quantitativa. Foram realizadas entrevistas semiestruturadas com quatro indústrias do calçado na região do Vale do Rio dos Sinos e Paranhana, além de um questionário aplicado aos colaboradores de três das indústrias entrevistadas. Os resultados evidenciaram que há uma adesão grande das indústrias às práticas sustentáveis que tipificam a Manufatura Verde; porém, aspectos como a logística reversa e os processos de compras ecológicas ainda são práticas que são consideradas um desafio pelas empresas. Na percepção dos colaboradores, alguns processos, como o ecodesign e resíduos sólidos, tiveram uma avaliação positiva, indicando que as empresas buscam tanto adotar esses processos, como também disseminam para os colaboradores a sua importância. No entanto, com relação às compras, treinamento e marketing verde, a percepção foi inferior aos demais construtos, o que aparenta haver uma dificuldade na comunicação entre o que a empresa prega em sua comunicação externa e o que ela de fato comunica internamente. Além disso, percebeuse que os colaboradores de cargos mais baixos e os pertencentes ao setor de operações são os que detêm a percepção mais negativa, ao contrário dos demais cargos e setores. Por fim, propostas de adequações técnicas foram sugeridas de forma a corrigir essa e demais lacunas encontradas nas aplicações de coleta. Com isso, realizou-se o processo de construção do framework específico para a indústria calçadista com base na teoria e nas aplicações das entrevistas e questionários, onde foi proposta um aumento do escopo da manufatura verde, contemplando não apenas os processos internos, mas também os aspectos externos de entrada (transporte de insumos e escolha de fornecedores) como os de saída (logística reversa e transporte ao cliente).

Palavras-Chave: Indústria calçadista; Manufatura Verde; Sustentabilidade ambiental

Abstract: Production area, within the footwear industries, has become the focus of several academic studies, since its impacts on the natural environment have increased significantly. With this, there was an increase in environmental concern on the part of society, resulting in a change in the management of the productive processes of small, medium and large industries, which need to review their strategies in order to ensure more sustainable processes and with lower emission of pollutants. In this context, the general objective of this work is to analyze the characteristics of operational processes in the footwear industry to enable the design of the specific Green Manufacturing framework. To contribute to this theme and to reach the proposed objective, an applied and descriptive research was carried out regarding the objectives, with a multiple case study strategy and qualitative and quantitative approaches. Semi-structured interviews were carried out with four footwear industries in the region of Vale do Rio dos Sinos and Paranhana, in addition to a questionnaire applied to employees of three of the industries interviewed. The results showed that there is a great adhesion of the industries to the sustainable practices that typify the Green Manufacturing; however, aspects such as reverse logistics and ecological purchasing processes are still practices that are considered a challenge by companies.



In the employees' perception, some processes, such as ecodesign and solid waste, had a positive evaluation, indicating that companies seek both to adopt these processes, as well as disseminate their importance to employees. However, with regard to purchasing, training and green marketing, the perception was lower than the other constructs, which appears to be a difficulty in communication between what the company preaches in its external communication and what it actually communicates internally. In addition, it was noticed that employees in lower positions and those belonging to the operations sector are the ones with the most negative perception, unlike the other positions and sectors. Finally, proposals for technical adaptations were suggested, in order to correct this and other gaps found in the collection applications. Thus, the process of building the specific framework for the footwear industry was carried out based on the theory and applications of the interviews and questionnaires, where an increase in the scope of green manufacturing was proposed, contemplating not only the internal processes, but also the external aspects of input (transport of inputs and choice of suppliers) and output (reverse logistics and transport to the customer).

Keywords: Footwear industry; Green Manufacturing; Environmental sustainability

Orientador: DUSAN SCHREIBER

Acesso ao documento: <https://pergamum.feevale.br/acervo/284117>



Trabalho de Conclusão

Título: DESENVOLVIMENTO, CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DE UM MODELO PARA ADSORÇÃO DE COBRE (II) COM A UTILIZAÇÃO DE ÓXIDO DE GRAFENO REDUZIDO

Autor: ALINE BELEM MACHADO

Abreviatura: MACHADO, A. B.

Tipo do Trabalho: TESE

Data da Defesa: 31/05/2022

Resumo: A contaminação de rios com diferentes metais influencia na qualidade de vida dos organismos, desde plantas, até animais e seres humanos. Os tratamentos de água convencionais não retiram os metais na sua totalidade e, conseqüentemente, resultando na exposição dos seres humanos. Para evitar esta exposição para os consumidores de água proveniente de estações de tratamento, é interessante a utilização de materiais com a capacidade de adsorver metais. O óxido de grafeno reduzido (OGr) tem demonstrado uma capacidade de retenção de poluentes, entre eles os metais. Diversas metodologias podem ser utilizadas para a obtenção deste material, a finalidade para a utilização do OGr é a que define qual delas deverá ser escolhida. O OGr tem sido grandemente estudado na área ambiental com aplicação no tratamento de água contaminada. A presença de grupos funcionais ligados a ele é um importante fator pois estes também são responsáveis pela adsorção de poluentes. Portanto, o objetivo deste estudo foi desenvolver, caracterizar e avaliar a eficiência de um modelo de OGr para a adsorção de metais presentes na água sintética. Primeiro foi realizada a síntese de óxido de grafeno por esfoliação química, e após a redução por redução térmica. Foram testadas diferentes massas de OGr aderidos à sílica (Si), para uma melhor adsorção de metais, com a finalidade de evitar a aglomeração e agregação de OGr. Primeiramente, foi acidificado a Si para possibilitar a adesão ao OGr. Sendo assim, foram testados 0,015; 0,020; e 0,025 g de OGr por g de Si. Testes de caracterização, como MEV, EDS, FTIR, Raman e TGA foram realizados para verificar se houve uma impregnação de OGr e Si. Após a aderência dos dois materiais, foi avaliada a capacidade de adsorção do material sintetizado utilizando uma água sintética com 10 mg/L de cobre, realizado através do teste de contato. Na análise de MEV foi possível observar a superfície dos materiais analisados, assim como a presença ou não de OGr e Si. No EDS, avaliou-se a composição química de todos os objetos de estudo, observando uma melhor homogeneização entre OGr 0.020 g e Si. E no teste de FTIR foi possível observar os grupos funcionais (carboxílico, carbonila e epóxi) das amostras. Os resultados de Raman demonstraram uma pequena geração de defeitos, e o teste de TGA demonstrou estabilidade térmica do material sintetizado (OGr 0,020 g e Si) em relação ao OGr. Analisando os resultados obtidos da caracterização, somente uma concentração (0,020 g) obteve características suficientes para se possível concluir que houve uma aderência entre OGr e sílica. Os testes com cobre na água sintética demonstraram uma remoção de 97 % e uma capacidade de adsorção de 51,42 mg/g. Diante dos resultados, evidencia-se a síntese de OGr aderido à sílica com distribuição homogênea, presença de grupos funcionais, estabilidade térmica e com poucos defeitos. Todas estas características permitiram a aplicabilidade do material para a adsorção de cobre da água, sendo este realizado com êxito.

