

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROQUÍMICA**

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS CARVÕES ATIVADOS
PRODUZIDOS A PARTIR DA CASCA DA BANANA NANICA (*Musa
paradisíaca*) NA BIOSSORÇÃO DE ÍONS CHUMBO EM ÁGUA**

Autora: Marizângela Ribeiro dos Santos

**RIO VERDE - GO
MARÇO – 2020**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROQUÍMICA**

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS CARVÕES ATIVADOS
PRODUZIDOS A PARTIR DA CASCA DA BANANA NANICA (*Musa
paradisíaca*) NA BIOSSORÇÃO DE ÍONS CHUMBO EM ÁGUA**

Autora: Marizângela Ribeiro dos Santos
Orientadora: Ana Carolina Ribeiro Aguiar
Coorientador: João Carlos Perbone de Souza

Dissertação apresentada, como exigência para obtenção do título de MESTRE EM AGROQUÍMICA no programa de Pós-Graduação em Agroquímica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – Agroquímica / Química Ambiental.

RIO VERDE - GO
MARÇO – 2020

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

SS237a SANTOS, Marizângela Ribeiro dos santos
AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS CARVÕES ATIVADOS
PRODUZIDOS A PARTIR DA CASCA DA BANANA NANICA (Musa
paradisiaca) NA BIODSORÇÃO DE ÍONS CHUMBO EM ÁGUA /
Marizângela Ribeiro dos santos SANTOS; orientadora ANA
CAROLINA RIBEIRO AGUIAR; co-orientadora JOÃO CARLOS
PERBONE DE SOUZA. -- Rio Verde, 2020.
62 p.

Dissertação (em MESTRADO EM AGROQUÍMICA) --
Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2020.

1. Biossorção. 2. Metais pesados. 3. Meio rural.
I. RIBEIRO AGUIAR, ANA CAROLINA , orient. II.
PERBONE DE SOUZA, JOÃO CARLOS , co-orient. III.
Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
 MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
 SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
 INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Repositório Institucional do IF Goiano - RIIIF Goiano
 Sistema Integrado de Bibliotecas

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- Tese Artigo Científico
 Dissertação Capítulo de Livro
 Monografia – Especialização Livro
 TCC - Graduação Trabalho Apresentado em Evento
 Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____

Nome Completo do Autor: **MARIZÂNGELA RIBEIRO DOS SANTOS**

Matrícula: **2018103310310124**

Título do Trabalho: **AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS CARVÕES ATIVADOS PRODUZIDOS A PARTIR DA CASCA DA BANANA NANICA (*Musa paradisiaca*) NA BIOSSORÇÃO DE ÍONS CHUMBO EM ÁGUA**

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIIF Goiano: 06/05/2020

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumprir quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde - GO, 11/05/2020.

Mariângela Ribeiro dos Santos

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

Documento assinado eletronicamente por:

• **Ana Carolina Ribeiro Aguiar, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 11/05/2020 10:24:10.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 11/05/2020. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 139892

Código de Autenticação: 3a135077ae



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio Verde

Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970

(64) 3620-5600

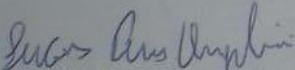
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROQUÍMICA

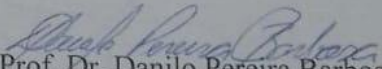
**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS CARVÕES ATIVADOS
PRODUZIDOS A PARTIR DA CASCA DA BANANA
NANICA (*Musa paradisiaca*) NA BIOSORÇÃO DE ÍONS
CHUMBO EM ÁGUA**

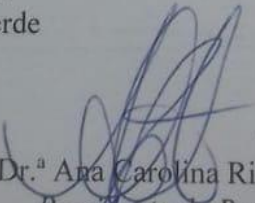
Autora: Marizângela Ribeiro dos Santos
Orientadora: Ana Carolina Ribeiro Aguiar

TITULAÇÃO: Mestre em Agroquímica – Área de concentração
Agroquímica.

APROVADA em 05 de março de 2020.


Prof. Dr. Lucas Peres Angelini
Avaliador externo
IF Goiano / Rio Verde


Prof. Dr. Danilo Pereira Barbosa
Avaliador externo
IF Goiano / Rio Verde


Prof.^a Dr.^a Ana Carolina Ribeiro Aguiar
Presidente da Banca
IF Goiano / Rio Verde

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço a Deus, o Supremo Arquiteto do Universo, Oxalá, Javé, Emanuel, ... por sempre me proteger, fortalecer e equilibrar em sublime brisa de paz.

Aos meus pais João Batista e Esperança Ribeiro, pela educação, amor e afeto. Mesmo não estando mais presentes fisicamente ainda participam diariamente de minhas lutas e vitórias, através dos ensinamentos deixados e do exemplo de pais responsáveis e amorosos. Hoje vocês não estarão aqui para partilhar dessa conquista, mas sei que lá de cima oram por mim e por nossa família, sempre nos protegendo.

Aos meus irmãos (as); Mari, Telinha, João, Sérgio, Mauro e Tuca, sobrinhos (as), cunhado (as), que são minha base e não mediram esforços para que fosse possível concretizar mais uma etapa de minha formação, sempre preocupados e zelosos. O nosso amor ultrapassa todas as dificuldades enfrentadas ao longo da vida e a união que os nossos pais nos fortalecem a cada dia! Amo e os amareis eternamente!

A minha orientadora prof.^a Dr.^a Ana Carolina, obrigada pela paciência, orientação, atenção, comprometimento e parceria ao longo desses dois anos.

Ao meu coorientador prof. Dr. João Carlos Perbone, por participar tão de perto desse projeto e colaborar com a minha formação profissional e pessoal.

A prof.^a também coorientadora Dr.^a Ana Paula Gomide, obrigada pela amizade, parceria e principalmente pelos conselhos.

Agradeço ainda aos profs. Celso Belisário, Rodrigo Braquiolli, Cássia e Lucas Angelini, por me auxiliarem com empréstimo de equipamentos e reagentes.

Aos meus amigos baianos que sempre estiveram presentes, desde a difícil decisão de ir para tão longe, até este momento! Em especial a Rodrigo Neves, minha mente brilhante, de coração de manteiga, que suporta minhas pirraças, minhas crises existenciais, que me acolhe do seu jeito e compartilha a vida diariamente comigo. Te amo! À Nanda, Gustavo,

Terezinha e Costela que sempre me incentivaram, socorreram espiritualmente e materialmente quando não tinha mais a quem recorrer, vocês não têm noção do quanto são importantes nessa conquista e o quanto os amo, obrigada pelo colo! Camila, Gaby, Jark, Gedson, Wellington, Aninha, obrigada por cada mensagem, ligação, abraço e apoio que me deram ao longo dessa jornada, vocês também são muito especiais!

Aos novos amigos e colegas do Goiás o meu muito obrigada pela cumplicidade, parceria e loucuras vividas, em especial; Isadora, Lara e família (agradecer à vocês ainda é pouco!), Micael, Autieles (obrigada pela sua amizade e incentivo!), Danilo e família, Mariana, Janyne, Karine, Bruno, Higor, Fernando, Amanda, Larissa, Aline, Ronaldo, Douglas, Camila, Chewbacca, Vicente, Nivalda, Júlio, Elhyas, Tiago, Gabriel, Paulo Henrique e Marilene que a frente da Central da Analítica corroborou com as minhas análises e se tornou uma grande parceira e amiga. E, a todos que me ajudaram diretamente ou indiretamente chegar a essa conquista.

BIOGRAFIA DA AUTORA

Marizângela Ribeiro dos Santos, filha de Esperança Ribeiro de Souza Santos e João Batista dos Santos, nasceu em 05 de novembro de 1981, na cidade de Guanambi, Bahia.

Em março de 2010, ingressou no curso de Licenciatura em Química pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano – Campus Guanambi – Bahia, graduando-se em junho de 2016. Durante a graduação foi bolsista CNPq por dois anos e bolsista do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID) por três anos.

Em março de 2018, iniciou no Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agroquímica, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, sob a orientação da Professora Dr.^a Ana Carolina Ribeiro Aguiar, participou da organização de eventos do programa de pós-graduação e da diretoria de extensão, foi bolsista de ensino por um ano, colaborou em projetos de extensão voltados à sua área de pesquisa e foi bolsista CAPES um ano.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	15
1.1. Objetivo Geral.....	15
1.2. Objetivos Específicos	15
3. REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1. Contaminação da água por agroquímicos	15
3.2. Metais pesados.....	16
3.3. Chumbo.....	17
3.4. Biossorção.....	19
3.5. Adsorventes alternativos.....	20
4. REFERÊNCIAS	20
CAPÍTULO I	0
1. INTRODUÇÃO.....	27
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
2.1. Preparação do material adsorvente	28
2.2. Preparo dos carvões	29
2.3. Análise Termogravimétrica (TGA)	31
2.4. Análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	31
2.5. Análise de Espectroscopia de infravermelho (IR).....	31
2.6. Cinética de Biossorção - Análise de Espectroscopia de absorção atômica de chama (FAAS).....	32
2.7. Isotermas de Adsorção.....	32
2.8. Análise Estatística.....	33
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
3.1. Análise Termogravimétrica (TGA)	34
3.2. Teor de cinzas e teor de umidade.....	35
3.3. Ponto de Carga Zero	36
3.4. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	37
3.5. Análise de Espectroscopia de infravermelho (FTIR)	40
3.6. Cinética de biossorção - Efeitos do tempo de contato com o biossorvente, temperatura de carbonização e pH.....	43
3.7. Isotermas de Adsorção.....	45
4. CONCLUSÕES	48
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição das propriedades físicas do Chumbo	17
Tabela 2 - Quantidade máxima de chumbo permitida nos corpos d'água.....	19
Tabela 3 - Teor de cinzas para o carvão calcinado a 350°C sem ajuste de pH.....	35
Tabela 4 - Teor de umidade para os carvões calcinados em 200, 250, 300 e 350°C.....	36
Tabela 5 - Concentração (mg.g-1) de íons chumbo em solução durante processo de biossorção para os carvões obtidos em pH = 2.	42
Tabela 6 - Concentração (mg.g-1) de íons chumbo em solução durante processo de biossorção para os carvões obtidos em pH = 5.	43
Tabela 7 - Concentração (mg.g-1) de íons chumbo em solução durante processo de biossorção para os carvões obtidos em pH = 9.	44
Tabela 8 - Parâmetros termodinâmicos calculados para obtenção das Isotermas de Langmuir e Freundlich e coeficientes de ajuste para adsorção do chumbo pelo carvão ativado.	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura do chumbo tetraetila e chumbo tetrametila	18
Figura 2 - Etapas de preparação do material adsorvente, pesagem das cascas de banana <i>in natura</i> , secagem e trituração	28
Figura 3 - Calcinação das cascas de banana para obtenção de carvão	29
Figura 4 - Ajuste do pH dos carvões utilizando NaOH e HCl, seguida de filtragem e secagem dos carvões	30
Figura 5 - Análise termogravimétrica (TGA) das cascas de banana musa paradisíaca e Derivada Termogravimétrica (DTG)	34
Figura 6 - Gráfico do ΔpH x $\text{pH}_{\text{inicial}}$ dos carvões da casca de banana.....	37
Figura 7 - Imagens da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos carvões obtidos para a casca de banana nanica de $\text{pH} = 5$ nas temperaturas de 200°C (a, b), 250°C (c, d), 300°C (e, f) e 350°C (g, h), com ampliação de 500 vezes (a, c, e, g) e 1000 vezes (b, d, f, h).....	38
Figura 8 - Espectros da FTIR de carvão ativado da casca da banana (200°C) antes (a) e após (b) biossorção de chumbo.....	39
Figura 9 - Espectros da FTIR de carvão ativado da casca da banana (250°C) antes (a) e após (b) biossorção de chumbo.....	40
Figura 10 - Espectros da FTIR de carvão ativado da casca da banana (300°C) antes (a) e após (b) biossorção de chumbo.....	41
Figura 11 - Espectros da FTIR de carvão ativado da casca da banana (350°C) antes (a) e após (b) biossorção de chumbo.....	41
Figura 12 - Ajuste das isotermas de adsorção do carvão de casca de banana obtido na temperatura de 200°C (a), 250°C (b), 300°C (c) e 350°C (d) e $\text{pH} 5$ ao modelo de Freundlich.	47
Figura 13 - Imagens da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos carvões obtidos para a casca de banana nanica de $\text{pH} = 2$ nas temperaturas de 200°C (a, b), 250°C (c, d), 300°C (e, f) e 350°C (g, h), com ampliação de 500 vezes (a, c, e, g) e 1000 vezes (b, d, f, h).....	53
Figura 14 - Imagens da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos carvões obtidos para a casca de banana nanica de $\text{pH} = 9$ nas temperaturas de 200°C (a, b), 250°C (c, d), 300°C (e, f) e 350°C (g, h), com ampliação de 500 vezes (a, c, e, g) e 1000 vezes (b, d, f, h).....	54
Figura 15 - Resultados do ajuste do modelo de Freundlich para construção das isotermas de adsorção na temperatura de 200°C e $\text{pH} = 5$	56
Figura 16 - Resultados do ajuste do modelo de Freundlich para construção das isotermas de adsorção na temperatura de 250°C e $\text{pH} = 5$	57
Figura 17 - Resultados do ajuste do modelo de Freundlich para construção das isotermas de adsorção na temperatura de 300°C e $\text{pH} = 5$	57
Figura 18 - Resultados do ajuste do modelo de Freundlich para construção das isotermas de adsorção na temperatura de 350°C e $\text{pH} = 5$	57
Figura 19 – Curva de calibração da Espectroscopia de absorção atômica de chama (FAAS) dos carvões ativados calcinados nas temperaturas de 200°C (a), de 250°C (b), de 300°C (c) e de 350°C (d) em $\text{pH} = 5$ para biossorção de chumbo.....	58

Figura 20 - Análise de Espectroscopia de absorção atômica de chama (FAAS) dos carvões ativados da banana <i>musa paradisíaca</i> , calcinados nas temperaturas de 200°C (a), de 250°C (b), de 300°C (c) e de 350°C (d).....	59
Figura 21 – Análise de Espectroscopia de absorção atômica de chama (FAAS) dos carvões ativados calcinados na temperatura de 200°C em pH = 5 na bioissorção de chumbo, a cada 15 minutos, durante 3 horas.....	60
Figura 22 – Análise de Espectroscopia de absorção atômica de chama (FAAS) dos carvões ativados calcinados na temperatura de 250°C em pH = 5 na bioissorção de chumbo, a cada 15 minutos, durante 3 horas.....	61
Figura 23 – Análise de Espectroscopia de absorção atômica de chama (FAAS) dos carvões ativados calcinados na temperatura de 300°C em pH = 5 na bioissorção de chumbo, a cada 15 minutos, durante 3 horas.....	61
Figura 24 – Análise de Espectroscopia de absorção atômica de chama (FAAS) dos carvões ativados calcinados na temperatura de 350°C em pH = 5 na bioissorção de chumbo, a cada 15 minutos, durante 3 horas.....	62

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACOES

TGA - Análise Termogravimétrica

MEV - Análise de Microscopia Eletrônica de Varredura

FTIR - Análise Espectroscopia de Infravermelho

FAAS - Cinética de biossoro – Análise de Espectroscopia de absoro atômica de chama

Pb – Chumbo

PCZ - Ponto de Carga Zero

RESUMO

SANTOS, MARIZÂNGELA RIBEIRO. Dissertação apresentada ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, como parte das exigências da Pós-Graduação – Mestrado em Agroquímica. Fevereiro de 2020. **Avaliação da eficiência dos carvões ativados produzidos a partir da casca da banana nanica (*Musa paradisíaca*) na biossorção de íons chumbo em água.** Orientadora: Dr.^a Ana Carolina Ribeiro Aguiar, Coorientadores: Dr. João Carlos Souza Perbone, Dr.^a Ana Paula Cardoso Gomide.

O constante aumento populacional, a densidade demográfica e as mudanças climáticas contradizem o princípio de que a disponibilidade hídrica é abundante e ilimitada. O uso da água de maneira eficiente pode ajudar na resolução de muitos problemas relacionados a escassez e ainda garantir a produção agrícola contínua. Para tanto, este estudo objetivou verificar a eficiência da casca de banana do tipo Nanica (*Musa paradisíaca*) na biossorção de íons chumbo em água, proporcionando um método de baixo custo e eficaz para o reuso de água. Existem inúmeras técnicas de tratamento de água e dejetos disponíveis que podem ser empregadas com sucesso; contudo, o custo de aquisição de equipamentos e insumos e a elevada manutenção desses sistemas inviabilizam sua implantação no meio rural. Desse modo, a execução deste projeto possibilitou o desenvolvimento de uma solução alternativa para o tratamento de águas contaminadas com metais pesados, em específico, o chumbo, advindo das atividades extrativistas de minério e da agricultura, a partir do uso de cascas de banana. Foram empregadas técnicas de adsorção atômica (biossorção) utilizando carvões preparados a partir das cascas de banana do tipo nanica. Estas foram secas em estufa com recirculação de ar a 60°C por 96 horas, trituradas em liquidificador comercial e peneiradas para obtenção de uma fração composta de micropartículas de até 500 µm. Em seguida foram obtidos os carvões por calcinação nas temperaturas de 200, 250, 300 e 350°C. Para a preparação do biossorvente, foi determinado o pH de trabalho (pH=5) a partir do Ponto de Carga Zero e realizada a análise termogravimétrica (TGA) para identificação das melhores temperaturas de obtenção dos carvões. Foram realizadas análises de microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia de infravermelho para caracterizar os carvões e identificar os grupos funcionais presentes. Por fim, foram realizados o estudo cinético e a avaliação da adsorção do teor de chumbo por espectrofotometria de absorção atômica de chama e ajustes aos modelos de isotermas de biossorção de Freundlich e Langmiur. Os carvões preparados nas temperaturas de 250, 300 e 350°C apresentaram excelentes resultados de biossorção com 100% de remoção de chumbo em pH 5, e os demais carvões apresentaram remoção acima de 90% para todos os pHs. O modelo que melhor descreveu o comportamento dos dados experimentais para as isotermas de biossorção foi o de Freundlich que obteve valores de R^2 de 0,9920; 0,9451; 0,945; 0,9771 para as temperaturas de 200, 250, 300 e 350°C, respectivamente. Dessa forma, foi possível demonstrar que a utilização de biossorção com carvões preparados a partir da casca da banana se apresenta como um processo de baixo custo e fácil aplicabilidade que possibilita a ampliação dos saberes sobre as práticas presentes no meio rural e o conhecimento químico.

