

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
DOUTORADO EM CIÊNCIA DO SOLO**

PRISCILLA DORS

**BIOCARVÕES DE CASACA DE BANANA E DE PINUS: CARACTERIZAÇÃO E
USO NA REMOÇÃO DE ZINCO**

LAGES

2022

PRISCILLA DORS

**BIOCARVÕES DE CASCA DE BANANA E DE PINUS: CARACTERIZAÇÃO E
USO NA REMOÇÃO DE ZINCO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Ciência do Solo.

Orientadora: Prof^a. Dra. Mari Lucia Campos.

Coorientador: David Jose Miquelluti.

LAGES

2022

Universidade do Estado de Santa Catarina

Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Dors, Priscilla BIOCARVÕES DE CASCA DE BANANA E DE PINUS: CARACTERIZAÇÃO E USO NA REMOÇÃO DE ZINCO / Priscilla Dors. -- 2022. 72 p.

Orientadora: Dra Mari Lucia Campos Coorientador: Dr Davi José Miquelluti Tese (doutorado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2022.

1. biochar. 2. pirólise. 3. remoção. 4. Zinco. I. Campos, Dra Mari Lucia. II. Miquelluti, Dr Davi José. III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. IV. Título.

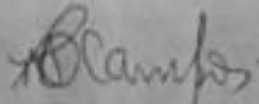
PRISCILLA DORS

**BIOCARVÕES DE CASCA DE BANANA E DE PINUS: CARACTERIZAÇÃO E
USO NA REMOÇÃO DE ZINCO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Ciência do Solo

BANCA EXAMINADORA

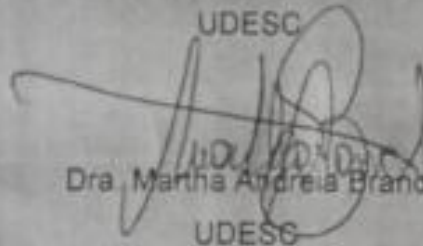
Orientadora:



Dra. Mari Lucia Campos

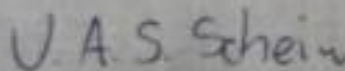
UDESC

Membros:



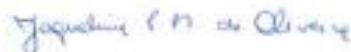
Dra. Martha Andreia Brand

UDESC



Dra. Viviane Aparecida S. Schein

UDESC



Dra. Jaqueline Machado de Oliveira

FURG



Dr. Natielo Santana

UFSM

Lages, 24 de fevereiro de 2022

Dedico este trabalho a meu esposo, à minha orientadora e aos meus colegas de laboratório, sem os quais não teria conseguido concluir esta tarefa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

Em primeiro lugar a Deus, por me permitir viver este momento e por colocar pessoas maravilhosas no meu caminho.

À minha família pelo apoio de sempre, por me incentivarem a sempre estudar e melhorar.

A meu esposo pelo companheirismo, pela compreensão e apoio em minhas escolhas.

A meus mestres orientadores: prof. Dr^a Mari Lucia Campos, por me aturar por tantos anos (13 anos), por ser minha guia, orientar-me e ser mais que uma simples orientadora - humana, sensata, capaz de tirar o melhor de nós. Agradeço imensamente por abrir as portas desde a graduação. Se não fosse sua ajuda, tenho certeza que não chegaria onde cheguei. Não tenho palavras para agradecer. Ao prof Dr. David José Miquelluti, meu agradecimento pela orientação ao longo destes anos; por ser uma pessoa incrível e admirável. Obrigada por tudo.

Aos amigos que fiz ao longo dessa jornada, que levarei sempre comigo. Obrigada, Ilana, Fernanda, Carol, Natacha e Gabriel, que não mediam esforços para ajudar-me.

A todos os colegas do laboratório de Levantamento e Análise Ambiental, agradeço pelo companheirismo e por todos esses anos de trabalho no laboratório do qual sentirei muitas saudades.

A todos os professores do programa de pós-graduação que contribuíram para meu crescimento.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para meu aprendizado.

A experiência nunca falha, apenas as nossas opiniões falham, ao esperar da experiência aquilo que ela não é capaz de oferecer” (Leonado da Vinci).