Palavras-Chave: adsorção; água; caracterização; cobre; grafeno; sílica.

Abstract: Contamination of rivers with different metals influences the quality of life of organisms, from plants to animals and humans. Conventional water treatments do not completely remove the metals and, consequently, resulting in the exposure of humans. To avoid this exposure for consumers of water from treatment plants, it is interesting to use a material with the ability to adsorb metals. Reduced graphene oxide (rGO) has demonstrated a capacity to retain pollutants, including metals. Several methodologies can be used to obtain this material, the purpose for the use of rGO will define which one should be chosen. The rGO has been extensively studied in the environmental area with application in the treatment of contaminated water. The presence of functional groups bonded to it is an important factor once they are also responsible for the adsorption of pollutants. Therefore, this study aimed to develop, characterize, and assess



the efficiency of an rGO model for the adsorption of metals present in synthetic water. First, the synthesis of graphene oxide by chemical exfoliation was performed and, afterward, a reduction by thermal reduction. Different masses of rGO adhered to silica (Si) were tested for a better adsorption of metals, in order to avoid agglomeration and aggregation of rGO. First, Si was acidified to allow adhesion to rGO. Therefore, 0.015; 0.020; and 0.025 g of rGO per g of Si were tested. Characterization tests such as SEM, EDS, FTIR, Raman, and TGA were performed to verify if there was an impregnation of rGO and Si. After the adhesion of the two materials, the adsorption capacity of the synthesized material was assessed using a synthetic water with 10 mg/L of copper, carried out through contact test. In the SEM analysis, it was possible to observe the surface of the analyzed materials, as well as the presence or absence of rGO and Si. In the EDS, the chemical composition of all study objects was evaluated, observing a better homogenization between rGO 0.020 g and Si. And in the FTIR test it was possible to observe the functional groups (carboxylic, carbonyl, and epoxy) of the samples. The Raman results demonstrated a small generation of defects, and the TGA test demonstrated thermal stability of the synthesized material (rGO 0.020 g and Si) in relation to rGO. Analyzing the results obtained from the characterization, only one concentration (0.020 g) obtained sufficient characteristics to be considered as an adhesion between the materials studied. Tests with copper in synthetic water demonstrated a removal of 97% and an adsorption capacity of 51.42 mg/g. In view of the results, the synthesis of rGO adhered to silica with homogeneous distribution, presence of functional groups, thermal stability and with few defects is evidenced. All these characteristics allowed the applicability of the material for the adsorption of copper from water, which was successfully carried out.

Keywords: adsorption; characterization; copper; graphene; silica; water.

Orientador: DAIANE BOLZAN BERLESE

Acesso ao documento: <https://pergamum.feevale.br/acervo/284123>



Trabalho de Conclusão

Título: DESENVOLVIMENTO DE MEMBRANAS ÍON-SELETIVAS PARA APLICAÇÃO NO PROCESSO DE ELETRODIÁLISE REVERSA PARA RECUPERAÇÃO DE NÍQUEL

Autor: FABRICIO LUIS WILBERT

Abreviatura: WILBERT, F. L.

Tipo do Trabalho: TESE

Data da Defesa: 06/01/2022

Resumo: Apesar de privilegiado em recursos hídricos, o Brasil apresenta importantes bacias hidrográficas seriamente comprometidas por altos níveis de poluição nos trechos localizados em áreas urbanas. Dessa forma, os mananciais de água potável estão seriamente poluídos, afetando a disponibilidade para consumo humano. Os métodos convencionais de tratamento de águas e efluentes geralmente são ineficientes e geram resíduos perigosos em seu processamento. Para tanto, as pesquisas, direcionadas a reduzir as contaminações de recursos hídricos e a reutilização de efluentes industriais, são cada vez mais importantes. Um dos métodos para tratamento de efluentes é a eletrodialise reversa, em que membranas íon-seletivas, através da aplicação de um diferencial de potencial elétrico entre dois eletrodos (cátodo e ânodo), separam os íons de uma solução conforme sua carga elétrica, fazendo com que os sais dissolvidos e outras moléculas carregadas migrem para cada um dos eletrodos de cargas opostas. Esta tese tem objetivo desenvolver, a partir do poli (óxido de 2,6-dimetil-1,4-fenileno) (PPO), membranas íon-seletivas para aplicação em Eletrodialise Reversa para recuperação de níquel a partir de efluente industrial de galvanoplastia. Membranas catiônicas e aniônicas homogêneas foram sintetizadas a partir da modificação do PPO, e posteriormente empregadas em eletrodialise reversa. Para membranas catiônicas, a melhor condição de síntese para sulfonação de PPO foi empregando fração molar PPO:H₂SO₄ 1:4,4 e, para membranas aniônicas através da bromação do PPO, foi com fração molar PPO:NBS 1:0,5 e aminação por 14 dias. As membranas foram caracterizadas quanto às suas propriedades químicas e eletroquímicas (absorção de água, capacidade de troca iônica, condutividade iônica por impedância eletroquímica, TGA, MEV). A avaliação no processo de eletrodialise reversa, das membranas catiônicas e aniônicas deste trabalho foi realizada comparando com as membranas comerciais PC ACID 100, CR-67-HMR-412, HDX 100 e HDX 200. Em eletrodialise reversa, com efluente industrial de níquel, as membranas produzidas neste trabalho obtiveram 91,82% de extração de íon cloreto, 90,89% de extração de íon sulfato e 85,5% de extração de íon níquel. A estimativa de custos permitiu avaliar que o processo de produção de membranas e as membranas confeccionadas apresentam potencialidade de redução de custos e viabilidade futura.