Palavras-chave: Biossorção, metais pesados, meio rural.

ABSTRACT

SANTOS, MARIZÂNGELA RIBEIRO. Dissertation presented to Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde - GO, as part of the requirements to Post-Graduation - Master in Agrochemistry. February 2020. Efficiency Evaluation of activated carbon produced from the banana nanica peel (*Musa paradisíaca*) in the lead ions biosorption in water. Advisor: Dr. ^a Ana Carolina Ribeiro Aguiar, Co-advisors: Dr. ^o João Carlos Souza Perbone, Dr. ^a Ana Paula Cardoso Gomide.

The constant increase in population, population density and climate change contradict the principle that water availability is abundant and unlimited. The efficient water use can help to solve many problems related to scarcity and still guarantee continued agricultural production. This study aimed to verify the banana nanica (*Musa paradisíaca*) peel efficiency in the lead ions biosorption in water, providing a low cost and effective method for water reuse. There are numerous water and waste treatment techniques available that can be used successfully; however, the acquiring equipment and supplies cost and the high maintenance of these systems makes their implementation in rural areas unfeasible. Thus, this project execution enabled the development of an alternative solution for the water contaminated with heavy metals treatment, in particular, lead, resulting from the ore extractive activities and agriculture, from the banana peels use. For that purpose, atomic adsorption techniques (biosorption) were utilized using coals prepared from banana nanica peels. These were dried in an oven with air recirculation at 60 °C for 96 h, crushed in a commercial blender and sieved to obtain a fraction composed of microparticles up to 500 µm. Then the coals were obtained by calcination 200, 250, 300 and 350 ° C. For the biosorbent preparation, the working pH (pH = 5) was determined from the Zero Charge Point and thermogravimetric analysis (TGA) was performed to identify the best temperatures for obtaining the coals. Scanning electron microscopy and infrared spectroscopy analyzes were performed to characterize the coals and identify the functional groups present. Finally, were performed the kinetic study and the evaluation of the lead content adsorption by flame atomic absorption spectrophotometry and adjustments to the Freundlich and Langmiur biosorption isotherm models. Coals prepared at 250, 300 and 350 °C showed excellent biosorption results with 100% lead removal at pH 5, and the other coals showed removal above 90% for all pHs. The model that best described the experimental data behavior for the biosorption isotherms was the Freundlich model, where R² values of 0.9920 were obtained; 0.9451; 0.945; 0.9771 for temperatures 200, 250, 300 and 350 °C, respectively. Thus, it was possible to demonstrate that the use of biosorption with coals prepared from the banana peel presents itself as a low-cost and easy-to-apply process that enables the knowledge expansion about practices in the rural environment and chemical knowledge.

Keywords: Biosorption, heavy metals, countryside.

1. INTRODUÇÃO

O constante aumento populacional, a densidade demográfica e as mudanças climáticas contradizem o princípio de que a disponibilidade hídrica é abundante e ilimitada. Levando a reflexões sobre a qualidade e quantidade da água, tornando cada vez mais importante as discussões no âmbito da gestão ambiental (BERTONCINI, 2008.)

Muitos dos mananciais que fornecem água para o abastecimento humano estão continuamente sendo mais poluídos e deteriorados. O não tratamento de esgotos e das águas residuárias de industriais e agroindústrias e o uso exacerbado de água para o consumo humano, nas indústrias e na irrigação agrícola, aumentam a escassez (BERTONCINI, 2008). Um dos grandes desafios na utilização dos recursos hídricos é equilibrar a demanda e a disponibilidade da água existente.

Nesse sentido, uma alternativa é o tratamento de águas residuárias, principalmente as advindas da agricultura, uma vez que, as grandes áreas agrícolas irrigadas, consomem um volume de água muito superior ao que seria realmente necessário para garantir a produção, representando 70% de toda água consumida no mundo (FAGGION, OLIVEIRA; CHRISTOFIDIS, 2009).

O uso da água de maneira eficiente pode ajudar na resolução de muitos problemas relacionados a escassez e ainda garantir a produção agrícola contínua. Contudo, torna-se necessário a utilização de técnicas e tratamentos eficazes, com práticas econômicas de baixo custo. A busca por métodos mais eficientes e econômicos de irrigação e a busca por fontes alternativas de recursos hídricos, como o reaproveitamento de águas residuárias para minimizar o desperdício de água, é uma necessidade mundial (REBOUÇAS, 2010).

Os efluentes industriais e agroindustriais podem apresentar diversas características específicas, como patogenicidade, inflamabilidade, corrosividade, toxicidade dentre outras, exigindo tratamento específico para cada tipo de efluente (ABNT. NBR, 2018).

O tratamento de efluentes contendo metais pesados pode ser feito por diversos métodos como biossorção, troca iônica, adsorção, processos eletroquímicos e neutralização/precipitação química. A maioria desses processos possuem alto custo. Devido a isso, atualmente, há grande interesse no desenvolvimento de novos processos de tratamento deste tipo de efluente, visando, além da qualidade da água tratada, baixo investimento em equipamentos, materiais e reagentes (JIMENEZ, 2004).

O processo de biossorção para tratamento de efluentes ocorre através de interações eletrostáticas e formações de complexos entre íons metálicos e grupos funcionais presentes no material adsorvente, apresentando afinidade por determinado metal. Boniolo (2008) define o processo de biossorção como uma transferência de massa que ocorre entre um tipo sólido-fluido que vão ser atraídos por determinados sólidos que possuem capacidade de concentrar em sua superfície algumas substâncias. O emprego deste método tem demonstrado eficácia, baixo custo e possibilidade de utilização de biomassa, que pode ser reutilizada no processo e ainda traz a possibilidade de recuperação dos metais removidos (BONIOLO, 2016).

O melhor desempenho no processo de biossorção está diretamente relacionado com a escolha do material adsorvente. Alguns estudos demonstraram que a utilização de materiais vegetais tais como cascas de frutas; casca de banana (CRUZ, 2009), bagaço de laranja (MONTANHER, 2009), casca de coco verde (PINO, 2005), casca de abacaxi e tangerina (BATISTA, 2012). Essas biomassas possuem em sua composição lignina, celulose, hemicelulose e ainda sítios ativos adsorventes de metais, esses sítios são grupos funcionais carbonilas, carboxilas, aminas e hidroxilas; são bastante indicados para alcance de resultados significativos na retirada de metais pesados da água.

O cultivo da banana no Brasil, principalmente na Bahia, tem grande destaque econômico, sendo essa a segunda fruta que se destaca quando correlacionada com a área colhida, quantidade produzida, valor de produção e consumo, com seu cultivo sendo realizado por produtores de diferentes portes (BORGES *et. al*, 2009). Por apresentar essas características, a casca de banana, que hoje é tratada como um resíduo, tem potencial para ser utilizada como material adsorvente alternativo na remoção de chumbo em efluentes industriais.

A casca de banana apresentou excelente eficiência como material adsorvente para remoção de metais pesados apresentando remoção de 98,7% em estudos realizados por Cruz (2009), e foi avaliada a eficiência de remoção do cobre, zinco, cádmio e chumbo, que apresentou melhor adsorção (SILVA, 2014)

Diante disso, este estudo teve o intuito de avaliar o uso de carvão obtido a partir da casca de banana como material adsorvente para a remoção de chumbo (II) em água, proporcionando o desenvolvimento de um método de baixo custo e eficaz para tratamento visando o reuso da água.

2. OBJETIVOS

1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi produzir e avaliar a eficiência dos carvões ativados obtidos a partir da casca de banana do tipo Nanica (*musa paradisíaca*) na biossorção de íons chumbo em água, com o intuito de desenvolver um método alternativo, de baixo custo e eficaz para o tratamento e reuso da água.

1.2. Objetivos Específicos

- Preparação dos materiais adsorventes;
- Caracterização dos materiais adsorventes;
- Otimização das condições do processo de adsorção;
- Avaliação da eficiência do processo de remoção dos íons chumbo;
- Análise das isotermas de adsorção de acordo com os modelos de Freundlich e Langmuir.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Contaminação da água por agroquímicos

A demanda de água destinada a agricultura é uma das maiores preocupações quanto ao controle para que não haja desperdício, a utilização de pivôs e as áreas inundadas chegam a perder 60% da água na agricultura por evaporação (SILVEIRA, 2016). Assim, a produtividade está ligada diretamente a irrigação, reduzindo a necessidade de alargamento da fronteira agrícola (Resolução CONAMA N° 237, artigo 3°, 1997). Atividades agropecuárias, como a suinocultura, representam elevado potencial poluidor, sendo necessário licenciamento ambiental para seu funcionamento (SILVEIRA, 2016).

As práticas agrícolas estão diretamente relacionadas com o uso de agrotóxicos (herbicidas, inseticidas e fungicidas), a fim de controlar pragas que atacam os produtos cultivados na agricultura e aumentar a produtividade dos gêneros alimentícios. E a

contaminação ambiental por pesticidas oriundos da agricultura se tornou um problema de grande importância mundial por causa dos diferentes níveis de persistência no ambiente, além da toxicidade exercida sobre os organismos contaminados (JARDIM *et. al.*, 2009)

Os agroquímicos (defensivos agrícolas, pesticidas, agrotóxicos, etc.) são os produtos mais encontrados em águas superficiais e subterrâneas em nosso planeta, devido ao uso em áreas agrícolas e urbanas. São uma variedade de moléculas que possuem distintas características que os conferem diferentes níveis de tenacidade ambiental, mobilidade e potenciais toxicológicos, são carcinogênicos, mutagênicos e teratogênicos, possuem ainda efeito endócrino a diversos organismos, podendo ser letal ao ser humano (ARMAS *et. al.*, 2007).

A utilização dos produtos com atividade agrotóxica deve ser criteriosa e exige planejamento e cuidados para que sua aplicação não atinja áreas não desejadas e cause sérios danos ao meio ambiente.

Alguns produtos voláteis podem ser transportados pelo vento atingindo aves, mamíferos e diversos microrganismos. Os corpos hídricos, mananciais superficiais ou mananciais subterrâneos, também estão susceptíveis a receber cargas de agrotóxicos (SILVA, 2011). Quando retidos nas áreas de aplicações, eles podem ser lixiviados, atingindo as águas subterrâneas e posteriormente as de superfície, desencadeando o desequilíbrio ecológico. Além disso, alguns agroquímicos, ao entrar em contato com a água, podem sofrer processos de degradação e originar compostos ainda mais tóxicos (SILVA, 2011).

No Brasil até meados da década de 1970, os corpos hídricos subterrâneos eram praticamente inacessíveis à contaminação por agrotóxicos, pois, supunha-se que eles degradariam sozinhos em partículas não reativas ou seriam aprisionados nas áreas rurais antes de contaminá-los. Porém, com os novos estudos das tecnologias analíticas, detectaram esse tipo de contaminação em corpos hídricos (VEIGA *et. al.*, 2006).

A partir disso, os pesquisadores identificaram que os agroquímicos, além de serem absorvidos pelo solo, também contaminavam as águas, e o seu uso e os possíveis danos à saúde humana e ao meio ambiente tornaram-se grande problema e uma preocupação à comunidade científica, principalmente, tratando-se dos recursos hídricos contaminados são utilizados para consumo humano (VEIGA *et. al.*, 2006).

3.2. Metais pesados

Com a descoberta dos corpos hídricos contaminados, iniciou-se o estudo para identificar os elementos presentes nos agroquímicos e também nos demais contaminantes.

O aumento da exploração de matérias-primas fósseis e minerais para atendimento da produção em escala industrial de defensivos agrícolas, pelo crescimento populacional, tem acarretado na geração de compostos não biodegradáveis e na necessidade de implantação de formas de tratamento de efluentes antes de seu lançamento no ambiente (JARDIM *et. al.*, 2009).

Os compostos que não se degradam com maior destaque e preocupação são os metais pesados, em sua maioria são tóxicos e não removíveis com a maioria dos tratamentos biológicos de efluentes existentes. Sua toxicidade provoca alterações no sistema nervoso, digestivo, dores de cabeça, náuseas e acumulação ao longo da cadeia alimentar (AGUIAR *et. al.*, 2002).

De acordo com a resolução CONAMA 430/2011, só poderão ser lançados diretamente no corpo receptor, efluentes que obedeçam às condições e padrões previstos; a qual considera para o chumbo o valor permitido de $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$.

A poluição por metais pesados em efluentes industriais, são provenientes principalmente da mineração e lavouras (AGUIAR; NOVAES, 2002), de galvanoplastia (CRUZ, 2009) e de curtumes (BUSKE, 2012), (SILVA, 2014). Dentre os metais, o chumbo apresenta grande importância por ser utilizado em indústrias de munições, soldas e fundição, tintas e corantes, baterias e manufaturas de produtos químicos (MINOZZO, 2009).

3.3. Chumbo

O Chumbo está presente na natureza na forma de diversos compostos como carbonato de chumbo, sulfato e sulfeto de chumbo e óxido de chumbo. Pode ser encontrado também, em seu estado livre, nas formas isotrópicas ^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb e ^{208}Pb . Sua grande utilização decorre de seu baixo ponto de fusão ($327,46^\circ\text{C}$), grande facilidade de formar ligas e sua ductibilidade. Na Tabela 1 estão apresentadas as descrições das propriedades físicas do chumbo que possui peso e número atômico de 207u e 82 respectivamente, e a 550°C começa a emitir vapores, entrando em ebulição a $1748,85^\circ\text{C}$ (TEIXEIRA, 2017).

Tabela 1 - Descrição das propriedades físicas do Chumbo.

Estado Natural	Sólido
Cor	Branco – Azulado

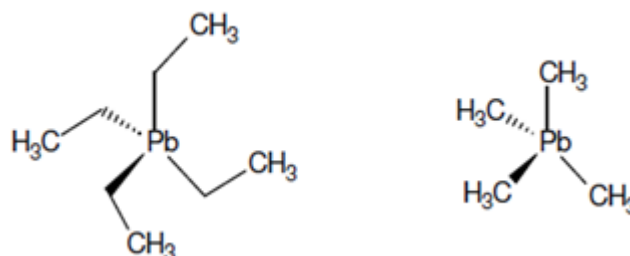
Ponto de Fusão	327,46°C
Ponto de ebulição	1748,85°C
Dureza	2 – 2,5
Densidade Relativa	11,35 Kg/dm ³
Propriedades Diagnósticas	Mole e Maleável

Fonte: TEIXEIRA, 2017.

A facilidade de se ligar com outros elementos, o chumbo considerado um dos metais mais promissores na indústria atual, em forma de novos compostos e também na forma pura (TEIXEIRA, 2017).

Os compostos inorgânicos do Pb estão presentes em grande variedade de produtos industriais e comerciais, incluindo plásticos, baterias, tintas, ligas metálicas, inseticidas, cabos elétricos, materiais cerâmicos e octanagem da gasolina. A estrutura do chumbo tetraetila e chumbo tetrametila são apresentadas na Figura 1, esses dois compostos estão presentes nos produtos citados acima.

Figura 1 – Fórmula do chumbo tetraetila e chumbo tetrametila.



Fonte: TAKENAKA, 2018

O chumbo pode contaminar a população pelas orais e inalatórias, e, mais de 80% do chumbo que será absorvido pelo organismo humano diariamente é advindo da ingestão de alimentos, sujeiras e poeiras que contêm esse metal. A exposição ao chumbo inorgânico causa muitos efeitos como: fraqueza, irritabilidade, astenia, náusea, dor abdominal com constipação e anemia (OGA *et al*, 2008). A toxicidade do chumbo nas plantas causa redução brusca do crescimento, folhagem comprimida, endurecimento do sistema radicular, diminuição da fotossíntese e adulteração do balanço hídrico (SILVA, 2014).

A apresentação desses íons nos efluentes ou em corpos hídricos representa riscos e alteração na qualidade das águas. A Resolução CONAMA 357/2005 que “dispõe sobre

a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências”, que trata o limite permitido de chumbo total para as águas é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Quantidade máxima de chumbo permitida nos corpos d’água.

Classes	Águas doce	Salinas	Salobras
I	0,01 mg.L ⁻¹	0,01 mg.L ⁻¹	0,01 mg.L ⁻¹
II	0,01 mg.L ⁻¹	0,21 mg.L ⁻¹	0,21 mg.L ⁻¹
III	0,033 mg.L ⁻¹	*	*

Fonte: CONAMA 357/2005. * As águas salinas e salobras de classe III seguem observações de condições padrão específicas.

3.4. Biossorção

Existem diversos métodos aplicados a remoção de contaminantes em solos e águas, como a precipitação química, troca iônica, biorremediação, fitorremediação e os processos de adsorção e biossorção utilizando carvão ativado. Contudo esses processos às vezes não são considerados adequados e totalmente eficientes, por possuírem tecnologias de alto custo e impérvia para serem aplicadas em larga escala e também por gerarem muito resíduo (JÚNIOR, 2013).

A biossorção é um método em que ocorre transferência de massa do sólido para o meio fluido, em que os sólidos concentram em sua superfície algumas substâncias presentes em soluções líquidas ou gasosas, permitindo a separação dos outros elementos dessas soluções (SILVA, 2014).

Já a adsorção é um meio de transferência de adsorbatos (elementos) do meio fluido para a superfície de um adsorvente que é uma fase sólida (RUTHVEN, 1984). Assim, as moléculas do meio fluido serão atraídas fortemente para as interfaces através de forças atrativas do sólido adsorvente (BARROS, 2014).

O processo de biossorção está relacionado a muitos fatores, sendo o principal a natureza do adsorvente e do adsorbato. Os parâmetros de adsorção como a temperatura, polaridade do solvente, velocidade de agitação, tamanho das partículas, pH da solução, também devem ser levados em consideração. O nível máximo de biossorção pode ser determinado também pelo estudo da composição do material adsorvente, como; área superficial específica; presença, tamanho e distribuição de poros; teor de cinzas; densidade e grupos funcionais (SILVA, 2014).