RESUMO

O uso de biocarvão vem sendo estudado como alternativas para melhorar a qualidade dos solos. O biocarvão pode ser obtido a partir de uma infinidade de materiais, dentre eles, materiais lenhosos, resíduos agrícolas, esterco e outros produtos residuais. São ótimos adsorventes de elementos tóxicos, diminuindo sua disponibilidade. O primeiro capítulo apresenta uma análise bibliométrica, cujo objetivo foi uma análise do poder de biocarvões como adsorventes de contaminantes orgânicos e inorgânicos demonstrando as tendências de pesquisa na área. Os dados base para a pesquisa foram coletados em outubro de 2020, na base de dados Scopus. Os artigos selecionados foram analisados com auxílio do VOSviewer®. Observou-se um avanço nos estudos sobre biocarvão no período. A maior parte dos estudos buscou apenas caracterizar os materiais e poucos foram aqueles que buscaram avaliar a sua aplicabilidade. O maior número de artigos citados e a maior produtividade são chineses. O idioma predominante foi o inglês, enquanto a área predominante foi a de ciências ambientais. O segundo capítulo desta tese apresenta a caracterização química e física e o potencial de remoção de Zn em dois biocarvões sendo, um derivado de casca de banana (BB), e outro de resíduo de Pinus gerado pela empresa Engie Brasil Energia (BP). Para tanto, realizou-se: (i) Produção do biocarvão de casca de banana; (ii) Determinação, em triplicata, de pH em água, teor de carbono e nitrogênio, ponto isoelétrico, Fluorescência de raio X, espectroscopia com transformada de Fourier, microscopia eletrônica de varredura, área superficial específica; (iii) Remoção de zinco em meio aquoso e capacidade máxima de remoção. O biocarvão produzido a partir da casca de banana é um material alcalino com alto valor de PI e ASE. O biocarvão de casca de Pinus é mais rico em C, alcalino, com alta ASE e PI inferior ao do biocarvão de casca de banana. Os biocarvões apresentaram alta capacidade de remoção de Zn em solução aquosa, entretanto, a maior porcentagem de remoção de Zn foi obtida o biocarvão de casca de banana.

Palavras-chave: Biochar; Pirólise; Sorção; Elemento-traço.

ABSTRACT

The use of biochar has been studied as alternatives to improve soil quality. Biochar can be obtained from a multitude of materials, among them, woody materials, agricultural residues, manure and other residual products. They are excellent adsorbents of toxic elements, reducing their availability. The first chapter presents a bibliometric analysis, whose objective was to analyze the power of biochars as adsorbents for organic and inorganic contaminants, demonstrating research trends in the area. The base data for the survey were collected in October 2020, in the Scopus database. The selected articles were analyzed using VOSviewer®. There was an advance in studies on biochar in the period. Most of the studies only sought to characterize the materials and few were those that sought to assess their applicability. The largest number of articles cited and the greatest productivity are Chinese. The predominant language was English, while the predominant area was environmental sciences. The second chapter of this thesis presents the chemical and physical characterization of two biochars, one derived from banana peel (BB), and the other from pine residue generated by the company Engie Brasil Energia (BP). To this end, the following were carried out: (i) Production of biochar from banana peel; (ii) Determination, in triplicate, of pH in water, carbon and nitrogen content, isoelectric point, X-ray fluorescence, Fourier transform spectroscopy, scanning electron microscopy, specific surface area; (iii) Removal of zinc in aqueous medium and maximum removal capacity. The materials are characterized as alkaline. BP has a higher specific surface. The maximum Zn removal capacity of BB biochar corresponds to 30 g kg⁻¹ and is higher than BP, presenting 24.4 g kg⁻¹. BB and BP are alkaline materials, with PI of 7.2 and 5.9 respectively

Keywords: Biochar; Pyrolysis; Sorption; Trace-element.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Sistema de queima da biomassa da Engie, energia com pontos de coleta de biocarvão	19
Figure 1 - Trend in the number of publications over the years (2011 -2021)	26
Figure 2 - Number of publications and countries.	32
Figure 3 - Interrelation of countries that research together on Biochar indexed in Scopus.	33
Figure 4 - Vosviewer mapping author keywords.....	34
Figura 1 - Sistema de queima da biomassa da Engie, energia com pontos de coleta de biocarvão.....	19
Figura 2 - Ponto isoelétrico para BB (A) e BP (B)..	45
Figura 3 - Figura representa espectros do FT-IR para BB (a) e BP(b).....	46
Figura 4 - Espectros de MEV do biocarvão de BB (A) e BP (B) com ampliação de 1000 vezes.	47
Figura 5. Valores de ASE e volume de poros para BB e BP por meio do método BET.	47
Figura 6 - Porcentagem de remoção de Zn (A) em diferentes tempos de contato e valores de pH observados após tempo de contato de 2h (B)	48
Figura 7 - Capacidade máxima de remoção (q) de Zn utilizando BB (A) e BP (B). ...	49

LISTA DE TABELAS

Table 1 - List of the twenty most cited articles and year, number of citations and journals indexed in Scopus.....	28
Table 2 - Periodicals and numbers of publications/year indexed in Scopus and main areas of study	29
Table 3 - Authors who produced the largest number of publications on biochar and its institutions indexed in Scopus.	31
Table 4 - Title, year of publication, objectives and conclusions of the five most relevant articles indexed in Scopus.....	35
Tabela 1 - Porcentagem de carbono, nitrogênio e pH em água dos biocarvões BP e BB. Tukey 5%.....	44
Tabela 2 - Teores médios de elementos químicos para BB e BFQ obtidos por fluorescência de raios-X.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BB	Biocarvão de banana
BP	Biocarvão derivado de biomassa florestal de Pinus
Engie Energia	Empresa de energia do Brasil
PI	Ponto isoelétrico
NIST	National Institute of Standards and Technology
FT-IR	Espectroscopia de infravermelho transformada de Fourier
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
BET	Método BET ou Teoria de Adsorção Multimolecular
ASE	Área superficial específica
Q	Capacidade máxima de remoção
Mn	Massa do metal
Ci	Concentração Inicial
V	Volume da solução