Palavras-Chave: Eletrodialise Reversa; PPO; Membranas Íon-seletivas; Efluente industrial de níquel.

Abstract: Despite being privileged in water resources, Brazil has important hydrographic basins seriously compromised by high levels of pollution in stretches located in urban areas. Thus, drinking water sources are seriously polluted, affecting availability for human consumption. Conventional water and effluent treatment methods are generally inefficient and generate hazardous waste in their processing. Therefore, research, aimed at reducing the contamination of water resources and the reuse of industrial effluents, is increasingly important. One of the methods for treating effluents is reverse electro dialysis, in which ion-selective membranes, through the application of an electrical potential differential between two electrodes (cathode and anode), separate the ions from a solution according to their electrical charge, causing that dissolved salts and other charged molecules migrate to each of the oppositely charged electrodes. This thesis aims to develop, from poly (2,6-dimethyl-1,4-phenylene oxide) (PPO), ionselective membranes for application in Reverse Electro dialysis for nickel recovery from electroplating industrial effluent. Homogeneous cationic and anionic membranes were synthesized from the modification of PPO, and later used in reverse electro dialysis. For cationic membranes, the best synthesis condition for sulfonation of PPO was using 1:4.4 molar fraction PPO:H₂SO₄ and, for anionic membranes through bromination of PPO, it was with molar fraction PPO:NBS 1:0.5 and amination for 14 days.



Membranes were characterized as to their chemical and electrochemical properties (water absorption, ion exchange capacity, ionic conductivity by electrochemical impedance, TGA, SEM). The evaluation of the cationic and anionic membranes in this work in the reverse electrodialysis process was carried out by comparing them with the commercial membranes PC ACID 100, CR-67-HMR-412, HDX 100 and HDX 200. In reverse electrodialysis, with nickel industrial effluent, the membranes produced in this work obtained 91.82% extraction of chloride ion, 90.8% extraction of sulfate ion and 85.5% extraction of nickel ion. The cost estimate allowed us to assess that the membrane production process and manufactured membranes have potential for cost reduction and future viability.

Keywords: Reverse Electrodialysis; PPO; Ion-selective membranes; Nickel industrial effluent

Orientador: MARCO ANTONIO SIQUEIRA RODRIGUES

Acesso ao documento: <https://pergamum.feevale.br/acervo/282854>



Trabalho de Conclusão

Título: DISTRIBUIÇÃO DE CÁDMIO E CHUMBO EM PLANTAS DE ARROZ (*ORYZA SATIVA L.*) DA CULTIVAR IRGA 424 RI EM LAVOURAS DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

Autor: RAFAEL NUNES DOS SANTOS

Abreviatura: SANTOS, R. N.

Tipo do Trabalho: TESE

Data da Defesa: 13/07/2022

Resumo: O arroz (*Oryza sativa L.*) é considerado a principal fonte de ingestão de chumbo (Pb) e cádmio (Cd) ao homem. Pesquisas têm constatado valores elevados de Pb e Cd em grãos brancos de arroz, principalmente em amostras oriundas de ambientes de produção contaminados. No Brasil, o Rio Grande do Sul (RS) é o principal estado produtor de arroz, respondendo por cerca de 70% da produção nacional. Neste estado, o arroz é cultivado em regiões essencialmente agrícolas, e a água de irrigação apresenta, em geral, boa qualidade. Nestas condições, os fertilizantes e os agrotóxicos são as principais fontes de Pb e Cd à cultura, principalmente os fertilizantes fosfatados. Até o momento, nenhum estudo quantificou as concentrações destes elementos em uma cultivar específica de arroz irrigado, quando esta é submetida a doses elevadas de fertilizantes químicos em condições de campo. Assim, o presente estudo teve como propósito avaliar as concentrações de Cd e Pb no solo e em diferentes tecidos de plantas de arroz da cultivar IRGA 424 RI (raiz, parte aérea e grãos brancos) em lavouras fertilizadas para altos rendimentos, bem como a variabilidade destes elementos nestes tecidos entre as lavouras. Para atender estes objetivos, foram avaliadas as concentrações de Cd e Pb em amostras de solo e plantas (raízes, parte aérea e grãos brancos) de vinte e duas lavouras de arroz irrigado na safra 2018/19. As determinações foram realizadas por espectrometria de emissão óptica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES). As concentrações médias de Cd e Pb nas matrizes avaliadas foram de, respectivamente, 0,25 e 8,4 mg kg⁻¹ (solo); 0,24 e 1,56 mg kg⁻¹ (raiz); 0,05 e 0,32 mg kg⁻¹ (parte aérea) e 0,01 e <0,01 mg kg⁻¹ (grão branco). As concentrações de Cd e Pb observadas no solo estiveram dentro dos limites estabelecidos na legislação vigente. Em relação à comparação entre as concentrações de Cd e Pb considerando-se todas as amostras (solo, raízes, parte aérea e grãos brancos de arroz) nas diferentes localidades, constatou-se que as lavouras com menores teores de matéria orgânica tendem a acumular mais Cd. Nas plantas, as raízes foram as estruturas que mais acumularam Cd e Pb, seguidas pela parte aérea e pelos grãos brancos. Em relação aos grãos, estes apresentaram concentrações inferiores às constatadas em estudos de outros países, e semelhantes aos resultados obtidos no RS, na mesma cultivar e em cultivares distintas. Tal resultado está possivelmente associado às condições ambientais das áreas de produção, ou seja, baixas concentrações destes elementos no solo e na água de irrigação, bem como ao uso de agroquímicos conforme as normas técnicas de aplicação destes produtos.