A biossorção está dentre um dos tipos de adsorção que tem como adsorvente principal materiais biológicos que promovem a remoção de solutos de efluentes. É um processo subsequente ao tratamento prévio do efluente que possui concentrações baixas de metais. Mas, os resultados são muito promissores quanto a eficiência de remoção comparada a outros processos de tratamento (SILVA, 2014).

3.5. Adsorventes alternativos

A utilização de resíduos agroindustriais (biomassa) nos processos de biossorção para o tratamento de efluentes, tem sido muito apreciado pelos pesquisadores. A preservação ambiental e o baixo custo para produção de carvões ativados a partir dessas biomassas, tornam as tecnologias acessíveis (MACÊDO, 2012).

O carvão ativado é o adsorvente mais utilizado em pesquisas na atualidade, as características físico-químicas definem a capacidade adsorvente do material que está diretamente ligado a área superficial específica, o tamanho e volume dos poros e a distribuição dos mesmos, além dos grupos funcionais responsáveis pelas interações com o adsorbato (NASCIMENTO *et.al*, 2014).

Já existem estudos bastante promissores e importantes que comprovam a relevância dos adsorventes alternativos como, a casca de coco pesquisada por SOUZA (2007) e PINO (2005); o bagaço de cana-de-açúcar pesquisado por ALBERTINI (2007) e SILVA (2012); casca de arroz FOLLETO (2005), e a casca da banana pesquisada por BONIOLO (2008) e (2016), dentre tantos outros trabalhos.

As cascas de banana possuem uma variedade de estudos de acordo com as várias espécies existentes. São bastante adsorventes, segundo os estudos até o momento realizados e possuem uma característica muito relevante que é a força de atração eletrostática por metais pesados. As suas interações fazem desse material alternativo um excelente adsorvente (BONIOLO, 2008).

4. REFERÊNCIAS

AGUIAR, M. R.; NOVAES, A. C. Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. **Quim. Nova**, Vol. 25, nº. 6B, pág. 1145-1154, 2002.

ALBERTINI, S.; d. C, L. F; PRADO, L. G.; **Ciênc. Tecnol. Alimentos.**, nº 27, pág. 113. 2007.

ARMAS, E. D. de, *et. al.* Diagnóstico espaço-temporal da ocorrência de herbicidas nas águas superficiais e sedimentos do Rio Corumbataí e principais afluentes. **Quim. Nova**, Vol. 30, No. 5, pág. 1119-1127, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 14004: Sistemas de gestão ambiental – **Diretrizes gerais sobre princípios, sistemas e técnicas de apoio**. Rio de Janeiro, 2018.

BARROS, T. R. B. Estudo de adsorção do chumbo II de efluentes utilizando cascas de abacaxi como biomassa adsorvente. **Trabalho de conclusão de curso (graduação em Química Industrial)**. Universidade Estadual da Paraíba. Pág. 15 a 42. 2014.

BATISTA, T.S.; LIRA, T. K. B.; SOUZA, J. S. B.; BARROS, T. R. B.; LIMA, V. E. Remoção e chumbo (II) em efluentes utilizando diferentes biomassas adsorventes. 1º Encontro Nacional de Educação, Ciência e Tecnologia UEPB. Paraíba. Campina Grande. 2012.

Disponível

em:<

http://editorarealize.com.br/revistas/enect/trabalhos/Comunicacao_104.pdf>.

Acessado em: 24 jan. 2018

BERTONCINI, E. I. Tratamento de efluentes e reuso. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**. Jun. 2008.

BONIOLO, M. L. Remoção de Urânio em Águas de Drenagem Ácida de Minas por Técnicas de Bissorção. Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, **Programa de Pós-Graduação em Geociência e Meio Ambiente do Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro**, 2016.

BONIOLO, M. L. Bissorção de Urânio nas Cascas de Banana. **Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo**, Programa de Pós-Graduação em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais, 2008.

BORGES, A. L. *et. al.* Sistema de Produção da Bananeira Irrigada. **Sistemas de Produção, 4. Embrapa Semiárido. Pernambuco** Jul. 2009.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras

providências. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>. Acesso em: 6 jan. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 273, de 29 de novembro de 2000. Estabelece diretrizes para o licenciamento ambiental de postos de combustíveis e serviços e dispõe sobre a prevenção e controle da poluição. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=271>>. Acesso em: 01 outubro 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 430/11. Seção II e III. 2011. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646> >. Acesso em 30 outubro 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357/05. 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 26 outubro. 2018.

BUENO, BM; *et. al.* Remoção de Pb (II) de soluções aquosas por biossorção em *R. opacus*. **Escola de Minas**, v.62, p.487-494, 2009.

BUSKE, J. L.; JOÃO, J. J. Biomassa residual: Utilização da casca da banana como adsorvente de metais pesados em efluentes líquidos industriais. In: Jornada UNISUL de iniciação científica, 2012, Tubarão. Anais eletrônicos... Santa Catarina: UNISUL, 2012. Disponível: <http://www.rexlab.unisul.br/junic/2012/arquivo_sistema/resumo_expandido_2012_21_08_17_5033ffe331925.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2018.

CRUZ, M. A R. da. Utilização da casca de banana como biossorvente. 2009. 74 f. **Dissertação – Universidade Estadual de Londrina**, Londrina, 2009.

FAGGION, F.; OLIVEIRA, C. A. S.; CHRISTOFIDIS, D. Uso eficiente da água: uma contribuição para o desenvolvimento sustentável da agropecuária. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Universidade de Brasília, Brasília, v. 2, n. 1, jan./abr. 2009.

FOLLETO, E. L.; *et. al.* Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz. **Química Nova**, v.28, p.1055-1060, 2005.

JARDIM, I. C. S. F.; ANDRADE, J. de A.; QUEIROZ, S. C. do N. Resíduos de agrotóxicos em alimentos: uma preocupação ambiental global - Um enfoque às maçãs. **Quím. Nova**, vol.32 nº.4. São Paulo. 2009.

JIMENEZ, R. S.; BOSCO, S. M. D. B.; CARVALHO, W. A. remoção de metais pesados de efluentes aquosos pela zeólita natural influência da temperatura e do pH na adsorção em sistemas monoelementares. **Quim. Nova**, Vol. 27, No. 5, 734-738, 2004.

JÚNIOR, A. C. G. Descontaminação e monitoramento de águas e solos na região amazônica utilizando materiais adsorventes alternativos, visando a remoção de metais pesados tóxicos e pesticidas. **Inc. Soc.**, Brasília, DF, v. 6 n. 2, p.105-113, jan. /jun. 2013.

LOIOLA, M. L.; SOUZA, F. de. Estatísticas sobre irrigação no Brasil segundo o Censo Agropecuário 1995-1996. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.1, p.171-180. Campina Grande-PB. 2001.

MACÊDO, L. P. M. M de. Viabilidade da produção de carvão ativado a partir de resíduos alternativos. **Dissertação do Curso de Mestrado em Desenvolvimento Processos Ambientais. Universidade Católica de Pernambuco**. 2012.

MINOZZO, R. *et. al.* Prevalência de anemia em trabalhadores expostos ocupacionalmente ao chumbo. **Rev. Bras. Hematol**; vol.31(2), pág. 94 a 97. 2009.

MONTANHER, S. F. Utilização da biomassa de bagaço de laranja como material sorvente de íons metálicos presentes em soluções aquosas. 2009. 150 f. **Tese de (Doutorado em Química) – Universidade Estadual de Maringá**, Maringá, 2009.

NASCIMENTO, R.; L., A. C. A.; Vidal, C. B.; Melo, D. Q.; R., G. S.; Adsorção- Aspectos teóricos e aplicações ambientais, **Edição UFS**, 2014.

OGA, S.; CAMARGO, M. M. A.; BATISTUZZO, J. A. O. Fundamentos de Toxicologia. 3 ed. São Paulo: **Atheneu Editora**, 2008.

PINO, G. A. H. Biossorção de metais pesados utilizando pó da casca de coco verde (Cocos nucifera). 113 f. **Dissertação de (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Pontifícia Universidade Católica**, Rio de Janeiro. 2005.

REBOUÇAS, J. R. L.; DIAS, N. D. S.; GONZAGA, M. D. S.; GHEYI, H. R. & SOUSA NETO, O. D. Crescimento do feijão-caupi irrigado com água residuária de esgoto doméstico tratado. **Revista Caatinga**, vol. 23, pág. 97 a 102. 2010.

RUTHVEN, D. M. Principles of adsorption and adsorption processes. **John Wiley & Sons**, 1984.

SILVA, N. C. R. Utilização da casca de banana como biossorvente para a adsorção de chumbo (II) em solução aquosa. 2014 45 f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental)** – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

SILVA, W. L. L. D.; Oliveira, S. P. D. Modificação das características de adsorção do bagaço de cana para remoção de azul de metileno de soluções aquosas. **Scientia Plena**, v.8, p.1-9, 2012.

SILVA, D. R. O.; AVILA, L. A.; AGOSTINETTO, D.; BENDT, A. D. C.; PRIMEL, E. G.; Caldas, S. S. Ocorrência de agrotóxicos em águas subterrâneas de áreas adjacentes a lavouras de arroz irrigado. **Química Nova**, v.34, p.748-752, 2011.

SILVEIRA. R. N. C. M. Manejo e Cuidados no Uso da Vinhaça na Fertirrigação. Conservação, uso racional e sustentável da água. **Agência Nacional de Águas**. 2016.

SOUZA F.; MOREIRA S. Uso da casca de coco verde como adsorvente na remoção de metais tóxicos. **Química Nova**, 2007.

TEIXEIRA, J. A. de A. B.; SILVA, B. C. E. Chumbo. **Agência Nacional de Mineração. última modificação 14/06/2017- DNPM**.

TAKENAKA, M. V. dos S. *et. al.* Determinação potenciométrica de chumbo nas águas do rio tietê com eletrodo de PbO₂ disperso em parafina. **Trabalho de conclusão de curso do curso de Bacharelado em Química da Universidade de Mogi das Cruzes**. Maio, 2018.

VEIGA, M. M.; SILVA, D. M.; VEIGA, L. B. E.; FARIA, M. V. de C. Análise da contaminação dos sistemas hídricos por agrotóxicos numa pequena comunidade rural do

Sudeste do Brasil. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 22. Pág. 2391-2399, Nov. 2006.

CAPÍTULO I

Avaliação da eficiência dos carvões ativados produzidos a partir da casca da banana nanica (*Musa paradisiaca*) na biossorção de íons chumbo em água.

RESUMO: O constante aumento populacional, a densidade demográfica e as mudanças climáticas contradizem o princípio de que a disponibilidade hídrica é abundante e ilimitada. O uso da água de maneira eficiente pode ajudar na resolução de muitos problemas relacionados com a escassez e ainda garantir a produção agrícola contínua. Com este estudo, objetivou-se verificar a eficiência da casca de banana do tipo Nanica (*Musa paradisiaca*) na biossorção de íons chumbo em água, proporcionando um método de baixo custo e eficaz para o reuso de água. Existem inúmeras técnicas de tratamento de água e dejetos disponíveis que podem ser empregadas com sucesso; contudo, o custo de aquisição de equipamentos e insumos e a elevada manutenção desses sistemas inviabilizam sua implantação no meio rural. Desse modo, a execução deste projeto possibilitou o desenvolvimento de uma solução alternativa para o tratamento de águas contaminadas com metais pesados, em específico, o chumbo, advindo das atividades extrativistas de minério e da agricultura, a partir do uso de cascas de banana. Para tanto, foram empregadas técnicas de adsorção atômica (biossorção) utilizando carvões preparados a partir das cascas de banana do tipo nanica. Estas foram secas em estufa com recirculação de ar a 60°C por 96 h, trituradas em liquidificador comercial e peneiradas para obtenção de uma fração composta de micropartículas de até 500 µm. Em seguida foram obtidos os carvões por calcinação nas temperaturas de 200, 250, 300 e 350°C. Para a preparação do biossorvente, foi determinado o pH de trabalho (pH=5) a partir do Ponto de Carga Zero e realizada a análise termogravimétrica (TGA) para identificação das melhores temperaturas de obtenção dos carvões. Foram realizadas análises de microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia de infravermelho para caracterizar os carvões e identificar os grupos funcionais presentes. Por fim, foram realizados o estudo cinético e a avaliação da adsorção do teor de chumbo por espectrofotometria de absorção atômica de chama e ajustes aos modelos de isotermas de biossorção de Freundlich e Langmuir. Os carvões preparados nas temperaturas de 250, 300 e 350°C apresentaram excelentes resultados de biossorção com 100% de remoção de chumbo em pH 5, e os demais carvões apresentaram remoção acima de 90% para todos os pHs. O modelo que melhor descreveu o comportamento dos dados experimentais para as isotermas de biossorção foi o de Freundlich que obteve valores de R^2 de 0,9920; 0,9451; 0,945; 0,9771 para as temperaturas de 200, 250, 300 e 350°C, respectivamente. Dessa forma, foi possível demonstrar que a utilização de biossorção com carvões preparados a partir da casca da banana se apresenta como um processo de baixo custo e fácil aplicabilidade que possibilita a ampliação dos saberes sobre as práticas presentes no meio rural e o conhecimento químico.

Palavras chave: Biossorção, metais pesados, meio rural.

ABSTRACT

Efficiency Evaluation of activated carbon produced from the banana nanica peel (*Musa paradisíaca*) in the lead ions biosorption in water.

The constant increase in population, population density and climate change contradict the principle that water availability is abundant and unlimited. The efficient use of water can help to solve many problems related to scarcity and still guarantee continued agricultural production. This study aimed to verify the banana nanica (*Musa paradisíaca*) peel efficiency in the lead ions biosorption in water, providing a low cost and effective method for water reuse. There are numerous water and waste treatment techniques available that can be used successfully; however, the acquiring equipment and supplies cost and the high maintenance of these systems makes their implementation in rural areas unfeasible. Thus, this project execution enabled the development of an alternative solution for the water contaminated with heavy metals treatment, in particular, lead, resulting from the ore extractive activities and agriculture, from the banana peels use. For that purpose, atomic adsorption techniques (biosorption) were utilized using coals prepared from the banana nanica peels. These were dried in an oven with air recirculation at 60 °C for 96 h, crushed in a commercial blender and sieved to obtain a fraction composed of microparticles up to 500 µm. Then the coals were obtained by calcination 200, 250, 300 and 350 ° C. For the biosorbent preparation, the working pH (pH = 5) was determined from the Zero Charge Point and thermogravimetric analysis (TGA) was performed to identify the best temperatures for obtaining the coals. Scanning electron microscopy and infrared spectroscopy analyzes were performed to characterize the coals and identify the functional groups present. Finally, were performed the kinetic study and the evaluation of the lead content adsorption by flame atomic absorption spectrophotometry and adjustments to the Freundlich and Langmiur biosorption isotherm models. Coals prepared at 250, 300 and 350 °C showed excellent biosorption results with 100% lead removal at pH 5, and the other coals showed removal above 90% for all pHs. The model that best described the experimental data behavior for the biosorption isotherms was the Freundlich model, where R² values of 0.9920 were obtained; 0.9451; 0.945; 0.9771 for temperatures 200, 250, 300 and 350 °C, respectively. Thus, it was possible to demonstrate that the use of biosorption with coals prepared from the banana peel presents itself as a low-cost and easy-to-apply process that enables the knowledge expansion about practices in the rural environment and chemical knowledge.

Keywords: Biosorption, heavy metals, countryside.

1. INTRODUÇÃO

As questões ambientais vem sendo uma das grandes preocupações e interesse dos líderes mundiais nas últimas décadas. As pesquisas acerca dos impactos ambientais causados pela poluição na biosfera têm crescido cada vez mais, na busca pelo desenvolvimento de novas tecnologias limpas, a fim de diminuir a produção de resíduos. O descarte indevido dos mesmos tem causado grandes problemas para os gestores ambientais, principalmente com a poluição dos corpos d'água (ESPÍNDOLA, 2020).

Sendo a água um elemento essencial a vida, e de grande relevância social e econômica. A poluição dos corpos d'água vem sofrendo com a alteração de suas propriedades, levando a uma preocupação com futura escassez de água para atividades básicas de sobrevivência dos seres vivos. Com os avanços tecnológicos advindos das atividades industriais, diversos poluentes são lançados nos corpos d'água inadequadamente (DEMITI *et. al.*, 2019).

O maior desafio encontrado atualmente é a diminuição do lançamento desses poluentes e a busca por processos de descontaminação dos efluentes que contaminam os corpos d'água. Muitos poluentes já são conhecidos e possuem legislação com os limites máximos pré-determinados, como os metais pesados, mas existem outras substâncias consideradas de alto risco (tóxicas) que são encontradas nesses efluentes (DEMITI *et. al.*, 2019).

Essas substâncias são os poluentes emergentes, que são estudados e muitos deles possuem em sua constituição poluentes já conhecidos. A exemplo disso, têm os produtos fármacos, os agrotóxicos, os subprodutos da galvanoplastia e as indústrias têxteis, que são constituídos de diversos elementos químicos.

Uma alternativa que tem sido utilizada para remoção desses poluentes é a utilização de biomassa como; cascas de arroz, cascas de pequi, casca de coco, casca de banana, bagaço de cana e casca de amendoim, entre outros (ESPÍNDOLA, 2020). Essa biomassa é transformada em carvão ativado, e por possuírem alto teor de carbono são excelentes bioissorventes no processo de adsorção. Que consiste na acumulação ou aumento da concentração de uma determinada substância sobre uma superfície de um outro composto (PERIC *et. al.*, 2004).

Diante disso, este estudo avaliou o uso de carvão obtido a partir da casca de banana como material adsorvente para a remoção de chumbo (II) em água, proporcionando o

desenvolvimento de um método de baixo custo e eficaz para tratamento, visando o reuso de água.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Preparação do material adsorvente

O material adsorvente foi preparado a partir das cascas da Banana Nanica (*Musa Paradisiaca*) que foram doadas pela Cooperativa de Produtores de Banana de Rio Verde – GO, o preparo do material foi realizado no laboratório de Química de Materiais Energéticos, Renováveis e Reaproveitáveis (QUIMERA) e no laboratório de Tecnologia de Leite e Derivados.