LISTA DE SÍMBOLOS

C	Carbono
N	Nitrogênio
Ca	Cálcio
Mg	Magnésio
K	Potássio
P	Fósforo
Cu	Cobre
Zn	Zinco
Cr	Cromo
Pb	Chumbo
Mn	Manganês
pH	Potencial hidrogeniônico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	BIOCARVÕES DERIVADOS DE PINUS	18
2.2	BIOCARVÃO DE BANANA.....	19
2.3	APLICAÇÕES DOS BIOCARVÕES	20
3	APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	22
4	OBJETIVOS	22
4.1	OBJETIVO GERAL.....	22
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS CAPÍTULO I.....	22
4.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS CAPÍTULO II.....	22
5	HIPÓTESES	22
6	CAPÍTULO I: BIOCHAR AND ITS ADSORBENT POWER. HOW ARE SCIENTIFIC PUBLICATIONS ABOUT THIS ISSUE?	24
6.1	INTRODUCTION	24
6.2	MATERIALS AND METHODS	25
6.3	RESULTS AND DISCUSSION	26
6.3.1	Number of publications over the 10 years (2011-2021)	26
6.3.2	Distribution of articles based on citations, journals and areas	27
6.3.3	Authors' Statistics	30
6.3.4	Countries	31
6.3.5	Keywords	33
6.3.6	Exploring the five relevant articles (2011-2021)	35
6.3.7	Recommendations for future research	38
6.4	CONCLUSION.....	38
6.5	ACKNOWLEDGMENT	39
7	CAPÍTULO II - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA E POTENCIAL DE REMOÇÃO DE ZN POR BIOCARVÕES DE CASCA DE BANANA E DE PINUS	40
7.1	INTRODUÇÃO.....	40
7.2	MATERIAIS E MÉTODOS	41
7.2.1	Produção de biocarvão	41
7.2.2	Análise química e física	42
7.2.3	Remoção de Zn em meio aquoso	43
7.2.4	Análise dos dados	44
7.3	RESULTADOS	44

7.3.1	Análise química e física dos Biocarvões.....	44
7.3.2	Ponto Isoelétrico.....	44
7.3.3	Fluorescência de Raio X	45
7.3.4	FT-IR, MEV e BET	46
7.3.5	Remoção de Zn	48
7.4	DISCUSSÃO.....	49
7.4.1	Análise química e física dos Biocarvões.....	49
7.4.2	Remoção de Zn.....	52
7.5	CONCLUSÃO	53
	REFERÊNCIAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

O biochar (também chamado de biocarvão) teve sua origem em tribos indígenas da Amazônia, que depositavam material residual da queima da biomassa, e está relacionado com as terras antropogênicas, ou ainda conhecidas como terras pretas de índio. No entanto, terra preta de índio é formada ao longo de milênios, e por isso, existe uma reposição contínua da matéria orgânica no solo (LEHMANN, 2006; TRAZZI *et al.*, 2018). O biocarvão pode ser obtido a partir de uma variedade de fontes, dentre elas, materiais lenhosos, resíduos agrícolas, esterco e outros produtos residuais (ZWIETEN *et al.*, 2010).

O uso de materiais orgânicos carbonizados vem sendo avaliado como alternativa para melhorar a qualidade dos solos (TRAZZI *et al.*, 2018). O biocarvão é considerado um estoque de carbono estável, possui em sua cadeia anéis aromáticos que conferem baixa degradação, sua composição química estrutural é heterogênea. Entretanto, a exata composição química e estrutural é determinada pelo tipo de matéria-prima utilizada, bem como as condições de pirólise (OLESZCZUK *et al.*, 2013; VERHEIJEN *et al.*, 2010).

No solo, o biocarvão age como condicionante, na correção da acidez, aumenta a retenção de água, aumento da disponibilidade de nutrientes para as plantas, aumenta a capacidade de troca catiônica devido a seus grupos funcionais. Reduz a densidade do solo, melhora a associação de fungos micorrízico, possui alta superfície específica, alta porosidade, entre outros (BUTNAN *et al.*, 2015; HAMMER *et al.*, 2014; PETTER; MADARI, 2012).

Além disso, o biocarvão possui diversas funções ambientais, tem sido usado como um eficiente adsorvente para retirada de elementos tóxicos, em soluções aquosas (LU *et al.*, 2015). O custo para biocarvões tende a ser relativamente baixo.

Visando a importância econômica e ambiental dos biocarvões (KUNG *et al.*, 2013), que este estudo traz uma análise bibliométrica no primeiro capítulo, enquanto no segundo capítulo, a caracterização química e física de dois biocarvões, sendo um derivado de casca de banana, e outro de resíduo da empresa Engie Brasil Energia.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A crescente demanda mundial por alimentos e energia gera uma quantidade cada vez maior de resíduos agrícolas e florestais. A produção de biocarvão pode ser uma alternativa para gerenciamento dos resíduos (SCHELLEKENS *et al.*, 2018). O biocarvão é um produto sólido, rico em carbono produzido pela pirólise da biomassa. Tem sido amplamente empregado em remoção de contaminantes de soluções aquosas devido à sua versatilidade e alta estabilidade (WU *et al.*, 2021; KUMAR *et al.*, 2020; ZHOU *et al.*, 2018). Os biocarvões de diferentes matérias-primas foram avaliados em estudos ambientais quanto à sua capacidade de remoção de poluentes orgânicos e inorgânicos (SEVERO *et al.*, 2020; AHMED, 2014). Esses produtos caracterizam-se por ser de baixo custo e ambientalmente sustentáveis para a produção de adsorventes, com eficácia comparável ou superior aos carvões ativados utilizados comercialmente (ALLWAR, 2012). Biocarvões têm potencial para mitigar a toxicidade do ferro em lavouras de arroz inundadas (SEVERO *et al.*, 2020), remover herbicida hexazinona no solo (FERNANDES *et al.*, 2021) e, quando com peróxido de hidrogênio, de remover metais Cu, Cd e Ni (SOUZA *et al.*, 2020).