Palavras-Chave: Agroquímicos; Elementos-traço; Qualidade ambiental; Orizicultura

Abstract: Rice (*Oryza sativa L.*) is considered the main source of lead (Pb) and cadmium (Cd) intake by humans. Previous studies have found high values of Pb and Cd in white rice grains, especially in samples from rice paddies located in contaminated environments. In Brazil, Rio Grande do Sul is the main rice producing state, harvesting about 70% of the national production. In this state, rice is grown in essentially agricultural regions, and irrigation water is generally of good quality. Under these conditions, fertilizers and pesticides are the main sources of Pb and Cd for rice, mainly phosphate fertilizers. So far, no study has quantified the concentrations of these elements in a specific irrigated rice cultivar, when it is subjected to high doses of chemical fertilizers under field conditions. Thus, the present study aimed to evaluate the concentrations of Cd and Pb in the soil and in different rice plants tissues of the cultivar IRGA 424 RI (root, shoot and white grains) in crops fertilized for high yields, as well as the variability of these elements in these tissues between crops. To meet these objective, Cd and Pb concentrations were evaluated in soil and plant samples (roots, shoots and white grains) of twenty-two irrigated rice fields in the 2018/19 harvest. Determinations were performed



by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES). The average concentrations of Cd and Pb in the evaluated matrices were, respectively, 0.25 and 8.4 mg kg⁻¹ (soil); 0.24 and 1.56 mg kg⁻¹ (root); 0.05 and 0.32 mg kg⁻¹ (shoot) and 0.01 and <0.01 mg kg⁻¹ (white grain). The concentrations of Cd and Pb observed in the soil were within the limits established in the current legislation. As for the comparison between Cd and Pb concentrations, considering all samples (soil, roots, shoots and white rice grains) in different locations, it was found that crops with lower organic matter contents tend to accumulate more Cd. In plants, roots were the structures that most accumulated Cd and Pb, followed by shoots and white grains. In relation to grains, these presented concentrations lower than those found in studies from other countries, and similar to the results obtained in RS, in the same cultivar and in different cultivars. This result is possibly associated with the environmental conditions of the field areas, that is, low concentrations of these elements in the soil and irrigation water, as well as the use of agrochemicals according to the technical standards for the application of these products.

Keywords: Agrochemicals; Trace elements; Environmental quality; Rice cultivation

Orientador: ANNETTE DROSTE

Acesso ao documento: <https://pergamum.feevale.br/acervo/284089>



Trabalho de Conclusão

Título: ECONOMIA CIRCULAR: UMA ABORDAGEM PARA REDUÇÃO DO DESPERDÍCIO DE ALIMENTOS E DA FRAÇÃO ORGÂNICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM NOVO HAMBURGO E MUNICÍPIOS LIMÍTROFES

Autor: KARIN LUISE DOS SANTOS **Abreviatura:** SANTOS, K. L.

Tipo do Trabalho: TESE

Data da Defesa: 21/02/2022

Resumo: O aumento da população mundial e seus hábitos de consumo contemporâneos estão comprometendo a biocapacidade planetária. Reflexos das ações antrópicas estão diretamente associados a escassez de recursos não-renováveis, a perda da biodiversidade e as mudanças climáticas. Além disso, o desperdício de alimentos e os elevados montantes de resíduos gerados a partir destas perdas são temas atuais de grande preocupação e mobilização global. Neste sentido, a economia circular mostra-se uma alternativa atraente à economia linear, por ser restaurativa e regenerativa por princípio. Assim, este estudo teve por objetivo avaliar a aplicabilidade dos princípios da economia circular para minimização do desperdício de alimentos e da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos em Novo Hamburgo e municípios limítrofes. Para isso, este trabalho compilou e interpretou a legislação vigente sobre desperdício de alimentos no Brasil; analisou o Plano Nacional de Resíduos Sólidos e os Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da região estudada, quanto a gestão e o gerenciamento da fração orgânica. Foram empregadas ferramentas metodológicas como pesquisa exploratória, descritiva e sistêmica, aplicação de questionários e atividades relativas à educação ambiental. Os resultados demonstraram que nenhum dos municípios estudados possui alguma forma de tratamento ou recuperação para a valorização da fração orgânica, sendo este recurso considerado rejeito e enviado para aterros sanitários. Neste contexto, ações de ensino de técnicas como a compostagem doméstica se mostraram eficazes para descentralização desta fração dos sistemas de coleta municipal. Quanto ao desperdício de alimentos, os resultados apontaram a necessidade de implementação de programas de sensibilização da população, além de outras estratégias que possam aproximar produtores de consumidores, incentivar o consumo de alimentos fora do padrão estético, entre outros

Palavras-Chave: Economia circular; Desperdício de alimentos; Compostagem doméstica; Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos urbanos; Fração orgânica de resíduos sólidos urbanos.

Abstract: The increase of the world population and its contemporary consumption habits are compromising planetary biocapacity. Reflections of human actions are directly associated with the scarcity of non-renewable resources, the loss of biodiversity, and climate change. In addition, food waste and the high amounts of waste generated from these losses are current topics of great concern and global mobilization. In this sense, the circular economy proves to be an attractive alternative to the linear economy, as it is restorative and regenerative in principle. Thus, this study aimed to evaluate the applicability of circular economy principles to minimize food waste and the organic fraction of urban solid waste in Novo Hamburgo and neighboring municipalities. For this, this work compiled and interpreted the current legislation on food waste in Brazil; analyzed the National Solid Waste Plan and the Municipal Integrated Management of Solid Waste Plans in the region studied, regarding the management of the organic fraction. Methodological tools were also used, such as exploratory, descriptive and systemic research, application of questionnaires, and activities related to environmental education. The results presented that none of the cities studied has any form of treatment or recovery of the organic fraction, and this resource is just sent to landfills. In this context, actions to teach techniques such as domestic composting proved to be effective for decentralizing this fraction of municipal collection systems. As for food waste, the results pointed to the need to implement programs to raise awareness among the population, in addition to other strategies that can bring producers closer to consumers, and encourage the consumption of foods outside the aesthetic standard, among others.