As bananas foram previamente higienizadas, descascadas e as cascas foram separadas para o preparo das amostras. Em seguida foi realizada a pesagem das cascas *in natura* e a secagem por 96 h a 60°C em estufa de recirculação de ar. A Figura 1 mostra as etapas do preparo inicial do material adsorvente.

Figura 2 - Etapas de preparação do material adsorvente, pesagem das cascas de banana *in natura*, secagem e trituração.



Fonte: autora

Após a secagem, as cascas foram novamente pesadas para calcular o Teor de umidade, que foi obtido a partir da equação 1:

$$%U = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100\%$$

Eq. 1

%U – Teor de umidade;

P₁ – Peso da amostra antes da secagem;

P₂ – Peso da amostra após secagem.

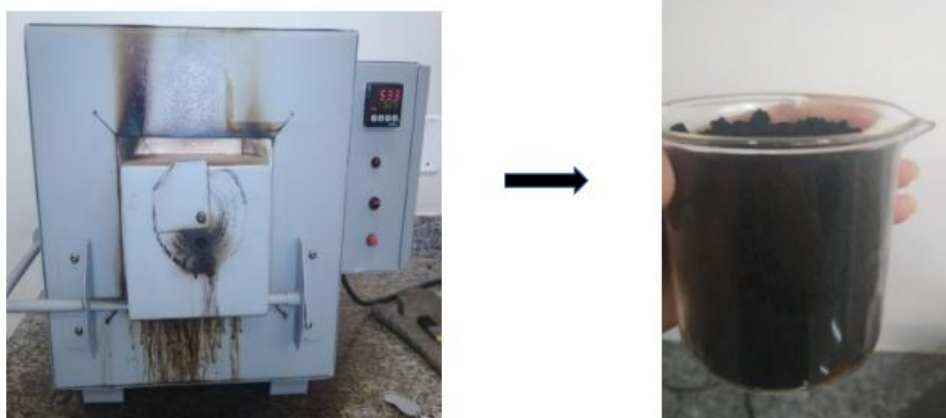
Após a secagem foi observado que as cascas apresentaram uma quantidade elevada de óleo, que impossibilitou sua trituração em moinho de facas, desse modo a trituração do material vegetal foi realizada em liquidificador comercial.

O material seco e triturado foi peneirado em peneira de 50 mesh para obtenção de uma fração composta de micropartículas de até 500 µm e em seguida foi calcinado para obtenção dos carvões.

2.2. Preparo dos carvões

Os carvões foram obtidos a partir da calcinação das cascas das bananas, previamente secas e moídas, nas temperaturas de 200, 250, 300 e 350°C e em seguida foram ativados por choque térmico, segundo metodologia de Boniolo (2008). Inicialmente, os cadinhos de porcelana foram higienizados e levados à mufla, que já se encontrava nas temperaturas determinadas para cada calcinação (200, 250, 300 e 350°C). A figura 3 apresenta a mufla utilizada para calcinação e um dos carvões ao fim do processo. A cada 30 minutos foi realizada a pesagem até que os cadinhos atingissem massa constante, em seguida foram adicionados 50g do material adsorvente (farinha da casca da banana) previamente preparado.

Figura 3 - Calcinação das cascas de banana para obtenção de carvão.



Fonte: autora

Após três horas de calcinação nas temperaturas supracitadas, os carvões foram novamente pesados e foi calculado o teor umidade para cada temperatura de calcinação,

através da equação 1 (seção 2.1), e o teor de cinzas foi calculado a partir da equação 2, apenas para o carvão calcinado na temperatura de 350°C, sem ajuste de pH.

$$\%Cinzas = \frac{\text{massa após calcinação } (m_2)}{\text{massa inicial da amostra } (m_1)} \times 100$$

Eq. 2

O processo de ativação dos carvões foi efetuado na temperatura final de 500°C em mufla, com rampa de aquecimento de 10°C.min⁻¹, durante 60 minutos (tempo de residência na temperatura final) com fluxo de 150 mL.min⁻¹ de CO₂. O gás foi adicionado por meio de uma mangueira metálica em uma pequena entrada superior da mufla, para que não houvesse combustão dentro da mesma e se manteve a porta principal da mufla entreaberta com aproximadamente 1 cm de abertura, para não afetar a temperatura interior. Foi utilizado aproximadamente 1g de carvão vegetal precursor em cada cadinho de porcelana, sendo ativados sete cadinhos por vez, para obtenção de quantidade suficiente de carvão ativado para realização das análises.

Para todas as amostras de carvão obtidas foram realizados os ajustes de pH para encontrar o ponto de carga zero (PCZ), com posterior filtragem e secagem dos carvões, como mostrado a Figura 4. Este parâmetro destaca pelo fato de prever a carga na superfície do adsorvente em função do pH. Para encontrar e analisar o ponto de carga zero foi utilizada metodologia adaptada de Zanella (2012).

Figura 4 - Ajuste do pH dos carvões utilizando NaOH e HCl, seguida de filtragem e secagem dos carvões.



Fonte: autora

A metodologia consistiu em adicionar 3 g do material bioadsorvente em 50 mL de água destilada e variar o pH a cada unidade entre 2 e 12, pela adição de NaOH ou HCl ($0,1 \text{ mol.L}^{-1}$) em triplicata. A suspensão foi mantida em temperatura ambiente, durante 24 h sob agitação de 100 rpm, em banho termostático. Após este período, as soluções foram filtradas e foi determinado novamente o valor do pH de cada suspensão. O PCZ foi determinado graficamente plotando a variação de $\text{pH}_{\text{final}} \times \text{pH}_{\text{inicial}}$ e determinando o coeficiente angular (PCZ).

2.3. Análise Termogravimétrica (TGA)

A realização da análise termogravimétrica para o material precursor é necessária para avaliar em qual temperatura ocorre a degradação máxima de compostos. Esta análise foi realizada no laboratório de Análise Térmica, na Universidade Estadual de Goiás (UEG) – Campus – Anápolis, onde a massa da amostra foi medida em função da variação da temperatura a cada 10°C e do tempo a cada 15 minutos em aquecimento constante com fluxo de gás inerte (N_2), com velocidade de aquecimento constante. O equipamento utilizado foi o PYRIS 1 TGA, serial 537L08091284, com software versão: 1.1.1.0497.

2.4. Análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Neste ensaio foram analisadas as amostras dos carvões de $\text{pH} = 5$ nas temperaturas de 200, 250, 300 e 350°C . Foram utilizados 3 g de cada amostra de material adsorvente, fixadas em suporte de aço inoxidável, com o auxílio de fita de carbono dupla face e analisadas com aproximações de 250, 500 e 1000 vezes. As análises foram realizadas no Centro Regional para o Desenvolvimento Tecnológico (CRTI) da Universidade Federal de Goiás – Campus Samambaia, utilizando o equipamento o HV/LV TUNGSTEN/LAB6 SEMS; JSM-IT200; AccV/5.0; Mag/1000; Format/JEOL/MP; Detector/SED; WD/12.7; PC/30.0; Vac/HV; SRT/0; Time/0.5.

2.5. Análise de Espectroscopia de infravermelho (IR)

A identificação dos principais grupos funcionais presentes na superfície do material adsorvente foi realizada por Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR). As análises foram realizadas na Central Analítica do Instituto Federal Goiano – Campus – Rio Verde, onde foram utilizadas 3 g do material adsorvente de todas as amostras de $\text{pH} = 2$ ao $\text{pH} = 12$ antes e após a bioadsorção, em

condições ambientes de temperatura, os comprimentos de onda analisados foram de 650 a 4000 cm^{-1} , e o aparelho utilizado foi o FRONTIER 90944, Perkin Elmer.

2.6. Cinética de Biossorção - Análise de Espectroscopia de absorção atômica de chama (FAAS)

As análises foram realizadas no Laboratório de Química Agrícola do IF Goiano – Campus Rio Verde, por meio da determinação das concentrações de chumbo a partir de espectrofotometria de absorção atômica de chama em espectrofotômetro da SHIMADZU modelo AA 6300. Os parâmetros instrumentais utilizados para a análise do chumbo seguiram as recomendações do fabricante: comprimento de onda do chumbo 217 nm, chama (gás) ar-acetileno, corrente da lâmpada 10 W, slite width de 2,7 mm e vazão ar/acetileno 10,00/2,5 $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$. Foram utilizados 3 g do material biossorvente de cada amostra dos carvões (pH de 2 a 12) calcinados nas temperaturas de 200, 250, 300 e 350°C, adicionados a solução aquosa de chumbo de concentração de 1 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, sob agitação de 600 rpm. As alíquotas foram coletadas a cada 15 minutos até completar 180 minutos para a determinação da concentração de chumbo nas amostras. Para a análise do FAAS foi preparada solução estoque de 100 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de chumbo, que foram preparadas pela diluição da solução padrão de 1000 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Em seguida, retirou-se uma alíquota de 5 mL da solução padrão (1000 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) e transferiu para um balão de 50 mL completando o volume do balão com água mili q. Construiu-se a curva de calibração com solução padrão de 1 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 2 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 3 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 4 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e 5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, metodologia adaptada de Mesquita (2014).

A quantidade de chumbo adsorvido (q), em $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, foi calculada pela Equação 3 (Silva, 2014):

$$q = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{m}$$

Eq. 3

Em que, C_0 e C_e correspondem a concentração do íon chumbo inicial e no equilíbrio ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) respectivamente; V é o volume da solução aquosa em (L) e m é a quantidade de biossorvente usado em (g).

2.7. Isotermas de Adsorção

A metodologia utilizada para a construção das isotermas de adsorção foi realizada a partir da metodologia de Silva (2014) e, foram utilizados 0,050 g do material adsorvente

com pH 5, calcinados nas temperaturas de 200, 250, 300 e 350°C, em 25 mL de solução aquosa contendo chumbo em diferentes concentrações iniciais (0, 50, 100, 150, 300, 450, 600, 750, 900 e 1000 mg.L⁻¹).

As amostras foram levadas a banho-Maria (30°C), sob agitação de 120 rpm, durante 3 h. Em seguida as amostras foram levadas a centrifuga de 6000 rpm, durante 10 min. A quantidade residual de chumbo foi realizada a partir da coleta do sobrenadante e analisada por absorção atômica. Finalizando com o ajuste dos modelos de Langmuir e Freundlich de acordo com as Equações 4 e 5 (Silva, 2014), respectivamente:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{m\acute{a}x}b} + \frac{C_e}{q_{m\acute{a}x}}$$

Eq. 4

em que;

C_e = Concentração inicial

q_e = corresponde as quantidades biossorvidas (mg.g⁻¹) pelo material no equilíbrio;

$q_{m\acute{a}x}$ = capacidade máxima de adsorção (mg.g⁻¹);

b = é a constante de biossorção (L.mg⁻¹).

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e$$

Eq. 5

C_e = Concentração inicial;

q_e = corresponde as quantidades biossorvidas (mg.g⁻¹) pelo material no equilíbrio;

K_F = constante da isoterma de Freundlich para a capacidade de biossorção;

$1/n$ = constante da isoterma de Freundlich para a capacidade de intensidade de biossorção.

2.8. Análise Estatística

O ajuste das estatístico foi realizado de acordo aos modelos físico-químicos de adsorção, de Freundlich e Langmuir. As curvas foram ajustas aos modelos não lineares, pela metodologia dos mínimos quadrados e empregando o software R versão 3.0.2. O método aplicado foi o de Gauss-Newton por ser o mais utilizado, uma vez que a linearização das equações induz a erros na análise de regressão, portanto, também nos parâmetros estimados dos modelos de isoterma. O critério de ajuste foi o coeficiente de determinação (R^2), que é uma medida estatística, conhecida como coeficiente de determinação, ao qual demonstra a proximidade dos dados à linha de regressão.

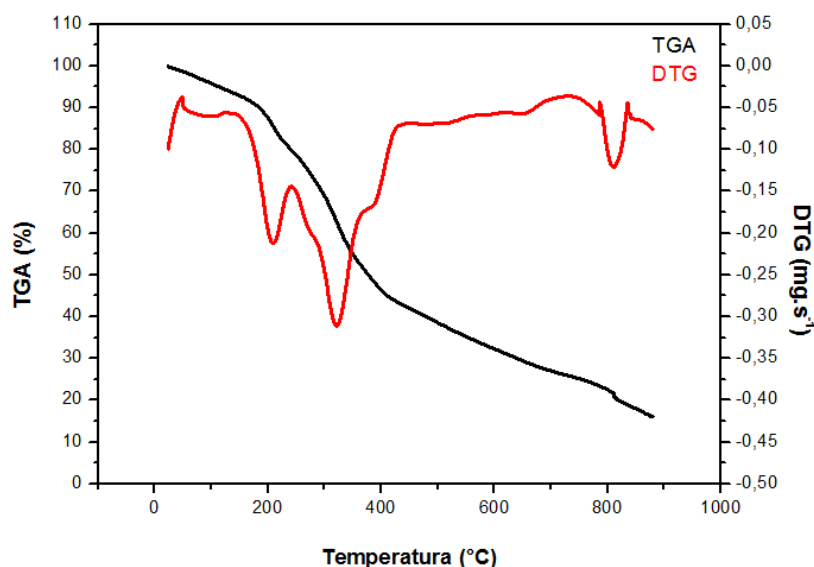
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise Termogravimétrica (TGA)

A análise termogravimétrica da amostra de farinha seca da casca de banana nanica é apresentada na figura 5 e demonstrou a ocorrência de três estágios principais de degradação em função da temperatura.

É possível observar o primeiro estágio entre 0 e 150°C, com perda de 12% de massa, que é referente à perda de umidade; o segundo estágio ocorre entre 170 e 350°C, com aproximadamente 36 % de perda em massa, que se relaciona à degradação de celulose, hemicelulose e parte da lignina e em temperaturas acima de 360°C se observa o processo referente à degradação do restante de lignina.

Figura 5 - Análise termogravimétrica (TGA) das cascas de banana musa paradisíaca e Derivada Termogravimétrica (DTG)



Fonte: autora

Segundo Martins e colaboradores (2015) os resíduos agroindustriais de casca de banana, ao serem caracterizados termogravimetricamente apresentaram três eventos principais: o primeiro correspondendo a perda de massa (perda da água) no intervalo de temperatura entre 0 e 190°C; já o segundo evento acontece à degradação da hemicelulose e celulose, e parte da lignina, nas temperaturas de 190°C a 350°C. E o terceiro evento está relacionado com a perda de massa e o restante da lignina com temperatura superior a 350°C, em que ocorre a quebra das ligações C - O e C - C, e a liberação de CO e CO₂.

Analisando a curva TG/DTG (Termogravimetria Diferencial – Figura 4) foi possível observar os eventos térmicos ligados às perdas de massa com um evento

endotérmico entre 25°C e 50°C, em que começa a perda de água de umidade. No evento térmico a partir de 50°C nota-se eventos tipicamente exotérmicos, que acarretará na perda total da água do bioissorvente, e a partir dos 400°C ocorre a decomposição térmica do material. Os resultados encontrados se assemelham aos de MARTINS *et al.*, (2015), que encontrou decomposição térmica também a partir de 400°C, ao analisar cascas de espécies diferentes de banana como bioissorvente.

Os resultados obtidos neste ensaio são muito próximos aos resultados obtidos por Boniolo (2016) que também obteve decomposição térmica de seu material a partir de 350°C, o mesmo avaliou o potencial da casca de banana para a remoção de urânio em águas de drenagem ácida de minas e utilizou a análise termogravimétrica para caracterizar a casca de banana. A degradação de celulose em seu estudo ocorre a partir de 120°C, já neste trabalho a degradação da celulose só ocorre a partir de 170°C, que proporciona vantagem em função da perda de massa do bioissorvente, que será menor quando comparada com a observada por Boniolo.

3.2. Teor de cinzas e teor de umidade

As cinzas são substâncias inorgânicas como óxidos, fosfatos, sulfatos e carbonatos de potássio, sódio, cálcio, ferro, entre outros. No processo de adsorção as cinzas interferem diretamente os sítios ativos, além disso a presença de cinzas pode alterar o pH da solução e contaminá-la com sais (LOPES *et al.*, 2013).

Os resultados obtidos para teor de cinzas estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3 - Teor de cinzas para o carvão calcinado a 350°C sem ajuste de pH.

Carvão ativado em gramas (g)	Teor de cinzas (%)
1,0	8,2
2,0	9,0
3,0	10,5
4,0	12,2
5,0	12,7

Fonte: autora

O teor de cinzas é um indicador da qualidade do carvão e em geral, a porcentagem de teor de cinzas do carvão ativado comercial é de 15% (RAMOS *et al.*, 2009). A obtenção de baixo teor de cinzas, menor que 13%, se apresenta como bom resultado, visto que a matéria mineral (cálcio, fósforo, etc.), pelo caráter hidrofílico, que ajuda na adsorção de água, concorrendo com outros componentes que são de interesse (MACÊDO, 2012).

O teor de umidade das amostras de carvão ativado ocorre da combinação entre umidade superficial e a essencial ao produto. A umidade pode ocorrer durante as etapas o processo de produção, transporte ou armazenamento do carvão. Os resultados mostram que os carvões ativados da banana nanica (musa paradisíaca) empregados no trabalho possuem teores de umidade descritos na tabela 4, calculados a partir da equação 1 da seção 2.1. Estes valores são considerados baixos, não interferindo apreciavelmente na massa de carvão.

Tabela 4 - Teor de umidade para os carvões calcinados em 200, 250, 300 e 350°C.