A pirólise é um processo que degrada termicamente os constituintes químicos da biomassa e os ressintetiza, sob condições de oxigênio limitado, permitindo a produção de biocarvão, bio-óleo e gás (MATOS *et al.*, 2021). Existem três maneiras de se produzir o biocarvão por meio da degradação térmica, que são governados pelo tempo de queima, temperatura e rampa de aquecimento. Na pirólise rápida, há o aquecimento muito rápido da biomassa, resultando em uma maior proporção de bio-óleo e menor de biocarvão. Na pirólise lenta a conversão térmica da biomassa dá-se por aquecimento em baixas e médias temperaturas (500°C a 700°C) e ausência de oxigênio. Na pirólise em altas temperaturas (>750°C), há a maior formação de gases e o biocarvão como um subproduto (BROWN, 2009; LEHMANN; JOSEPH, 2009; BASU, 2010; ALVES *et al.*, 2017). A produção final do biocarvão dependerá do tipo de biomassa utilizado, da temperatura e tempo de pirólise (LEHMANN, 2007; LEHMANN, 2006). A taxa de aquecimento, o tempo de residência e a temperatura têm impacto direto nas características do biocarvão. Quando ocorre a pirólise, há uma redução de carbono e oxigênio via volatilização de moléculas, como CO₂, CO, H₂O, OH e hidrocarbonetos. (LU *et al.*, 2012; BAGREEV *et al.*, 2001). Enfatizando que essa perda por volatilização de C e O é menor quanto maior for a temperatura de queima.

Um material rico em carbono in natura terá maior porcentagem de carbono pós-queima (CHEN *et al.*, 2014a). E ainda com a carbonização, há um aumento nas estruturas aromáticas, em que ocorre a polimerização, podendo contribuir com a força de retenção de metais nas estruturas do biocarvão (FIGUEIREDO *et al.*, 2017).

Um das características interessantes do biocarvão é o seu poder alcalino, entretanto os valores de pH variam de acordo com o tipo de matéria-prima utilizada. Os elevados valores de pH estão relacionados à presença de carbonatos, sais alcalinos e cátions básicos existentes nas estruturas dos biocarvões (LEHMAN *et al.*, 2011; CHAN *et al.*, 2009). Os valores de pH em biocarvões estão relacionados com a temperatura de pirólise. O biocarvão produzido em temperaturas mais elevadas tendem a exibir pH alcalinos, sem contar que a elevação da temperatura causa a liberação de grupos funcionais ácidos presentes na estrutura do material pirolisado e conserva a sua característica básica (KIM, *et al.*, 2021).

A área superficial específica (ASE) é uma das principais características dos biocarvões. No geral, os biocarvões possuem uma alta porosidade, grande ASE, bem como uma alta capacidade de troca de cátions (CTC) (LUO *et al.*, 2015). Biocarvões produzidos a partir de casca de Pinhão, em uma temperatura de 700 °C apresentou uma ASE de 439,6 m² g⁻¹. Já para casca de coco na mesma temperatura de pirólise, apresentou uma ASE de 183,4 m² g⁻¹ (JÚNIOR, 2016; TEIXEIRA, 2020). Entretanto, o tipo de biomassa, a temperatura de pirólise, afetam diretamente essas propriedades (ZHONG *et al.*, 2021). A distribuição das partículas influencia a área superficial específica do biocarvão, quanto maior for, maior a de adsorção. Bem como afetará nas propriedades do solo (NOBREGA, 2011). Portanto, caracterizar previamente os biocarvões é fundamental para determinar a sua aplicabilidade, de modo a verificar sua relação com o solo e meio ambiente (CONZ, 2015).

A aplicação do biocarvão em solos tem sido estudada nos últimos anos por Silva *et al.* (2022), Mota *et al.* (2021), Guarnieri *et al.* (2021), entre outros. Aplicar biocarvão no solo é um método de remediação para reduzir elementos-traço e poluição orgânica. Os biocarvões podem estimular a atividade de microorganismos e ser um condicionante no solo, preservando a qualidade deste (WANG *et al.*, 2020; DAI *et al.*, 2019; JI *et al.*, 2021). Além disso, o biocarvão tem a capacidade de sequestrar carbono, bem como reduzir as emissões para a atmosfera. Para se ter ideia, 1 m³ de resíduo de *Dillenia excelsa* reduz em 1687 kg das emissões de CO₂ (LIMA *et al.*, 2020). A incorporação do biocarvão em solos aumentou a condutividade elétrica

destes (CE) em 125%, a CTC em 20%, e a biomassa microbiana em 125%, bem como reduziu a sua acidez em 32% (STEINER *et al.*, 2008; LAIRD *et al.*, 2010).