Keywords: Circular economy; Food waste; Home composting; Municipal solid waste management; Organic fraction of municipal solid waste.

Orientador: VANUSCA DALOSTO JAHNO

Acesso ao documento: <https://pergamum.feevale.br/acervo/283082>



Trabalho de Conclusão

Título: FENOLOGIA DE SAMAMBAIAS EM DIFERENTES REGIÕES CLIMÁTICAS DO MUNDO E EM DIFERENTES MICROCLIMAS DETERMINADOS PELA FRAGMENTAÇÃO DA FLORESTA COM ARAUCÁRIA SUBTROPICAL

Autor: JONAS BERNARDES BICA

Abreviatura: BICA, J. B.

Tipo do Trabalho: TESE

Data da Defesa: 30/03/2022

Resumo: As samambaias apresentam variações na performance fenológica em diferentes tipos climáticos mundiais e em diferentes microclimas locais, as quais são produzidas pela fragmentação de ambientes florestais. As bordas, desencadeadas pela fragmentação de habitats, têm alterado principalmente o microclima florestal, influenciando, em efeito cascata, o ciclo de vida das plantas. Embora a fenologia, cujas ferramentas metodológicas integram o campo das Ciências Ambientais, tenha alcançado uma posição frente a esse cenário, que é importante para monitoramento e avaliação da capacidade de resposta e do grau de susceptibilidade das plantas diante do efeito de borda, ela permanece pouco conhecida. Sendo assim, esta tese apresenta duas abordagens sobre a fenologia de samambaias. A primeira delas, em macroescala, de revisão da literatura, analisa como as fenofases das samambaias respondem a um elemento de clima ou à combinação de alguns deles, considerando três das principais zonas climáticas da Terra (tropical, subtropical e temperada). A segunda abordagem, de monitoramento, aplicada em nível de comunidade, envolveu um total de 156 indivíduos terrícolas, de sete espécies, selecionados sistematicamente em 36 parcelas de 100 m², distribuídas equitativamente em borda agrícola (BA), seção intermediária (SI) e interior de Floresta com Araucária (IF). O objetivo foi de determinar o padrão fenológico de samambaias que crescem em regiões de clima tropical, subtropical e temperado, bem como de entender os eventos fenológicos de samambaias em gradiente formado entre uma borda agrícola e o interior florestal, relacionando-os com os fatores climáticos e edáficos. A metodologia incluiu (1) revisão de literatura para verificar o padrão fenológico de samambaias no cenário mundial de regiões climáticas; (2) seleção de área de estudo em Floresta com Araucária, no Rio Grande do Sul, Brasil; (3) amostragem e marcação das plantas; (4) monitoramento mensal e bianual da renovação, fertilidade, senescência foliar e de atributos climático-edáfico; e (5) análise estatística circular para determinar a sazonalidade e modelagem, a partir do Modelo Aditivo Generalizado para Posição, Escala e Forma (GAMLSS), para a determinação da contribuição de atributos climático-edáfico sobre as fenofases das plantas, em BA, SI e IF. A renovação foliar e a fertilidade apresentaram um padrão sazonal nas três zonas climáticas, sendo descontínuas e irregulares, ao longo de um ciclo anual. A senescência foi não sazonal em áreas subtropicais, demonstrando continuidade, mas de modo irregular. Já em áreas tropicais e temperadas, a senescência foi descontínua e irregular. As samambaias no gradiente entre a borda e o interior demonstraram que os fatores microclimáticos e edáfico atuaram de formas distintas. A renovação foliar foi descontínua na BA e contínua na SI e no IF e irregular em todas as seções. A fertilidade foi descontínua nas três seções, BA, SI e IF, e irregular em todas as seções. A senescência foi contínua na BA e descontínua na SI e no IF e com frequência irregular, em todas as seções. O fotoperíodo e a temperatura foram os fatores que mais modelaram fenofases, em diferentes seções. Ao contrário, a umidade do solo foi um atributo que não modelou nenhuma fenofase das plantas.

Palavras-Chave: Clima; Efeito de borda; Fenofase; Floresta Atlântica; Monitoramento

Abstract: Ferns show variations in phenological performance in different world climate types and in different local microclimates produced, in forest environments, by fragmentation. The edges triggered by the fragmentation of habitats have mainly altered the forest microclimate, influencing, in a cascade effect, the life cycle of plants. Although phenology, which has methodological tools for Environmental Sciences, has reached a position in this scenario, which is important for monitoring and evaluating the response capacity and the degree of susceptibility of plants to the edge effect, it remains poorly known. The thesis presents two approaches to the phenology of ferns. The first of them, on a macroscale, is a



literature review, concerning the analysis of how the phenophases of ferns respond to an element of climate or a combination of some of them, considering three of the main climatic zones on Earth (tropical, subtropical and temperate). The second approach applied to monitoring, at the community level, of a total of 156 terrestrial individuals, of seven species, systematically selected in 36 plots of 100m², evenly distributed, in agricultural edge (BA), intermediate section (SI) and interior of Araucaria Forest (IF). The objective was to determine the phenological pattern of ferns growing in tropical, subtropical and temperate regions, as well as to understand the phenological events of ferns in a gradient formed between an agricultural edge and the forest interior, relating them to climatic factors and edaphic. The methodology included (1) literature review to verify the phenological pattern of ferns in the world scenario of climatic regions; (2) selection of the study area in Forest with Araucaria, in Rio Grande do Sul, Brazil; (3) sampling and marking of plants; (4) monthly and biannual monitoring of renewal, fertility, leaf senescence and climatic-edaphic attributes; and (5) circular statistical analysis to determine seasonality and modeling, using the Generalized Additive Model for Position, Scale and Shape (GAMLSS), to determine the contribution of climatic-edaphic attributes on plant phenophases, in BA, SI and IF. Leaf renewal and fertility showed a seasonal pattern in the three climatic zones, being discontinuous and irregular, along an annual cycle. Senescence was non-seasonal in subtropical areas, showing continuity, but irregularly, while in tropical and temperate areas it was also discontinuous and irregular. The ferns in the gradient between the edge and the interior showed that the microclimatic and edaphic factors acted in different ways. Leaf renewal was discontinuous in BA and continuous in SI and IF and irregular in all sections. Fertility was discontinuous in the three sections, BA, SI and IF, and irregular in all sections. Senescence was continuous in BA and discontinuous in SI and IF and with irregular frequency in all sections. Photoperiod and temperature were the factors that most shaped phenophases, in different sections. On the contrary, soil moisture was an attribute that did not model any plant phenophase.