Temperatura de Calcinação dos carvões em °C	Teor de umidade (%)
200	0,87
250	0,73
300	0,56
350	0,52

Fonte: autora

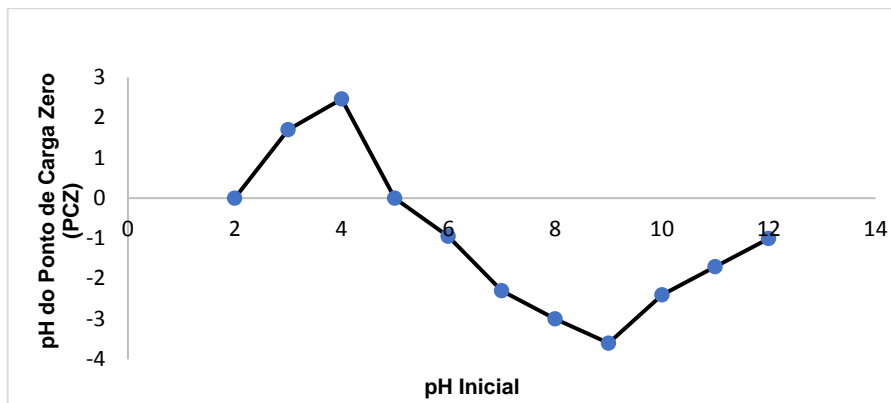
3.3. Ponto de Carga Zero

Os processos de biossorção são correlacionados diretamente ao pH, que acarreta a carga superficial do adsorvente, e o grau de ionização e as diferentes naturezas dos adsorvatos (CASQUEIRA *et al.*, 2016). Dessa forma, torna-se essencial a investigação da eficiência da adsorção do chumbo em uma ampla faixa de pH, bem como a determinação do ponto de carga zero do adsorvente. O ponto de carga zero para o carvão obtido a partir da casca de banana é mostrado na Figura 5. O ponto de carga zero foi calculado com base na variação entre o pH_{final} e o pH_{inicial} .

De acordo com o estudo do pH (Figura 6), o ponto de carga zero para o carvão ativado da casca de banana se encontra em $pH = 5,0$, indicando que abaixo desse valor o material adsorvente apresenta carga superficial positiva, que favorece a adsorção de

ânions e acima de $\text{pH} = 5,0$ a superfície se encontra carregada de íons negativos, favorecendo a adsorção de cátions.

Figura 6 - Gráfico do ΔpH x $\text{pH}_{\text{Inicial}}$ dos carvões da casca de banana.



Fonte: autora

O pH da solução exerce papel importante no processo uma vez que influencia na carga da superfície do adsorvente e conseqüentemente na intensidade das interações eletrostáticas entre a superfície e as moléculas do metal (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

Desse modo, neste estudo serão apresentados os resultados obtidos em $\text{pH} = 5$ e em um pH abaixo e outro acima para fins de comparação entre os resultados obtidos em diferentes pHs.

3.4. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

O MEV é um dos instrumentos mais versáteis utilizados para a análise de propriedades microestruturais de materiais sólidos, ao qual se utiliza um feixe de elétrons no lugar de fótons, que comumente é utilizado em um microscópio óptico, permitindo sanar o problema de resolução no que se refere a fonte de luz branca (DEDAVID *et al.*, 2007).

As micrografias foram obtidas para as amostras geradas no processo com ativação térmica, antes da biossorção. A ampliação das imagens demonstra que os carvões possuem uma superfície irregular, com bastante percepção de poros (figura 7, que apresentam as imagens de microscopia de varredura). Os carvões calcinados nas temperaturas de 300 e 350°C (e, f, g e h) possuem poros mais definidos e em maior quantidade comparados aos de 200 e 250°C (a, b, c e d), que apresentam poros em menor quantidade e também em menor profundidade.

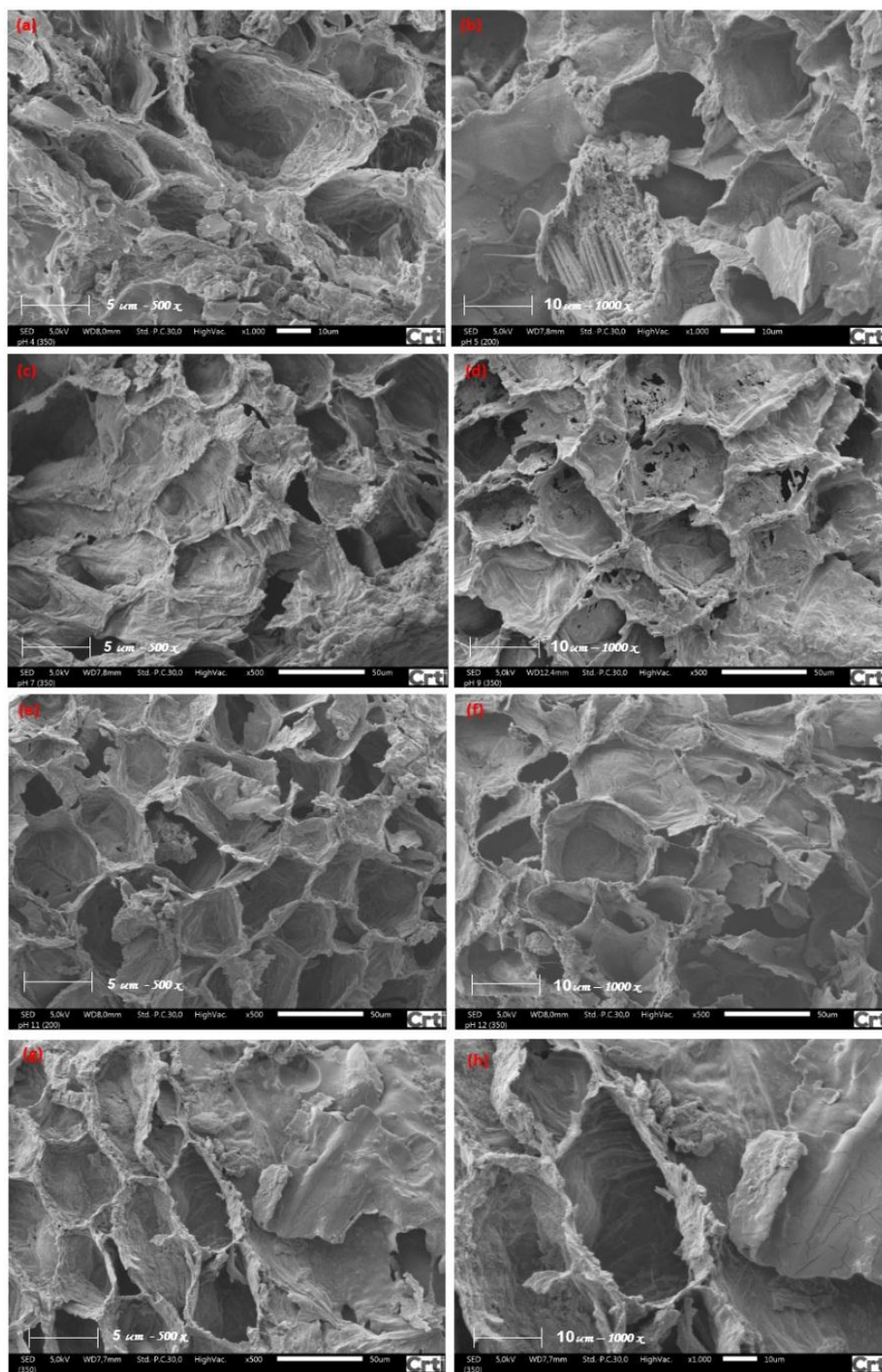
É possível notar uma diferença da morfologia dos materiais em função da variação do pH. Quando comparadas as micrografias obtidas em pH 5 e as obtidas nos pHs 2 e 9, observa-se aumento da quantidade de poros pela agressividade do pH mais ácido ou básico.

Outro fator que pode ser discutido é a promoção de rupturas de ligações aril-éter, formando ésteres pela ligação com os grupos hidroxila da lignina na superfície do material precursor do carvão ativado. Segundo Bugiereck *et. al.*, 2014, estas reações provocam distanciamento das cadeias e promovem o crescimento da estrutura e o remanejamento dos carbonos restantes, acarretando a polimerização dos grupos fosfatos com isso, o aumento de temperatura, aumentará também o volume de mesoporos.

Nos resultados dos carvões analisados de pH = 5, percebe-se que cerca de 80% da porosidade são de microporos para a ampliação utilizada de 500 vezes. Mesmo possuindo muitos microporos, a área que ocupam é menor que dos mesoporos, pois suas dimensões são bem maiores que os microporos.

Na ativação térmica do material adsorvente ocorre modificações em sua estrutura, promovendo a formação de poros com pequenas cavidades, por conta da evaporação dos constituintes voláteis que ocupavam os sulcos celulósicos no precursor (COSTA *et al.*, 2015).

Figura 7 - Imagens da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos carvões obtidos para a casca de banana nanica de pH = 5 nas temperaturas de 200°C (a, b), 250°C (c, d), 300°C (e, f) e 350°C (g, h), com ampliação de 500 vezes (a, c, e, g) e 1000 vezes (b, d, f, h).



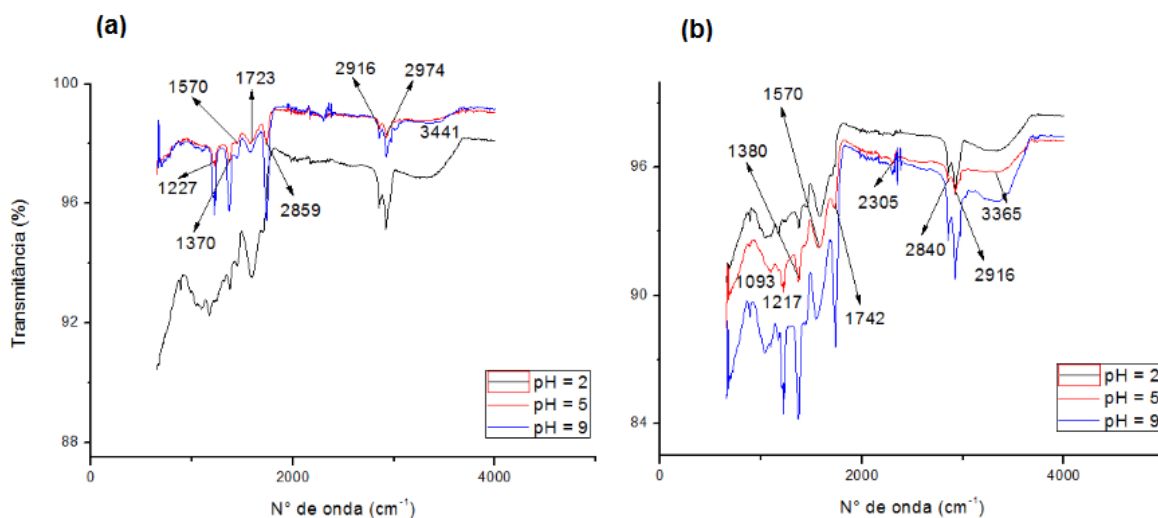
Fonte: autora

Dessa forma, é provável que nos carvões em pH 5 a matriz se apresente em estado expandido com a estrutura de poros disponíveis para os fenômenos de adsorção.

3.5. Análise de Espectroscopia de infravermelho (FTIR)

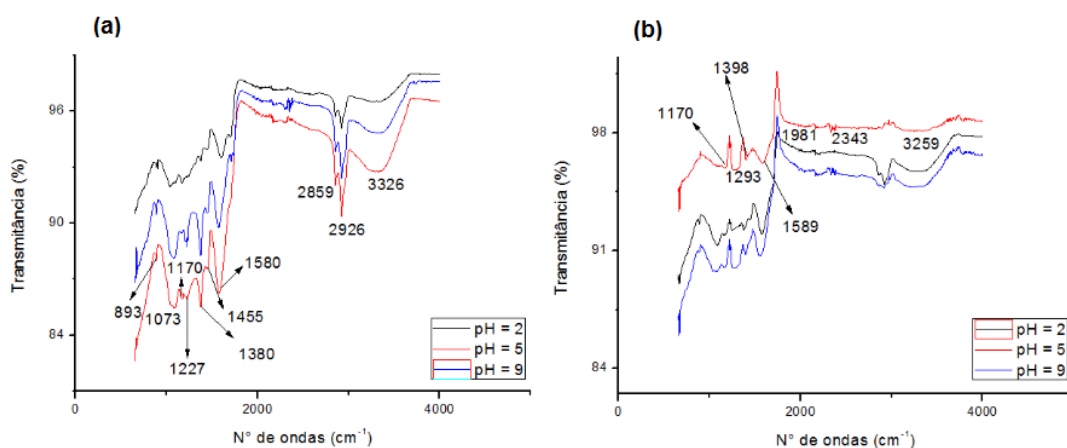
Os espectros de infravermelho obtidos para os carvões preparados nas temperaturas 200, 250, 300 e 350°C antes e após a bioissorção dos íons chumbo são apresentados nas figuras de 8 a 11.

Figura 8 - Espectros da FTIR de carvão ativado da casca da banana (200°C) antes (a) e após (b) bioissorção de chumbo.



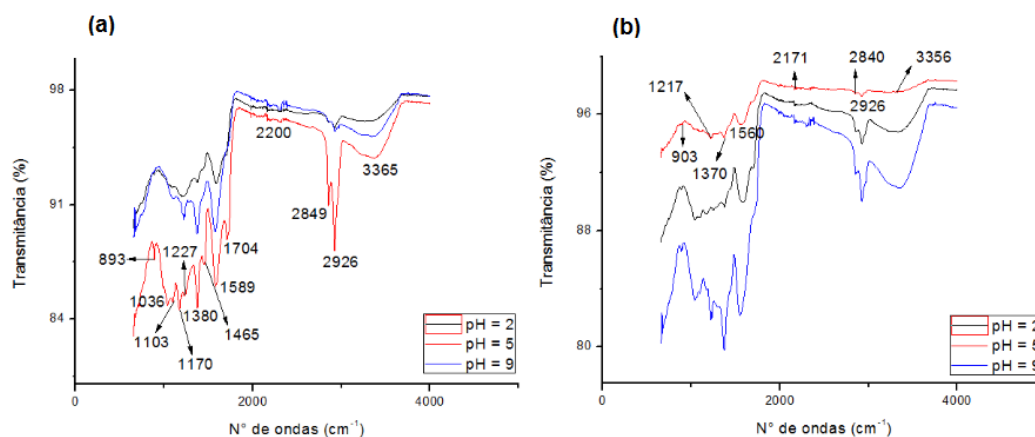
Fonte: autora

Figura 9 - Espectros da FTIR de carvão ativado da casca da banana (250°C) antes (a) e após (b) bioissorção de chumbo.



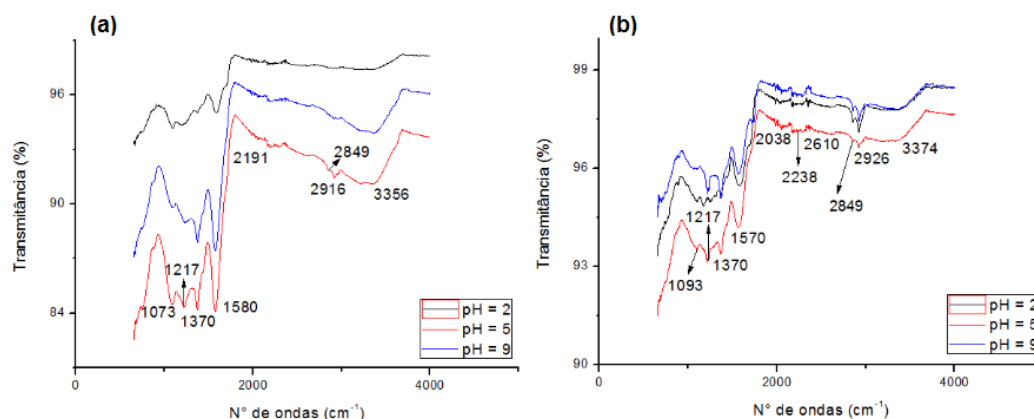
Fonte: autora

Figura 10 - Espectros da FTIR de carvão ativado da casca da banana (300°C) antes (a) e após (b) biossorção de chumbo.



Fonte: autora

Figura 11 - Espectros da FTIR de carvão ativado da casca da banana (350°C) antes (a) e após (b) biossorção de chumbo.



Fonte: autora

Através dos espectros de infravermelho foi possível identificar os grupos funcionais presentes na amostra precursora, bem como a formação de novos grupos funcionais e a não observação de outros pela ocupação de sítios de adsorção, no carvão ativado antes e após a biossorção do chumbo. As identificações dos grupos funcionais são importantes, pois influenciam diretamente no comportamento de adsorção.

A banda em torno de 1061 cm^{-1} é atribuída a presença de lignina e hemicelulose, a celulose apresenta bandas de transmitância em torno de 1628 cm^{-1} e 1632 cm^{-1} referentes às moléculas de hidroxila da água. Os grupos CH-OH, -CH e -CH₂ são identificados pelas bandas na região de 2967 a 2843 cm^{-1} , esses grupos estão presentes nas estruturas da celulose, caracterizados como grupos alifáticos (BEHLING, 2017).

As principais bandas para lignina ocorrem em torno de 3500 cm^{-1} , 1740 cm^{-1} e 1600 cm^{-1} , nas amostras analisadas dos adsorventes produzidos, bem como no material

precursor, foi possível identificar a presença dessas bandas relacionadas aos sítios de adsorção, nas figuras 8, 9, 10 e 11 pode-se identificar a lignina nas bandas 1580 cm^{-1} e 1589 cm^{-1} .

A análise espectral revelou que muitos grupos funcionais observados especialmente nas posições de banda de 3350, 3359, 3370, 2922, 2845, 1729, 1539, 1558, 1576, 1366, 1224, 1212, 1080, 1050 e 1034 cm^{-1} podem contribuir com a biossorção de metais pesados. Esses picos correspondem aos grupos funcionais - OH, - CH, C=O e C-O encontrados em todos os espectros dos carvões antes da biossorção (BEHLING, 2017).