2.1 BIOCÁRVÕES DERIVADOS DE PINUS

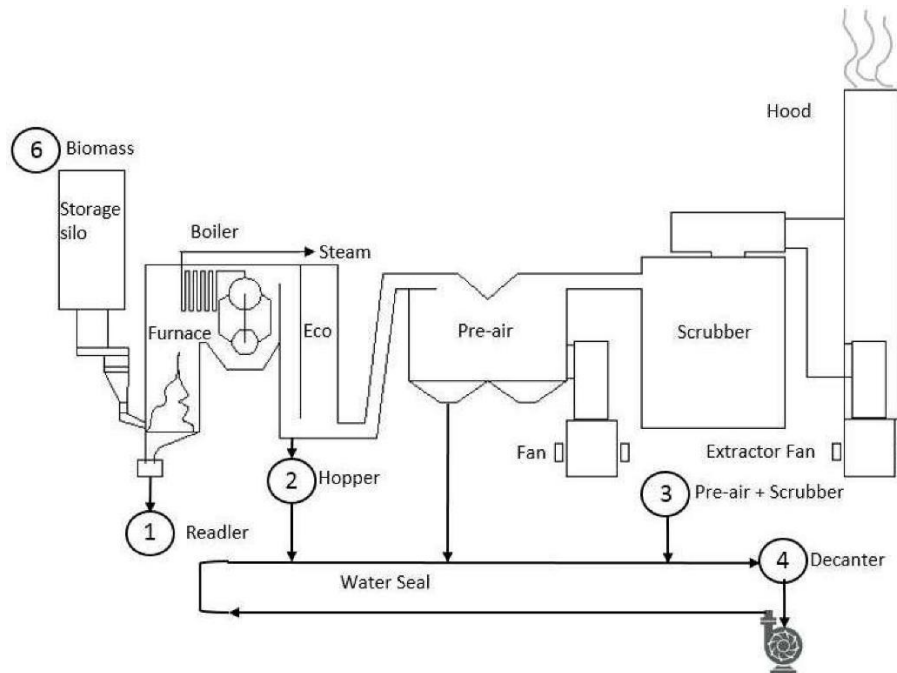
A alta demanda por energia nos últimos anos e a busca pela substituição de uma fonte de energia não renovável como o petróleo, faz com que se invista em resíduos industriais renováveis para a geração de energia (JI *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2019). Dentre as fontes renováveis, a biomassa pode ser transformada em energia térmica, mecânica ou elétrica, e é utilizada desde o começo da civilização humana (SANTOS *et al.*, 2017). A biomassa é uma das fontes de energia com maior potencial de crescimento nos próximos anos (IEA, 2016). O Brasil apresenta uma produção de biomassa com grandes potenciais energéticos (GUARDABASSI, 2006) que pode advir de várias fontes orgânicas e uma delas — prometedora no Brasil — é a biomassa da madeira e seus derivados (SANTOS *et al.*, 2017).

A Engie Brasil Energia é a maior produtora privada de energia elétrica do Brasil. Conta com uma capacidade de 10.791MW em 72 usinas, o que representa cerca de 6% da capacidade do país (ENGIE BRASIL ENERGIA, 2021). Na Engie localizada no município de Lages/SC, a capacidade de produção é de 28 WM/h, e a energia produzida deriva de residual de madeira florestal da região (HENNE *et al.*, 2019).

Para a transformação da biomassa em energia elétrica, basicamente é utilizado uma caldeira queimando a matéria orgânica produzindo vapor para o sistema gerador (SANTOS *et al.*, 2017). No caso da Engie, a usina está equipada com forno, caldeira, superaquecedor, economizador e aquecedor de ar. A biomassa é queimada na fornalha que contém seis pontos de alimentação de biomassa (HENNE *et al.*, 2019).

Um dos subprodutos gerados na queima da biomassa é o biocárvão, que no sistema da Engie pode ser coletado em quatro pontos, sendo eles: Readler, Tremonha, Lavador de gases e decantador, conforme mostra a Figura 1. A temperatura de queima é de 800 a 1000°C (HENNE, *et al.*, 2019).

Figura 1 - Sistema de queima da biomassa da Engie, energia com pontos de coleta de coleta de biocarvão.



Fonte: Henne et al (2019).

Biocarvões produzidos a partir de madeira, como o da Engie, geralmente possuem área superficial específica maiores que outras biomassas (GUL *et al.*, 2015). E ainda possuem altos teores de carbono. Biocarvão de Eucalipto apresenta 83% de C, Marmelo 79%, Videira 80%, Nogueira 81%, e Pinus taeda 82,6% (FERNANDES *et al.*, 2019; MAIA, 2017). A composição elementar é influenciada pela composição da matéria-prima, bem como pela temperatura de pirólise.

Biocarvões derivados de resíduos industriais como o da Engie podem ter grande potencial de uso e baixo custo, sendo assim uma forma de agregar valor ao resíduo da indústria.