Keywords: Climate; Border effect; Phenophase; Atlantic Forest; monitoring

Orientador: JAIRO LIZANDRO SCHMITT

Acesso ao documento: <https://pergamum.feevale.br/acervo/284147>



Trabalho de Conclusão

Título: INVESTIGAÇÃO DA APLICAÇÃO DE FENTON HETEROGÊNEO EM SOLUÇÃO AQUOSA SATURADA DE GASOLINA PARA DEGRADAÇÃO DE BTEX

Autor: UBIRATAN HACK

Abreviatura: HACK, U.

Tipo do Trabalho: TESE

Data da Defesa: 31/08/2022

Resumo: Os acidentes ambientais com vazamento de gasolina, são fontes de contaminação das águas subterrâneas pelas diversas substâncias presentes, sendo: Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno (BTEX). O desenvolvimento de processos que ajudem a mitigar esse tipo de poluição continua sendo uma tarefa importante. Portanto, existe a necessidade de desenvolver tecnologias limpas aplicadas para a remediação de áreas contaminadas com gasolina. Dentro deste contexto, o objetivo desta tese de doutorado foi investigar um processo de tratamento, usando pó de ferro industrial (Fe₀), H₂O₂ e CH₃COOH para degradação dos BTEX, utilizando processo Fenton Heterogêneo. A tese foi desenvolvida a partir de uma solução aquosa saturada de gasolina, onde o pH foi monitorado, visando mantê-lo entre 3 e 4. A tese estudou a composição qualitativa da solução aquosa saturada de gasolina para determinação do tempo ótimo de reação. O ferro zero valente (ZV) foi caracterizado por espectroscopia de energia dispersiva de raios-X (EDS) acoplado ao microscópio eletrônico de varredura (MEV). A relação Fe₀-H₂O₂ aplicada foi desenvolvida via projeto experimental fatorial, utilizando Matlab. A variação de dosagem do peróxido de hidrogênio e ferro, na solução saturada de gasolina, visando conhecer a melhor relação e confirmar a variação identificada no experimental fatorial foi testada em 96 horas. O desempenho do catalisador Fe₀ foi comparado ao de um catalisador de ferro salino (FeSO₄.7H₂O) em relação à remoção do BTEX, da solução aquosa saturada de gasolina sob a mesma concentração de H₂O₂ e pH. Foram identificados, na solução aquosa saturada de gasolina 35 compostos e, após a exposição reacional, resultou em 11 compostos. A partir do resultado obtido, uma relação de 9:7 entre Fe₀ e H₂O₂ foi testada e definida (utilizando planejamento experimental). A razão ideal de 9 partes de catalisador para 7 partes de H₂O₂ rendeu uma remoção percentual de BTEX de 86,81%, enquanto o catalisador de ferro salino foi capaz de remover 59,89% da BTEX em solução em 96 horas. As imagens da EDS/MEV revelaram que o catalisador consiste em partículas com diâmetro médio estimado de 0,755 μm e que é composto por 91,5% de ferro, sendo o restante impurezas. A partir da aplicação do processo Fenton Heterogêneo, na degradação dos BTEX presentes na solução aquosa saturada de gasolina, com uso do Fe₀ e, comparando com o catalisador de ferro salino (FeSO₄.7H₂O), os resultados da tese mostram que o uso do Fe₀, aqui investigado, tem potencial ambiental para catálise de reações Fenton Heterogêneo.

Palavras-Chave: Contaminação de Água Subterrâneas; Catalisador Metálicos Zero-Valente; Fenton Heterogêneo; BTEX.

Abstract: Environmental incidents with spillage of gasoline are sources of groundwater contamination by several substances present in gasoline, BTEX (Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylenes) among them. The development of processes that help in mitigating this kind of pollution remains an important task. Thus, there is a necessity in developing clean technologies for the remediation of sites contaminated with gasoline. Within such context, the objective of this doctoral thesis was to investigate a process using zero-valent iron powder (Fe₀), H₂O₂ e CH₃COOH for the decomposition of BTEX by a heterogeneous Fenton reaction. The zero-valent iron powder was characterized by means of energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS) attached to a scanning electron microscope (SEM). The optimal Fe₀ - H₂O₂ ratio was found via factorial experimental design using the Matlab software. The performance of the zero-valent iron catalyst was compared to that of a saline iron catalyst, ferrous sulfate hexahydrate (FeSO₄.7H₂O) regarding the removal of BTEX from a saturated aqueous solution of gasoline under the same concentration of hydrogen peroxide and same pH. Thirty-five compound were identified in the saturated aqueous solution of gasoline, and after going through



the heterogeneous Fenton reaction, 11 compounds were identified. From this result, the optimal ratio of 9:7 Fe⁰ to H₂O₂ was defined (using experimental design), and tested. The optimal ratio of de 9 parts catalyst to 7 parts H₂O₂ yielded a percent removal of BTEX of 86.81%, while the saline iron catalyst removed 59.89% of BTEX from the saturated aqueous solution of gasoline in 96 hours. The SEM/EDS images showed that the catalyst is composed of particles of an average size of 0,755 m, and 91.5% of iron, being the remaining components impurities. By comparing the results of the heterogeneous Fenton reaction carried out with the industrial-grade zero-valent iron powder (Fe⁰) to those of the saline iron catalyst (FeSO₄·7H₂O), one can notice the process herein designed has good potential as a remediation alternative to other processes.