Após a biossorção ocorreram algumas alterações nos espectros apresentando novos picos correlacionados a adsorção do chumbo, que ocorre principalmente nos grupos funcionais hidroxílicos (OH) e os carboxílicos (-COOH) da matéria orgânica, nos espectros acima, pode-se observar os picos para o OH em 2926, 2840, 2844 e 2610 cm^{-1} , para o -COOH observam os picos em 3259, 3356, 3365 e 3374 cm^{-1} . O oxigênios presentes nos grupos funcionais se ligam aos íons do chumbo a partir do par de elétrons livres, formando complexos de coordenação (BEHLING, 2017),

Os grupos carboxílicos promovem o processo de adsorção, especialmente se o pH estiver em uma faixa que beneficia a desprotonação destes grupos (BEHLING, 2017), como nos carvões de pH 5. Os carvões de banana nanica apresentam considerável quantidade de grupos suscetíveis de atividade em processos de adsorção, até mesmo em valores de pH baixos. Esta ocorrência é de grande importância, já que as soluções de Pb^{+2} exibem caráter mais ácido, que eleva ainda mais com a sua concentração, segundo Bueno *et.al*, 2009, (na faixa de concentração estudada neste trabalho, os valores originais de pH variaram de 5,6 a 5,0).

A metodologia de ativação influencia diretamente as características de adsorção de cátions metálicos pelo carvão. Quando há grande capacidade de adsorção, inicialmente pode ser remetida à característica ácido dos grupos funcionais da superfície do biomaterial, que irá perder prótons em pH ácido a neutro assim, permitem a ligação de cátions metálicos. Contudo, muitos modelos de adsorção são utilizados para apresentar a capacidade e as propriedades de sorção dos biossorventes, entre eles, a troca iônica e a complexação (BUENO *et. al.*, 2009).

3.6. Cinética de biossorção - Efeitos do tempo de contato com o biossorbente, temperatura de carbonização e pH

Para realizar a cinética de biossorção dos carvões, utilizou-se a metodologia descrita no item 2.7 por absorção atômica. A concentração de íons chumbo em solução foi analisada a cada 15 minutos, para as amostras obtidas em pH 2, 5 e 9, por um período total de 3 horas. Os valores de concentrações obtidos são apresentados nas tabelas de 5 a 7 e foram calculados a partir da equação 2 do item 2.7.

Tabela 5 - Concentração (mg.g-1) de íons chumbo em solução durante processo de biossorção para os carvões obtidos em pH = 2.

	200°C	250°C	300°C	350°C
0 min.	331,21	331,21	331,21	331,21
15 min.	7,27	3,48	3,21	3,67
30 min.	6,58	3,45	2,98	3,21
45 min.	5,96	2,45	2,62	2,97
60 min.	5,53	2,2	2,23	2,61
75 min.	4,79	1,72	1,96	2,09
90 min.	4,9	1,38	1,44	1,63
105 min.	3,73	0,85	0,93	1,08
120 min.	2,44	0,63	0,65	0,85
135 min.	2,11	0,41	0,53	0,56
150 min.	1,65	0,39	0,37	0,4
165 min.	0,93	0,21	0,25	0,24
180 min.	0,66	0,18	0,14	0,16

Fonte: autora

Tabela 5 - Concentração (mg.g-1) de íons chumbo em solução durante processo de biossorção para os carvões obtidos em pH = 5.

Tempo	200°C	250°C	300°C	350°C
0 min.	331,21	331,21	331,21	331,21
15 min.	4,84	4,31	4,2	3,09
30 min.	4,09	3,11	3,31	2,72
45 min.	3,57	2,23	3,11	2,41
60 min.	2,83	1,83	2,82	1,98

75 min.	2,29	1,54	2,36	1,56
90 min.	1,74	1,19	1,63	1,23
105 min.	1,23	0,81	1,17	0,96
120 min.	0,81	0,67	0,96	0,63
135 min.	0,59	0,41	0,64	0,42
150 min.	0,37	0,29	0,22	0,23
165 min.	0,22	0,0	0,0	0,0
180 min.	0,11	0,0	0,0	0,0

Fonte: autora

Tabela 6 - Concentração (mg.g-1) de íons chumbo em solução durante processo de bioissorção para os carvões obtidos em pH = 9.

Tempo	200°C	250°C	300°C	350°C
0 min.	331,21	331,21	331,21	331,21
15 min.	6,11	3,18	2,58	3,33
30 min.	5,93	2,96	2,5	2,89
45 min.	5,35	2,34	2,08	2,47
60 min.	4,9	1,97	1,63	2,06
75 min.	4,35	1,63	1,35	1,6
90 min.	3,87	1,4	1,02	1,28
105 min.	3,58	0,97	0,8	0,99
120 min.	2,68	0,78	0,61	0,63
135 min.	1,29	0,64	0,41	0,52
150 min.	0,98	0,39	0,25	0,34
165 min.	0,5	0,28	0,21	0,23
180 min.	0,16	0,14	0,17	0,08

Fonte: autora

A remoção máxima do chumbo foi obtida para pH 5 (Tabela 6), os carvões ativados obtidos a 250, 300 e 350°C obtiveram remoção total dos íons chumbo após 165 minutos de processo bioissorção. A solução tratada com o carvão obtido a 200°C, após 165 e 180 minutos de equilíbrio de adsorção, apresentou concentrações muito baixas de íons chumbo (0,22 mg.g⁻¹ e 0,11 mg.g⁻¹, respectivamente) comparadas a concentração inicial (331,21 mg.g⁻¹), dessa forma, obteve-se porcentagem de remoção de 99,93% em 165 minutos e de 99,96%, após 180 minutos de equilíbrio de adsorção.

Para os carvões obtidos em pH 2 (tabela 5) e pH 9 (tabela 7) pode-se perceber que mesmo não ocorrendo a remoção total do íons chumbo, as concentrações finais nas amostras de água, foram muito pequenas, apresentando porcentagens de remoção entre 99,83 e 99,98% para todas as temperaturas de preparo.

Estes percentuais de remoção demonstram que os materiais obtidos neste trabalho se apresentam como excelentes materiais adsorptivos para os íons chumbo, quando comparado ao trabalho de bioissorção de íons de metais pesados por biomassa mesocarpo

de coco verde quimicamente modificada de Fernandes (2016), apresentou melhores resultados de biossorção, já que o referido autor obteve remoção de 73,3% de chumbo.

Outros estudos como o de Boniolo (2016) que avaliou a remoção de metais pesados (chumbo, cobre, urânio e zinco) em águas residuárias e obteve remoção de metais pesados de 82% e 86%, respectivamente, e representa excelente taxa de remoção. Dessa forma, a remoção de 100% dos íons chumbo obtida neste trabalho demonstra o grande potencial da ativação física realizada termicamente, para ativação dos carvões e a relevância da carbonização em diferentes temperaturas.

O que normalmente é observado em processos adsorptivos de cátions metálicos, em altos valores de pH, são as forças repulsivas entre os íons hidrogênio e íons metálicos diminuírem e ocorrer o aumento da remoção de íons do metal pesado pelo biossorvente (MIMURA *et. al.*, 2010).

Neste trabalho, foi observado que o material preparado em pH 5 proporcionou 100% de remoção dos íons chumbo, o que pode estar relacionado com a menor disponibilidade de íons H^+ para ocuparem os sítios de adsorção, pelo ligeiro aumento do pH, disponibilizando sítios adsorptivos para os íons metálicos. Além disso, a ativação do carvão por processo físico e não químico, preserva a estrutura química dos sítios adsorptivos, evitando desativação de grupos funcionais capazes de promover a adsorção.

Por outro lado, em valores mais baixos de pH, os íons hidrogênio podem inibir competitivamente a ligação de cátions metálicos nos locais funcionais do biossorvente (MIMURA *et. al.*, 2010).

Analisando o efeito do tempo de equilíbrio na biossorção de íons chumbo foi possível verificar que o tempo de contato de 150 minutos foi suficiente para alcançar o equilíbrio da biossorção e após esse período, a quantidade de metal biossorvido não mudou significativamente com o tempo.

3.7. Isotermas de Adsorção

A isoterma de adsorção, é utilizada como base dos cálculos termodinâmicos, é um gráfico que fornece a quantidade adsorvida do material por massa do adsorvente, em função da concentração de equilíbrio (RUTHVEN, 1984).

A Tabela 8 apresenta os parâmetros termodinâmicos calculados para obtenção das Isotermas de Langmuir e Freundlich e os coeficientes de ajuste para adsorção do chumbo pelo carvão ativado.

Tabela 7 - Parâmetros termodinâmicos calculados para obtenção das Isotermas de Langmuir e Freundlich e coeficientes de ajuste para adsorção do chumbo pelo carvão ativado.

Modelo	Parâmetros	Temperatura (°C)			
		200	250	300	350
Langmuir	q_{\max}	252,37	17,49	14,64	8,11
	b	$1,11 \times 10^{-4}$	$9,18 \times 10^{-5}$	$9,29 \times 10^{-5}$	$1,20 \times 10^{-4}$
	R^2	0,528	0,656	0,650	0,468
Freundlich	a	0,054	0,002	0,002	0,002
	N	7,214	3,409	3,393	6,929
	R^2	0,992	0,945	0,931	0,977

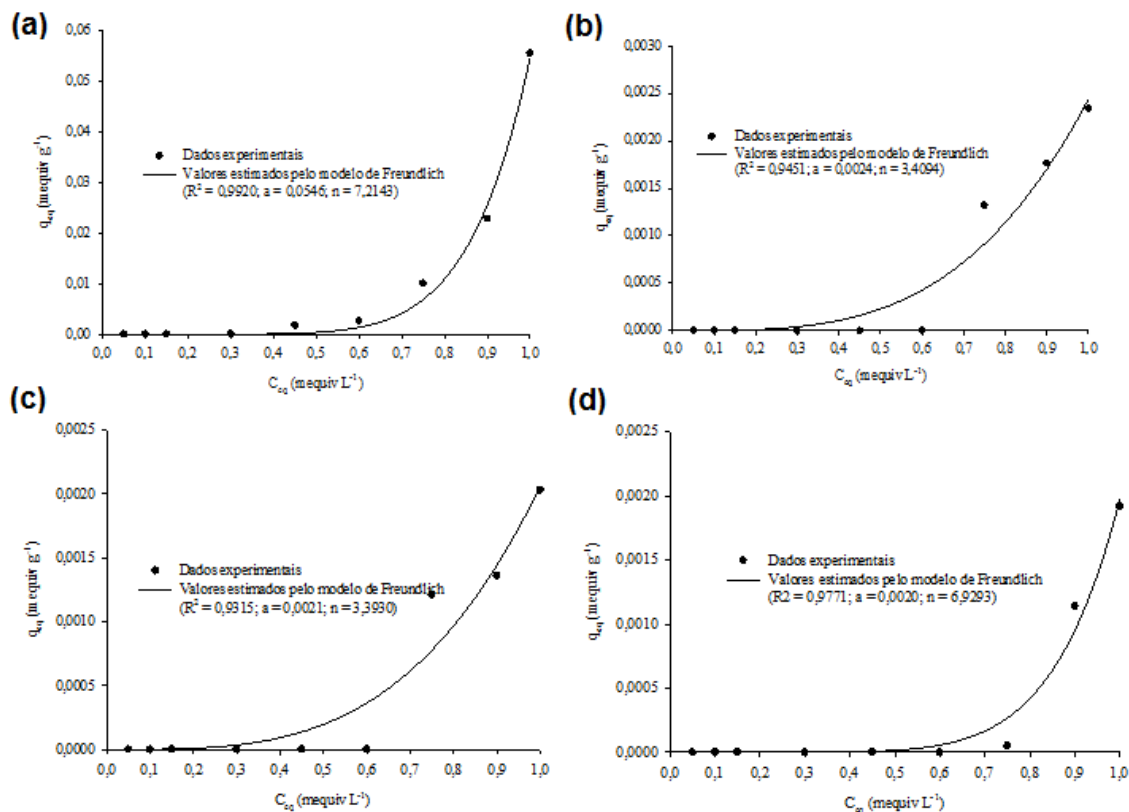
Fonte: autora

Analisando os parâmetros termodinâmicos obtidos para os dois modelos observa-se que a adsorção do Pb^{2+} se ajusta melhor para o modelo de Freundlich. Esse fato pode ser melhor avaliado analisando o valor do R^2 determinado para cada ajuste dos modelos a partir das equações do item 2.8. O coeficiente de correlação (R^2) indica o quanto os pontos obtidos se ajustam a reta, ou seja, valores de R^2 próximos ou iguais a 1 indicam que o modelo adotado descreve bem o processo de adsorção.

Considerando os valores de R^2 , as isotermas do Pb^{2+} não se ajustam ao modelo de Langmuir. O modelo de Freundlich apresentou R^2 igual a 0,992; 0,945; 0,945; 0,977 para as temperaturas de 200, 250, 300 e 350°C, respectivamente. Já para o modelo de Langmuir foram obtidos valores de R^2 considerados baixos para adequação ao modelo (0,528; 0,656; 0,656; 0,468 nas temperaturas de 200, 250, 300 e 350°C, respectivamente).

O melhor ajuste dos pontos experimentais ao modelo de Freundlich indica que a adsorção dos íons chumbo pelos carvões analisados foi crescente até determinada concentração (BUENO, 2009), considerada a concentração de equilíbrio, mas que tende a se estabilizar em determinado valor, e permite inferir que os carvões ativados da banana nanica *musa paradisíaca* se aproximaram de sua capacidade máxima em adsorver o metal. A Figura 12 apresenta os ajustes das isotermas de adsorção dos carvões estudados para o modelo de Freundlich.

Figura 12 - Ajuste das isotermas de adsorção do carvão de casca de banana obtido na temperatura de 200°C (a), 250°C (b), 300°C (c) e 350°C (d) e pH 5 ao modelo de Freundlich.



Fonte: autora

No modelo de Freundlich, é obtido o parâmetro N , que é importante na análise do processo de adsorção de metais pelos carvões ativados. A partir do parâmetro N , é possível saber se a sorção foi favorável ou não, considerando sorção favorável se $N > 1$ e desfavorável caso $N < 1$ (SILVA, 2014). Logo, analisando os valores de N obtidos (Tabela 5), nota-se que a sorção foi favorável, pelos valores de N serem maiores que 1 para os carvões preparados em todas as temperaturas de ativação.

As equações para o modelo de Freundlich que descrevem sistemas heterogêneos, são equações empíricas, bem como os sistemas de adsorção reversível, em que não ocorre nenhuma limitação a formação da monocamada. Já as isotermas de Langmuir são mais apropriadas aos processos de adsorção homogêneos (HEYLMANN, 2015).

A Isoterma de Freundlich é indicada para uso em sistemas heterogêneos em que ocorrem maior atração entre as moléculas adsorvidas. Desse modo, observando o valor de N acima de 1, pode-se afirmar que existe forte afinidade, pressupondo que a saturação do adsorvente ainda não ocorreu. Concluindo que quanto maior for a concentração inicial da solução, maior será sua capacidade de adsorção (HEYLMANN, 2015).

Dessa forma, os resultados evidenciados pelo modelo de Isoterma de Freundlich apresentaram boa descrição dos equilíbrios obtidos, os quais demonstram os maiores coeficientes de correlação.

4. CONCLUSÕES

O uso dos carvões ativados de cascas de banana nanica *musa paradisiaca* na remoção de chumbo em solução aquosa, obteve eficiência de remoção de 100% em pH de 5,0, e mais de 99% de remoção nos demais pHs, com melhor capacidade adsorviva quando preparado nas temperaturas de 250, 300 e 350°C, indicando a possibilidade do seu uso como bioissorvente alternativo em processos adsorvivos no tratamento de efluentes de chumbo, podendo posteriormente serem testados para os demais metais pesados.

Os resultados experimentais para as isotermas dos dois modelos (Langmuir e Freundlich) propostos demonstraram que apenas o modelo de Freundlich apresentou alta capacidade de adsorção e baixa intensidade. O modelo de Freundlich descreveu melhor o comportamento dos dados experimentais, com coeficientes de correlação de 0,992; 0,945; 0,945; 0,977 para as temperaturas de 200, 250, 300 e 350°C, respectivamente.

Desse modo, um dos aspectos mais promissores neste estudo dos carvões ativados das cascas de banana nanica *musa paradisiaca*, é que o bioissorvente, é facilmente obtido a partir de resíduo de biomassa que apresenta baixo custo de aquisição, de implementação em larga escala e pode ser reciclado e reutilizado, além do processo de preparação ser simples e acessível.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEHLING, S. M. Produção de adsorvente carbonoso preparado a partir da ativação química e física de resíduos de casca de banana. UFSC. 2017. **Disponível em:** <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/187078>>. Acesso em: 26 de mar. de 2020.

BUENO, C. I. C.; CARVALHO, W. A. Remoção de chumbo (II) em sistemas descontínuos por carvões ativados com ácido fosfórico e com vapor. **Quim. Nova** Vol. 30, No. 8, pág. 1911-1918, 2007.

BONIOLO, M. L. Remoção de Urânio em Águas de Drenagem Ácida de Minas por Técnicas de Bissorção. Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista Júlio de

Mesquita Filho, **Programa de Pós-Graduação em Geociência e Meio Ambiente do Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro**, 2016.

BONIOLO, M. L. Bissorção de Urânio nas Cascas de Banana. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, **Programa de Pós-Graduação em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear E Materiais**, 2008.

BUENO, BM; *et. al.* Remoção de Pb (II) de soluções aquosas por bioissorção em *R. opacus*. **Escola de Minas**, v.62, p.487-494, 2009.

BUGIERECK, A. M., BEHLING S. M., DE MELLO J. M. M. Avaliação Da Capacidade Adsorviva de Carvão Ativado Quimicamente a partir de Casca de Banana. **Revista Acta Ambiental**, v. 10, p. 48, 2013.

CASQUEIRA, R. G.; LIMA, A. C. Evaluation of removal of Cr (III) employing the pseudo-stem of banana (*Musa paradisiaca*) as biosorben. **Engevista**, V. 18, n. 1, pág. 174-188, Julho 2016.

COSTA P. D.; FURMANSKI, L. M.; DOMINGUINI, L. Produção, caracterização e aplicação de carvão ativado de casca de nozes para adsorção de azul de metileno. **Rev Virtual Quim.** Vol.7: pág.1272–85. 2015.

DEMITIL, G. M. M. *et. al.* Avaliação de adsorvente magnético à base de carbono para a remoção de azul de metileno da água. Anais do XI EPCC, outubro de 2019. **<http://rdu.unicesumar.edu.br/bitstream/handle/123456789/3353/GABRIELA%20MARIA%20MATOS%20DEMITI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>**. Acessado em **26/03/2020**.

DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, Giovanna. Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores. Porto Alegre. **Edipucrs**, 2007.

ESPÍNDOLA, V. L. Avaliação da remoção de alumínio de um efluente sintético através do processo de adsorção com adsorvente produzido a partir de folhas de *persea americana mill*. Trabalho de conclusão do curso de graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. **Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina**. 2020.

FERNANDES, G. A. C. *et. al.* Utilização do mesocarpo de coco verde para tratamento de efluentes contaminados com metais pesados. **Anais do VII ConGeA**. Campina Grande, 2016.

HEYLMANN, K. K. A.. Produção, caracterização e aplicação de carvão ativado de caroço de pêssigo no tratamento de efluente têxtil. 2015. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária. **Centro de Engenharias - Universidade Federal de Pelotas**, Pelotas, 2015.

LOPES, C. W *et. al.* Synthesis and characterization of activated carbons derived from corn cob. **Perspectiva**, Erechim. v.37, n.139, p.27-35, setembro/2013.

MACÊDO, L. P. M. M de. Viabilidade da produção de carvão ativado a partir de resíduos alternativos. Dissertação do Curso de Mestrado em Desenvolvimento Processos Ambientais. **Universidade Católica de Pernambuco**. 2012.

MARTINS, W. A.; DE OLIVEIRA, A. M. B. M.; DE MORAIS, C. E. P.; COELHO, L.F. C.; DE MEDEIROS, J.F. Reuse of agroindustrial waste banana peel for wastewater treatment. **Revista verde**, v.10, n.1, p. 96- 102, jan-mar. 2015.

MESQUITA, G. M. Metodologias de preparo de amostras e quantificação de metais pesados em sedimentos de Ribeirão Samambaia, Catalão – GP, empregando Espectrometria de Absorção Atômica. Monografia (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2014.

MIMURA, A. M. S.; VIEIRA, T. V. A.; MARTELLI, P. B.; GORGULHO, H. F. Aplicação da casca de arroz na adsorção dos íons Cu^{2+} , Al^{3+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} . **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 6, p. 1279-1284, 2010.

NASCIMENTO, R.; LIMA, A. C. A.; VIDAL, C. B.; MELO, D. Q.; RAULINO, G. S.; Adsorção- Aspectos teóricos e aplicações ambientais, **Edição UFS**, 2014.

PERIC, J.; TRGO, M.; MEDIDOVIC, N. V. Removal of zinc, copper and lead by natural zeolite - a comparison of adsorption isotherms. **Water Res.** **38**, Pág.1893–1899. 2004.

RAMOS, P. H.; GUERREIRO, M. C. RESENDE, E. C. de; gonçalves, M. Produção e caracterização de carvão ativado produzido a partir do defeito preto, verde, ardido (PVA) do café. **Química Nova**, 32, 1139. 2009.

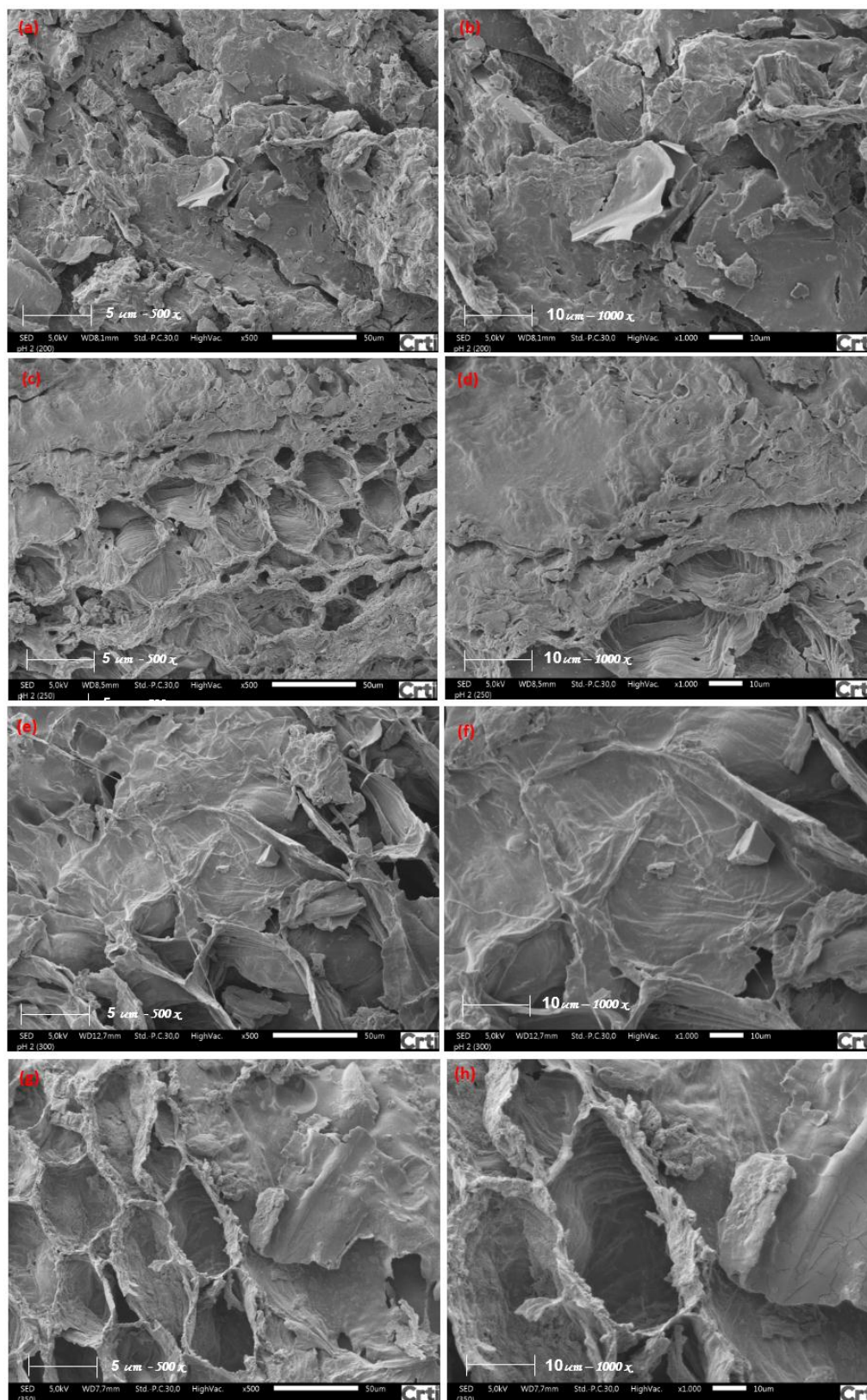
RUTHVEN, D. M. Principles of adsorption and adsorption processes. **John Wiley & Sons**, 1984.

SILVA, N. C. R. Utilização da casca de banana como bioissorvente para a adsorção de chumbo (II) em solução aquosa. 2014 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) – **Universidade Tecnológica Federal do Paraná**. Campo Mourão, 2014.

ZANELLA, O. Sorção de nitrato em carvão ativado com CaCl₂: Estudo de ciclos de sorção/ regeneração. Dissertação de Mestrado (**Programa de Pós Graduação em Engenharia Química**) - **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, 2012.

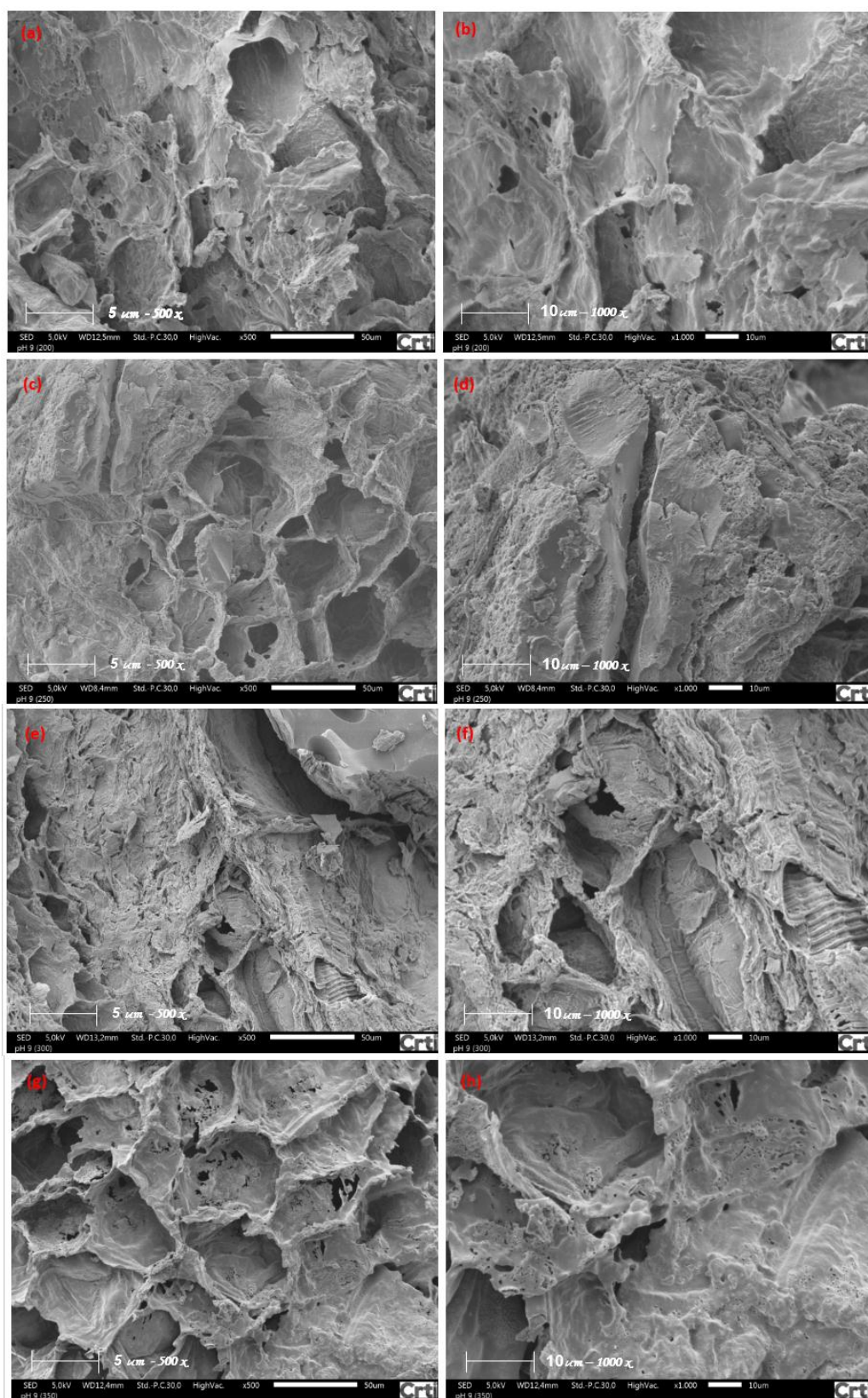
APÊNDICES

Figura 13 - Imagens da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos carvões obtidos para a casca de banana nanica de pH = 2 nas temperaturas de 200°C (a, b), 250°C (c, d), 300°C (e, f) e 350°C (g, h), com ampliação de 500 vezes (a, c, e, g) e 1000 vezes (b, d, f, h).



Fonte: autora

Figura 14 - Imagens da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos carvões obtidos para a casca de banana nanica de pH = 9 nas temperaturas de 200°C (a, b), 250°C (c, d), 300°C (e, f) e 350°C (g, h), com ampliação de 500 vezes (a, c, e, g) e 1000 vezes (b, d, f, h).



Fonte: autora

Dados da estatística

O ajuste dos modelos matemáticos foi realizado utilizando a análise de regressão não linear pelo método Gauss Newton, com o programa estatístico R versão 3.0.2.

Script do R – Usou a Função nls

```
Setwd ("C:\\Users\\junio\\OneDrive\\Área de Trabalho\\R")#ENDEREÇO DA PASTA
DE TRABALHO (BARRA DUPLA)
```

```
dados200<-read.table("200.txt",head=T)
dados250<-read.table("250.txt",head=T)
dados300<-read.table("300.txt",head=T)
dados350<-read.table("350.txt",head=T)
```

```
attach(dados200)
attach(dados250)
attach(dados300)
attach(dados350)
```

```
print (dados200)
print (dados250)
print (dados300)
print (dados350)
```

```
#=====
#                               Freud
#=====
#ajuste dos dados e sumario dos
resultados*****
```

```
      GOMP<- nls(qeq~a*(Ceq)^n,start=list(a=0.054,n=7.21),
control=nls.control(maxiter = 1000, minFactor=(1/2)^30))
      COEF_GOMP<-round(coef(GOMP),5)
      err_model<-round(sqrt(diag(vcov(GOMP))),5)
      print(COEF_GOMP)
      print(err_model)
      summary(GOMP)
```

```
#indicadores de
ajuste*****
*****
```

```
#quadrado medio do residuo
      QMR<-(deviance(GOMP)/df.residual(GOMP))
      print(QMR)
#Coeficiente de determinação
      R2<-(1-deviance(GOMP)/(deviance(lm(qeq~1))))*100
      print(R2)
```

```

#=====
#                               Laug
#=====
#ajuste dos dados e sumario dos
resultados*****

      GOMP<- nls(qeq~((a*b*Ceq)/(1+b*Ceq)),start=list(a=2.379,b=0.00011),
control=nls.control(maxiter = 100000, minFactor=(1/2)^60))
      COEF_GOMP<-round(coef(GOMP),5)
      err_model<-round(sqrt(diag(vcov(GOMP))),5)
      print(COEF_GOMP)
      print(err_model)
      summary(GOMP)

#indicadores de
ajuste*****
*****

      #quadrado médio do resíduo
      QMR<-(deviance(GOMP)/df.residual(GOMP))
      print(QMR)
      #Coeficiente de determinação
      R2<-(1-deviance(GOMP)/(deviance(lm(qeq~1))))*100
      print(R2)

```

Figura 15 - Resultados do ajuste do modelo de Freundlich para construção das isotermas de adsorção na temperatura de 200°C e pH = 5.

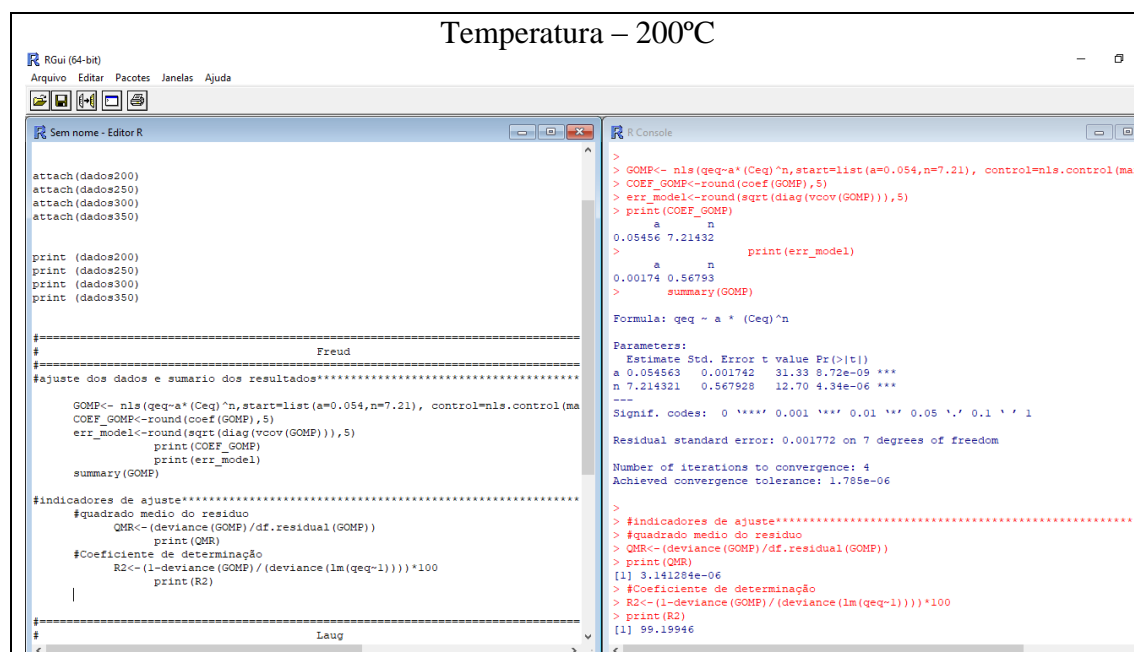


Figura 16 - Resultados do ajuste do modelo de Freundlich para construção das isotermas de adsorção na temperatura de 250°C e pH = 5.

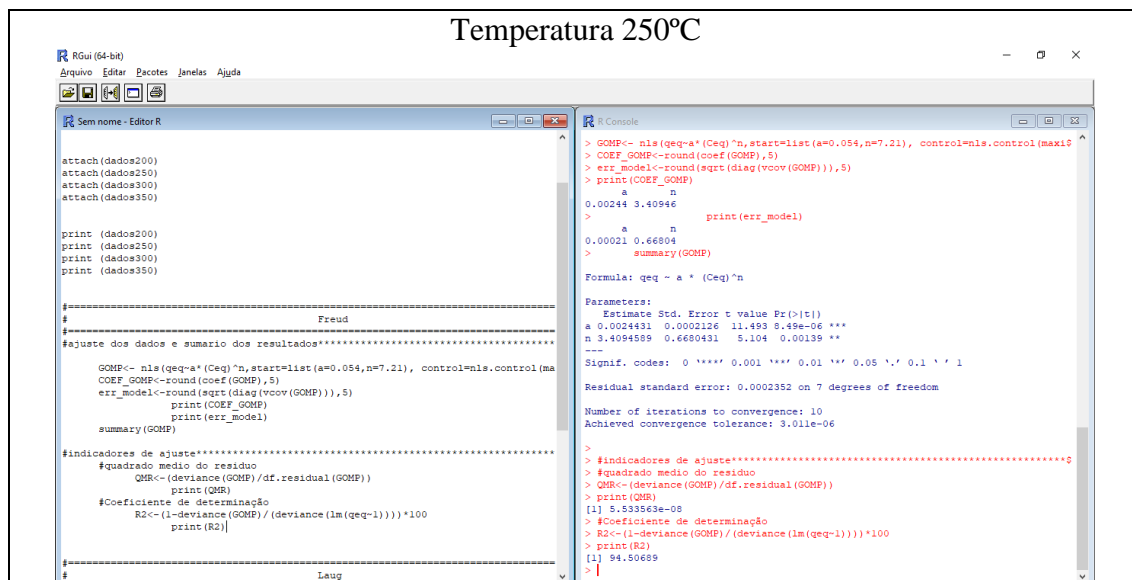


Figura 17 - Resultados do ajuste do modelo de Freundlich para construção das isotermas de adsorção na temperatura de 300°C e pH = 5.