2.2 BIOCÁRVÃO DE BANANA

A banana é a segunda fruta mais consumida no mundo. No Brasil, o consumo é em torno de 26 kg de banana por ano/habitante, sendo que sua produção global média atingiu 116 milhões de toneladas métricas (FAO, 2020).

O cultivo da fruta produz quantidades relevantes de resíduos lignocelulósicos, descartados muitas vezes inadequadamente (EMBRAPA, 2018). Visando isso, a

casca da banana pode ser uma alternativa promissora na produção de biocarvão e ainda ajudar a reduzir os resíduos agrícolas. Esse resíduo compreende cerca de 18 a 20% do corpo de peso da fruta (LEDIVIDIDCH *et al.*, 1976).

O biocarvão de banana vem sendo relatado em trabalhos como o de Oladipo *et al.* (2019) e Zhou *et al.* (2017). Uma das vantagens deste material observadas por Xu *et al.* (2018) é o baixo custo e a sua alta capacidade de remoção de substâncias inorgânicas e orgânicas alterar pH entre outras propriedades. Bem como destacou Ahmad e Danish (2018), que biocarvão derivado de banana foi eficiente na remoção de ânions inorgânicos solúveis em água e até mesmo núcleos radioativos. Islam *et al.* (2019), incorporaram biocarvão de casca de banana ao solo e semearam sementes de *Ipomoea aquática*, e concluíram que houve influência positiva do biocarvão no crescimento das plantas. Ainda sugerem como uma forma alternativa de contornar o uso de fertilizantes químicos e a forma efetiva de aproveitamento dos resíduos agrícolas por meio da reciclagem.

O resíduo da banana está chamando a atenção de pesquisadores por possuir várias partes aproveitáveis na produção de biocarvão. Podem ser utilizadas a casca da banana, troncos, pseudo-hastes, folhas e medulas que quase não têm uso pós-conheita (AHMAD; DANISH, 2018).

2.3 APLICAÇÕES DOS BIOCARVÕES

O biocarvão pode ser usado incorporado no solo como uma alternativa para remoção de contaminantes, elementos-tóxicos e, também, na agricultura pode aumentar o desempenho das culturas (INYANG, 2012). Steiner (2009), constatou um aumento na produção de soja de 151%, pós-incorporação do biocarvão e Chidumayo (1994) observou o aumento na germinação de sementes em plantas lenhosas nativas em 30% e 13% na produção de biomassa. No Japão, o biocarvão tem sido usado há décadas a fim de melhorar tanto a qualidade do solo quanto a sua fertilidade (KISHIMOTO, 1985). O biocarvão no solo, além de reduzir a emissão de CO₂, ainda pode aumentar o pH (HOSSAIN *et al.*, 2010). Para Alves *et al.* (2021), a adição de biocarvão aumentou o potencial de sequestro de carbono, melhorando as propriedades relacionadas à fertilidade.

O emprego do biocarvão tem sido economicamente utilizado na remoção de corante têxtil (RANGABHASHIYAM, 2013), também em contaminantes orgânicos

como o etinilestradiol, presente em medicamentos como os anticoncepcionais (SILVA *et al.*, 2021); elementos-traço em soluções como Cd e Ni (TANG *et al.*,2021), entre outros. Ainda, o biocarvão pode ser empregado como catalisador para controle de poluição de ar e catalisador na produção de biodiesel (CHA *et al.*,2016).

Seja na agricultura, melhorando a produtividade, ou nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo ou na área ambiental, o biocarvão tem potenciais de uso diversificados.

3 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em dois capítulos. No primeiro será apresentado uma análise bibliométrica sobre o poder adsorvente dos biocarvões. O artigo referente a este primeiro capítulo já está publicado na revista Research, Society and Development.

O segundo capítulo apresentará a caracterização física e química e o potencial de remoção de Zn em dois biocarvões.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo do presente estudo foi avaliar o uso de biocarvão na adsorção de elementos tóxicos a partir da análise bibliométrica e determinar o potencial de dois tipos de biocarvões a remoção de Zn em meio aquoso.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS CAPÍTULO I

Analisar as publicações de artigos de pesquisa relacionadas ao uso do biocarvão como adsorvente de contaminantes orgânicos e inorgânicos e outras substâncias demonstrando as tendências de pesquisa na área, bem como direcionar oportunidades de novos estudos sobre o tema.

4.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS CAPÍTULO II

Caracterizar biocarvões proveniente de Pinus da Engie Brasil Energia (BP) e de casaca de banana (BB) e a sua capacidade de remover o Zn em meio aquoso.

5 HIPÓTESES

Faltam pesquisas relacionadas com a remoção de elementos-traço por biocarvões;

O biocarvão produzido a partir da casca da banana possui a mesma

capacidade de remoção de elementos-traço em solução aquosa que o biocarvão produzido pela Engie energia.