Keywords: Groundwater Contamination; Zero-Valent Iron Catalysts; Heterogeneous Fenton Processes; BTEX

Orientador: MARCO ANTONIO SIQUEIRA RODRIGUES

Acesso ao documento: <https://pergamum.feevale.br/acervo/284461>



Trabalho de Conclusão

Título: TEORIA DE VALORES EXTREMOS NA IDENTIFICAÇÃO DOS EFEITOS DAS VARIAÇÕES CLIMÁTICAS NA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO GUAÍBA/RS

Autor: SABRINA ANTUNES VIEIRA

Abreviatura: VIEIRA, S. A.

Tipo do Trabalho: TESE

Data da Defesa: 24/02/2022

Resumo: Nos últimos anos uma das questões mais relevantes com relação ao clima refere-se ao provável aumento na intensidade e ocorrência de eventos extremos em função da variabilidade climática. Estudos observacionais evidenciam que extremos de precipitação têm aumentando em intensidade e/ou frequência. Embora eventos extremos estejam associados à variabilidade natural do clima, um aumento nas temperaturas médias implica em eventos extremos mais frequentes e intensos. Assim, as atividades antropogênicas podem afetar o comportamento probabilístico dos extremos ao longo do tempo, através da já identificada elevação da temperatura média global. Neste contexto, a análise de extremos de séries históricas de dados hidrometeorológicos através da Teoria de Valores Extremos (TVE) é uma das maneiras de se determinar a variabilidade devido às mudanças do clima. A TVE torna possível o conhecimento da frequência com que os eventos extremos ocorrem, permitindo a extrapolação para além da série histórica, gerando probabilidades de ocorrência de um referido evento. Conhecendo este padrão de ocorrências é possível realizar um trabalho de prevenção (obras engenharia, sistemas de alerta), reduzindo assim os potenciais efeitos catastróficos dos eventos extremos. Diante disto, o objetivo deste trabalho foi aplicar a TVE nas séries históricas de dados hidrológicos de precipitação e vazão da região hidrográfica do Guaíba/RS-Brasil e identificar probabilidades de ocorrência de retorno destes eventos intensos. Também utilizou-se dados de modelos climáticos do CMIP5 para gerar estimativas de valores de precipitação e vazão futuros diante de cenários de mudanças do clima. Os resultados demonstram que, para algumas estações da região hidrográfica do Guaíba, há tendências tanto de redução quanto de aumento de vazão, sendo que as séries de vazão mínima foram as que apresentaram maior presença de tendências significativas. Quanto a análise univariada das séries, em algumas estações pode-se esperar valores tanto acima dos máximos quanto abaixo dos mínimos já observados na série histórica. A análise bivariada mostrou dependência entre as variáveis e valores mais superestimados nos extremos da distribuição (com menor probabilidade de ocorrência). Com a inclusão dos modelos climáticos, verificou-se que podemos esperar ocorrência de precipitações intensas na região (e consequente aumento nas vazões) tanto em um cenário RCP 4.5 quanto no RCP 8.5, entretanto com este último apresentando valores mais extremos e com maiores probabilidade de ocorrência (consequentemente com tempos de retorno menores). Os mínimos das séries de precipitação e vazão não puderam ser modelados através dos modelos bivariados utilizados.

Palavras-Chave: GEV; Mudanças do clima; Precipitação extrema; Projeções; Vazão extrema.

Abstract: In recent years, one of the most relevant issues regarding climate refers to the likely increase in the intensity and occurrence of extreme events due to climate variability. Observational studies show that precipitation extremes are increasing in intensity and/or frequency. Although extreme events are associated with natural climate variability, an increase in average temperatures implies more frequent and intense extreme events. Thus, anthropogenic activities can affect the probabilistic behavior of extremes over time, through the already identified rise in global average temperature. In this context, the analysis of the extremes of historical series of hydrometeorological data through the Extreme Values Theory (EVT) is one of the ways to determine the variability due to climate changes. EVT makes it possible to know the frequency with which extreme events occur, allowing extrapolation beyond the historical series, generating probabilities of the occurrence of such an event. Knowing this pattern of occurrences, it is possible to carry out prevention work (engineering works, alert system), thus reducing the potential catastrophic effects of extreme events. Therefore, the



objective of this work was to apply the EVT in the historical series of precipitation and flow data of the Guaíba hydrographic region and to identify probabilities of occurrence of return of these intense events. Data from CMIP5 climate models were also used to generate estimates of future precipitation and flow values in the face of climate change scenarios. The results show that, for some stations in the hydrographic region of Guaíba, there are trends of both reduction and increase in flow, and the series of minimum flow were the ones that presented the greatest presence of significant trends. As for the univariate analysis of the series, in some stations one can expect values both above the maximums and below the minimums already observed in the historical series. The bivariate analysis showed dependence between the variables and the most overestimated values at the extremes of the distribution (with lower probability of occurrence). With the inclusion of climate models, it was found that we can expect the occurrence of intense precipitation in the region (and consequent increase in flows) both in an RCP 4.5 and RCP 8.5 scenario, however with the latter presenting more extreme values and with greater probability of occurrence (consequently with shorter turnaround times). The minima precipitation and flow series could not be modeled using the bivariate models used.

Keywords: GEV; Climate changes; Extreme precipitation; Projections; Extreme flow.