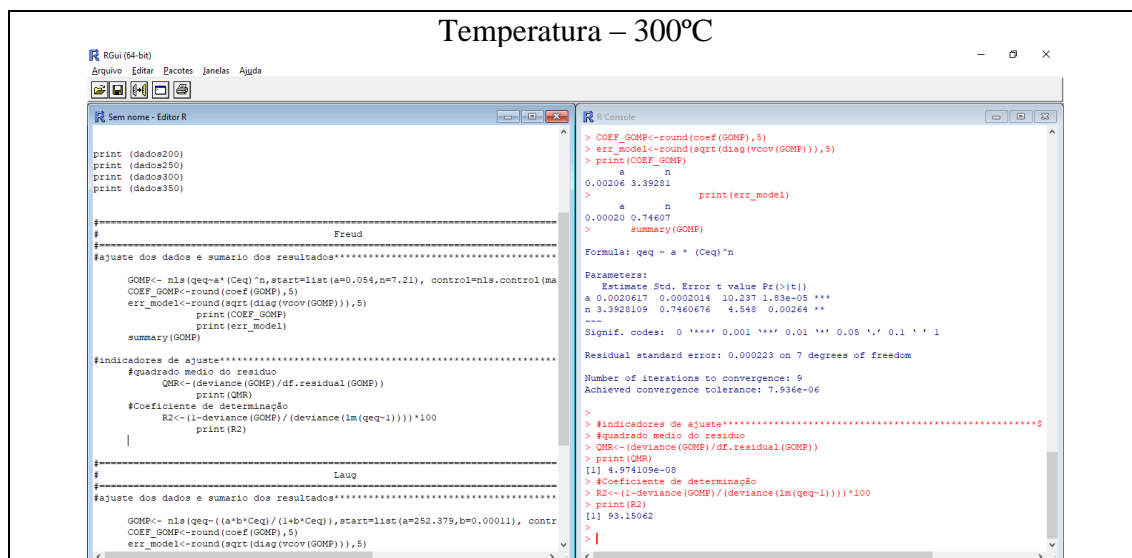


Figura 18 - Resultados do ajuste do modelo de Freundlich para construção das isotermas de adsorção na temperatura de 350°C e pH = 5.

Temperatura 350°C

```

RGui (64-bit)
Arquivo  Editar  Escotes  Janelas  Ajuda

Sem nome - Editor R
attach(dados250)
attach(dados300)
attach(dados350)

print(dados200)
print(dados250)
print(dados300)
print(dados350)

-----
#                                Freud
-----
#ajuste dos dados e sumario dos resultados*****
GOMP<- nls(qeq~a*(Ceq)^n, start=list(a=0.054, n=7.21), control=nls.control(ma
COEF_GOMP<-round(coef(GOMP),5)
err_model<-round(sqrt(diag(voov(GOMP))),5)
print(COEF_GOMP)
print(err_model)

summary(GOMP)

#indicadores de ajuste*****
#quadrado medio do residuo
QMR<- (deviance(GOMP)/df.residual(GOMP))
print(QMR)
#Coeficiente de determinação
R2<-(1-deviance(GOMP)/(deviance(lm(qeq~1))))*100
print(R2)

-----
#                                Laug
-----
#ajuste dos dados e sumario dos resultados*****

R Console
> COEF_GOMP<-round(coef(GOMP),5)
> err_model<-round(sqrt(diag(voov(GOMP))),5)
> print(COEF_GOMP)
a          n
0.00198 6.92937
> print(err_model)
a          n
0.00011 0.95254
> summary(GOMP)
Formula: qeq ~ a * (Ceq)^n
Parameters:
  Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
a 0.001978  0.000111 17.822 4.32e-07 ***
n 6.929366  0.952539   7.275 0.000166 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.0001133 on 7 degrees of freedom
Number of iterations to convergence: 9
Achieved convergence tolerance: 4.25e-06

>
> #indicadores de ajuste*****
> #quadrado medio do residuo
> QMR<- (deviance(GOMP)/df.residual(GOMP))
> print(QMR)
[1] 1.22811e-08
> #Coeficiente de determinação
> R2<-(1-deviance(GOMP)/(deviance(lm(qeq~1))))*100
> print(R2)
[1] 97.70565
>
>

```

Figura 19 – Curva de calibração da Espectroscopia de absorção atômica de chama (FAAS) dos carvões ativados calcinados nas temperaturas de 200°C (a), de 250°C (b), de 300°C (c) e de 350°C (d) em pH = 5 para biossorção de chumbo.

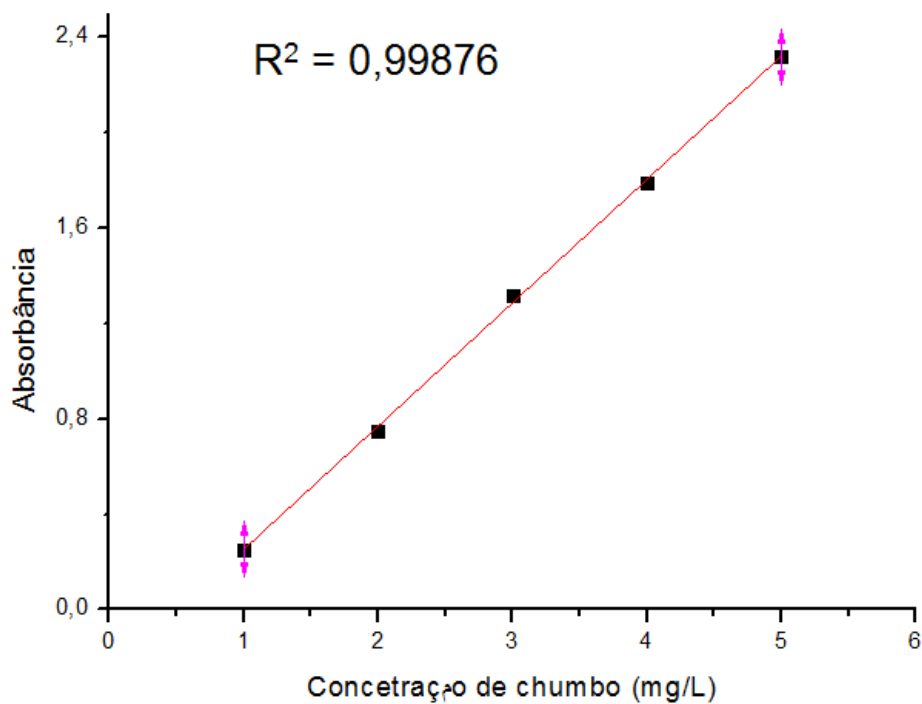


Figura 20 – Análise de Espectroscopia de absorção atômica de chama (FAAS) dos carvões ativados calcinados nas temperaturas de 200°C (a), de 250°C (b), de 300°C (c) e de 350°C (d) em pH = 5 na bioissorção de chumbo.

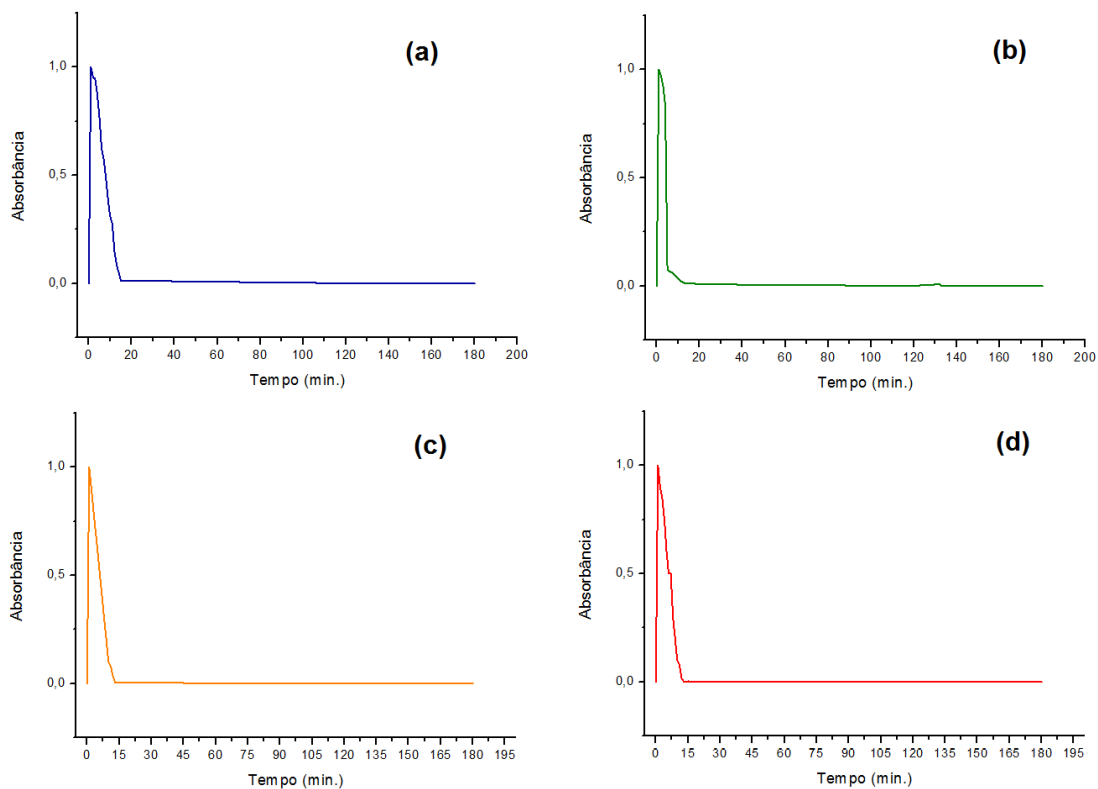


Figura 21 – Análise de Espectroscopia de absorção atômica de chama (FAAS) dos carvões ativados calcinados na temperatura de 200°C em pH = 5 na bioissorção de chumbo, a cada 15 minutos, durante 3 horas.

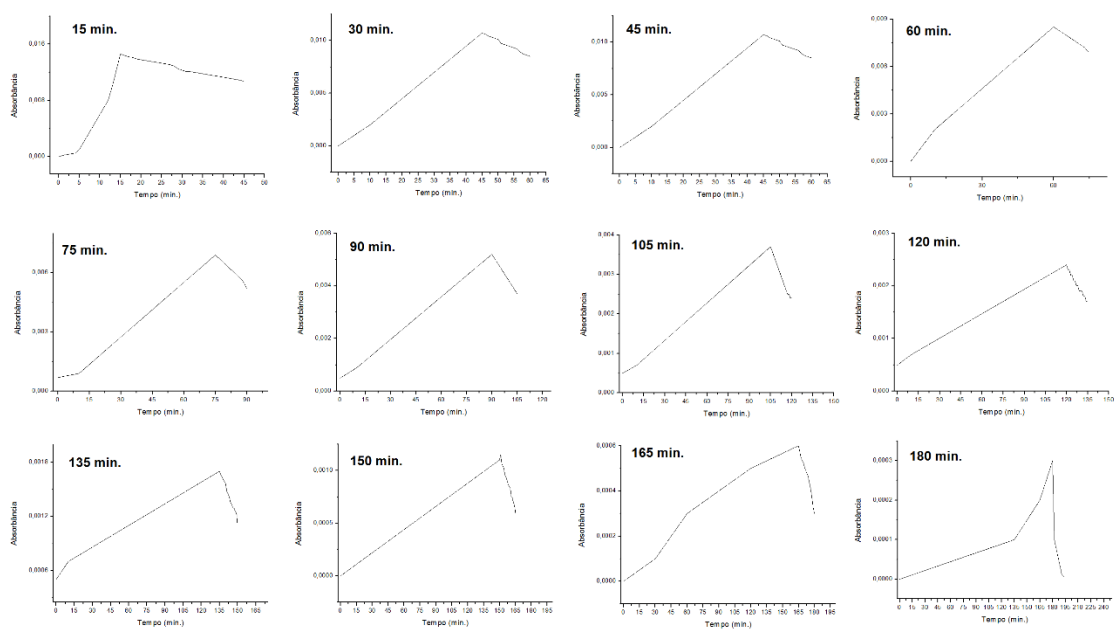


Figura 22 – Análise de Espectroscopia de absorção atômica de chama (FAAS) dos carvões ativados calcinados na temperatura de 250°C em pH = 5 na bioissorção de chumbo, a cada 15 minutos, durante 3 horas.

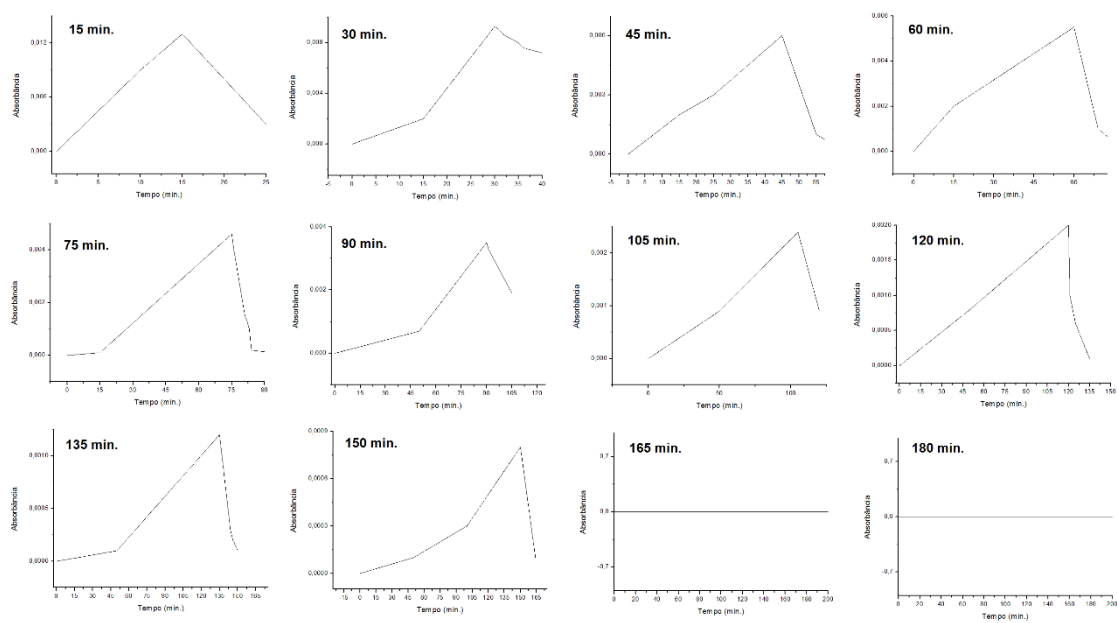


Figura 23 – Análise de Espectroscopia de absorção atômica de chama (FAAS) dos carvões ativados calcinados na temperatura de 300°C em pH = 5 na bioissorção de chumbo, a cada 15 minutos, durante 3 horas.

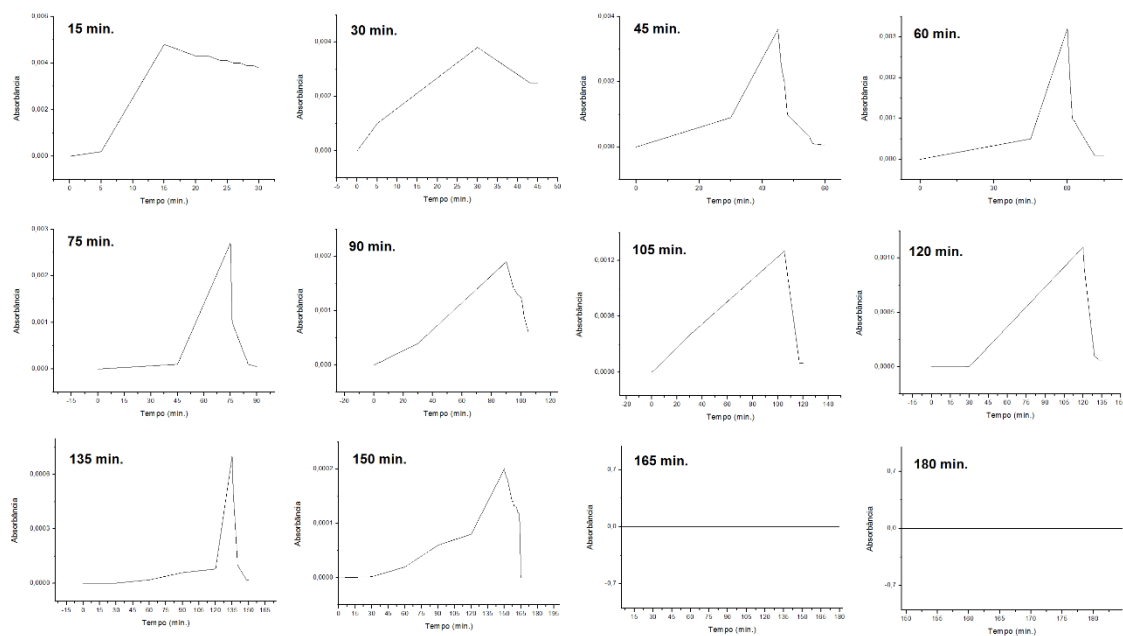


Figura 24 – Análise de Espectroscopia de absorção atômica de chama (FAAS) dos carvões ativados calcinados na temperatura de 350°C em pH = 5 na biossorção de chumbo, a cada 15 minutos, durante 3 horas.