6 CAPÍTULO I: BIOCHAR AND ITS ADSORBENT POWER. HOW ARE SCIENTIFIC PUBLICATIONS ABOUT THIS ISSUE? ¹

6.1 INTRODUCTION

Biochar is a carbon-rich material produced by controlled pyrolysis with absence of oxygen, which allows the thermo-degradation of biomass at temperatures ranging from 300 ° C to 900 ° C (AJMAI *et al.*, 2020; LEHMANN, 2007a; CHEN, 2014b; YU *et al.*, 2017). Biochar can be produced from several sources, such as agricultural waste, wood waste, municipal waste (sewage sludge), etc. (YU *et al.*, 2017). Pyrolyzed material has gained prominence in the last decade for being a multifunctional component in the environment, which makes it a promising adsorbent for the remediation of organic and inorganic contaminants in soil and water. Because it has abundant active sites and high stability, it is widely used in agriculture and environmental protection (HASSAN *et al.*, 2020; WANG *et al.*; 2019a; WANG *et al.* 2018a). It also promotes carbon sequestration in the soil, nutrient retention, improves soil fertility, the physical and biological properties of the soil and increased agricultural yield (SATETINIK *et al.*, 2019; ARFAOUI, 2019; ALBUQUERQUE *et al.*, 2013).

Biochar proprieties depends on the material chosen, as well as the pyrolysis temperature. The study of these conditions is important to obtain adsorbent materials that are effective and economically attractive (LAGE JUNIOR, 2017).

Biochar studies began in 1870 when the “Terra Preto de Indio” was discovered (LEHMANN; JOSEPH, 2009). Since then, the growing interest and expansion of the application of biochar has led to an increase in publications. Articles were published analysing the application of biochar. O'Connor *et al.* (2018) reviewed the remediation of soils contaminated by trace elements, Kavitha *et al.* (2018) researched the benefits and limitations of changing biochar in agricultural soils (LI *et al.*, 2020). Ahmed *et al.* (2018) carried out a global bibliometric analysis during the years 2000 to 2015, in order to investigate scientific publications on biochar research. Performing a search via Scopus using the word biochar, from 2012 to 2021

¹ DORS, P.; CAMPOS, M.L.; BRAND, M.A.; MIQUELLUTI, D.J. Biochar and its adsorbent power. how are scientific publications about this issue? **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, p. e61101018520, ago. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i10.18520>.

14,724 articles were found in several magazines and different areas related to the topic. There was an increase in the number of these publications in the years 2016 through 2020. Around the world Scientists are working hard to investigate the effect of biochar on soil, plants and the environment (AHMED *et al.*, 2018).

Bibliometrics is a statistical analysis of articles, books and any other publications (OCDE, 2018), which makes it possible to measure quality and quantity of publications from institutions, individuals and countries. It also makes it possible to obtain information such as effective publication, authors, institutions, networks of citations among others (DEMIR, 2018). This type of approach differs from a review article, whose main objective is to discuss the latest advances, challenges and future directions for a given topic (JAUHARAH *et al.*, 2018) However, a specific bibliometric analysis guiding the biochar and its adsorbent power, has not yet been realized, according to the research done by the authors. In this sense, this study aims to analyse qualitatively and quantitatively the publications of research articles, in the period 2011-2021, related to the use of biochar as an adsorbent of organic and inorganic contaminants and other substances, demonstrating research trends in the area and direct opportunities for new studies on the topic.

6.2 MATERIALS AND METHODS

Data used in this bibliometric analysis were collected in October 2020 in the Scopus database. This database indexes multidisciplinary scientific publications from around the world, being scientifically recognized for both the quantity and quality of indexed scientific journals. Woszezenk (2013) states that the search results showed that Scopus indexes a much larger number of works than the other databases.

After choosing the indexer, search criteria were established. In order to carry out a wide coverage of publications on the topic of the use of biochar as an adsorbent, the area as a whole was investigated, in order to collect all possible studies developed.

In the search field corresponding to "title", "keywords" and "abstract" the words: "BIOCHAR ADSORBENT" were inserted, refining for articles and excluding reviews, conference articles, book chapter etc. After the search, the articles were analysed based on the database search metrics with the aid of the VOSviewer® software. The data obtained were: number of publications over ten years (2011-2021), keywords, countries, distribution of publications in areas, themes and journals, and mapping of

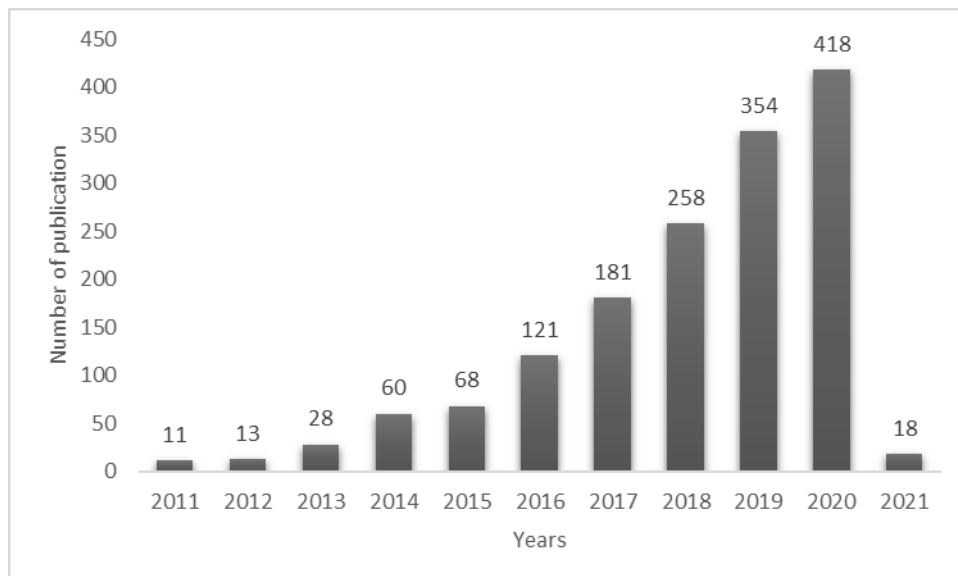
the authors. The results were presented by means of graphics and with the aid of mapping. The five most relevant works, based on the highest number of citations, will be explored in greater detail.