Orientador: DANIELA MULLER DE QUEVEDO

Acesso ao documento: <https://pergamum.feevale.br/acervo/283104>



Trabalho de Conclusão

Título: TOXICIDADE INDUZIDA POR METAIS: UMA AVALIAÇÃO IN VIVO E IN VITRO

Autor: GABRIELA ZIMMERMANN PRADO RODRIGUES

Abreviatura: RODRIGUES, GABRIELA ZIMMERMANN PRADO

Tipo do Trabalho: TESE

Data da Defesa: 22/02/2022

Resumo: A poluição hídrica derivada da contaminação por metais representa um problema ambiental e de saúde pública, visto que além de prejudicar todo ecossistema aquático, apresenta riscos para a saúde humana devido a não remoção completa destes poluentes pelos sistemas atuais de potabilidade de água. Estudos que elucidem os danos que tais substâncias podem causar isoladamente auxiliam na interpretação dos resultados de autores que avaliam amostras de misturas complexas. Frente a tal problemática, o presente estudo objetivou caracterizar a toxicidade de metais, que são frequentemente encontrados no meio ambiente (Mn, Al, Fe e Pb) em *Danio rerio*, *Daphnia magna* e em cultivo celular (linhagem SH-SY5Y). Também foi avaliada a capacidade de reversão das possíveis alterações observadas nestes três modelos experimentais. Nos modelos in vivo (*Daphnia magna* e *Danio rerio*) avaliou-se ainda a transposição geracional de alterações histopatológicas, comportamentais e de genotoxicidade. Como principais resultados da tese, pode-se destacar o potencial toxicológico do Al em *Daphnia magna*, cujas concentrações de frequente ocorrência ambiental causaram a letalidade absoluta dos organismos a partir de 72 horas de exposição. Neste modelo também foram observadas alterações reprodutivas e de morfologia nos organismos expostos aos demais metais (Fe, Pb e Mn) e suas respectivas proles (F1). Fatos que poderiam resultar na dificuldade de manutenção da espécie no ecossistema, além de alertar para os riscos que concentrações ambientalmente relevantes destes poluentes podem causar em longo prazo. No ensaio de toxicidade do Mn em *Danio rerio*, alterações histopatológicas hepáticas e intestinais foram observadas a partir de 72 horas e 14 dias de exposição, respectivamente. Algumas destas alterações comportamentais também foram observadas nos primeiros dias de vida da prole destes organismos, porém ao longo do desenvolvimento larval o padrão comportamental para a espécie foi reestabelecido, e grande parte dos danos foram revertidos após um período de recuperação. Com relação a toxicidade causada pelo Al em *Danio rerio*, destacamos as alterações comportamentais, que caracterizaram um efeito ansiogênico do metal. Resquícios destas alterações comportamentais foram transferidas para a prole (F1). O período de recuperação avaliado não foi eficiente em eliminar as alterações hepatocitárias causadas pela exposição ao Al ou pelo Fe, por exemplo. Demonstrando, que mesmo frente a uma hipotética remoção destes poluentes dos ambientes aquáticos, os organismos apresentariam alterações persistentes em seus órgãos vitais. Por fim, nos ensaios de citotoxicidade na linhagem SH-SY5Y destacamos que, conforme já descrito em estudos anteriores, houve uma hiperatividade mitocondrial precedente à disfunção, especialmente nas células expostas ao Al, Mn e Pb. Esta resposta está associada ao aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) e já foi relatada como característica da exposição a metais, pois deriva de um desequilíbrio na mitofagia resultando em morte celular, conforme também fora observado no presente estudo. Portanto, frente a todos os resultados obtidos, fica evidente que as concentrações tidas como referência no país para tais poluentes, não são totalmente seguras e afetam o ecossistema aquático em diferentes gerações e níveis tróficos. A presente tese abre precedentes para estudos futuros que identifiquem os mecanismos de ação envolvidos na toxicidade persistente destes metais, e motiva estudos tecnológicos que visem desenvolver metodologias para a remoção destes poluentes dos recursos hídricos.

Palavras-Chave: Ecotoxicologia; Toxicologia ambiental; Bioindicadores

Abstract: Water pollution derived from metal contamination represents an environmental and public health problem, since in addition to harming the entire aquatic ecosystem, it poses risks to human health due to the non-complete removal of these pollutants by current water potability systems. Studies that elucidate the damage that such substances



can cause alone can help interpret the results of authors who evaluate samples of complex mixtures. Faced with this problem, this study aimed to characterize the toxicity of metals, which are frequently found in the environment (Mn, Al, Fe and Pb) in *Danio rerio*, *Daphnia magna* and in cell culture (strain SH-SY5Y). We also evaluated the ability to reverse the possible changes observed in these three experimental models. In *in vivo* models (*Daphnia magna* and *Danio rerio*) the generational transposition of histopathological, behavioral and genotoxicity changes was also evaluated. As the main results of the thesis, the toxicological potential of Al in *Daphnia magna* can be highlighted, whose concentrations of frequent environmental occurrence caused the absolute lethality of the organisms after exposure (72 hours). In this model, reproductive and morphological changes were also observed in organisms exposed to other metals (Fe, Pb and Mn) and their respective offspring (F1). Facts that could result in the difficulty of maintaining the species in the ecosystem, in addition to alerting to the risks that environmentally relevant concentrations of these pollutants can cause in the long term. In the Mn toxicity test in *Danio rerio*, liver and intestinal histopathological changes were observed after 72 hours and 14 days of exposure, respectively. Some of these behavioral changes were also observed, including in the first days of life of the offspring of these organisms, but throughout larval development the behavioral pattern for the species was reestablished, and much of the damage was reversed after a 30-day recovery period in decontaminated water. Regarding the toxicity caused by Al in *Danio rerio*, we highlight the behavioral changes, which characterized an anxiogenic effect of the metal. Remnants of these behavioral changes were transferred to the offspring (F1). The recovery period evaluated was not efficient in eliminating hepatocyte alterations caused by exposure to Al or Fe, for example. Demonstrating that even in the face of a hypothetical removal of these pollutants from aquatic environments, organisms would present persistent changes in their vital organs. Finally, in the cytotoxicity assays in the SH-SY5Y lineage, we highlighted that, as described in previous studies, there was a mitochondrial hyperactivity preceding the dysfunction, especially in cells exposed to Al, Mn and Pb. This response is associated with increased production of reactive oxygen species (ROS) and has been reported as a characteristic of metal exposure, as it derives from an imbalance in mitophagy resulting in cell death, as was also observed in the present study. Therefore, considering all the results obtained, it is evident that the concentrations for such pollutants, taken as a reference in the country, are not completely safe and affect the aquatic ecosystem in different generations and trophic levels. This thesis opens precedents for future studies that identify the mechanisms of action involved in the persistent toxicity of these metals, and motivates technological studies that aim to develop methodologies for the removal of these pollutants from water resources.

Keywords: Ecotoxicology; Environmental toxicology; Bioindicators

Orientador: GUNTHER GEHLEN

Acesso ao documento: <https://pergamum.feevale.br/acervo/283126>