6.3 RESULTS AND DISCUSSION

6.3.1 Number of publications over the 10 years (2011-2021)

1529 articles were selected between the years 2011-2021, based on the search criteria used. There was an increase in the number of publications over the years, indicate in Figure 1. The articles went from 11 in 2011 to 418 in 2020. In particular, the number of publications increased significantly from 2016 to 2020 (121 to 418). A 50% increase in the number of studies referring to biochar in the years 1999-2018 was observed by Li *et al.* (2020), Kim *et al.* (2016) e Ahmed *et al.* (2018) also concluded that there is a growing worldwide trend in studies with biochar, this increase in research interest may be linked to the versatility of the material as an adsorbent.

Figure 1 - Trend in the number of publications over the years (2011 -2021)



Fonte: Autours (2021).

It should be noted that one of the reasons for this behavior may be the profit of the companies that promote the uses of biochar, due to its similarity to the “Terra Preta de Indio” (ERNSTING, 2011). This economic interest may have promoted the

financial contribution and implied an increase in the number of studies on the benefits of using biochar. For Abdeljaoued *et al.* (2020) the potential for future research on the topic of biochar may still be very high.

However, the risks inherent in the production, handling and end use of the biochar must be considered. The type of raw material used may contain pathogens with a risk potential and little is known about the effect of pyrolysis on the elimination of these organisms (BRAOMORT, 2010). Longer-term studies are needed to more accurately determine the consequences of biochar production and use.

6.3.2 Distribution of articles based on citations, journals and areas

Table 1 shows the twenty most cited articles, and the most cited article, with 514 citations, was published in 2011. The three most cited papers were published in the journal *Bioresource Technology*. It is an English journal covering the areas of Environmental Sciences, Energy and Chemical Engineering. Since 1991 he has had coverage at Scopus and is owned by Elsevier.

CiteScore measures the average citations received per document published in the series within Scopus, is an index similar to JCR (Journal Citation Reports). *Bioresource Technology*'s CiteScore is 12.8 in 2019 and JCR is 7.5 in same year. The second magazine that appears most among the list of twenty articles (table 1) is the *Chemical Engineering Journal*, a Swiss magazine, which had Scopus coverage in the years 1975 and 79 and then returned in 1996 until today. The *Chemical Engineering Journal* covers the areas of Chemical Engineering, Chemistry and Environmental Engineering. Its CiteScore is 15.2 and JCR 10.6 in 2019. Both magazines have a relevant impact factor.

In the list in table Table 1, the years 2019, 2020 and 2021 did not appear, as the twenty most cited articles were selected, so these years (2019-2021) had citations less than 190.

Table 1 - List of the twenty most cited articles and year, number of citations and journals indexed in Scopus

(continue)

Study Tittle	Year	No. of citations per journal
Adsorption of copper and zinc by biochars produced from pyrolysis of hardwood and corn straw in aqueous solution	2011	514 Bioresource Technology
Preparation and characterization of a novel magnetic biochar for arsenic removal	2013	327 Bioresource Technology
Biochar derived from anaerobically digested sugar beet tailings: Characterization and phosphate removal potential	2011	326 Bioresource Technology
Hydrogen peroxide modification enhances the ability of biochar (hydrochar) produced from hydrothermal carbonization of peanut hull to remove aqueous heavy metals: Batch and column tests	2012	323 Chemical Engineering Journal
Removal of phosphate from aqueous solution by biochar derived from anaerobically digested sugar beet tailings	2011	321 Journal of Hazardous Materials
Modeling and evaluation of chromium remediation from water using low cost bio-char, a green adsorbent	2012	300 Journal of Hazardous Materials
Modification of bio-char derived derived from fast pyrolysis of biomass and its application in removal of tetracycline from aqueous	2012	280 Bioresource Technology
Synthesis of porous MgO-biocha	2012	276 Chemical Engineering Journal
Removal of arsenic by magnetic biochar	2015	265 Bioresource Technology
Cadmium and lead remediation using magnetic oak wood	2014	259 Chemical Engineering Journal
Removal of arsenic, methylene blue, and phosphate by biochar	2013	226 Chemical Engineering Journal
Batch adsorption of basic dye using acid treated kenaf fibre char: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies	2012	221 Chemical Engineering Journal
Evaluation of slow pyrolyzed wood and rice husks biochar for adsorption of ammonium nitrogen from piggery manure anaerobic digestate slurry	2015	213 Science of the Total Environment
Adsorption of methyl violet from aqueous solutions by the biochars derived from crop residues	2011	208 Bioresource Technology

Table 2 - List of the twenty most cited articles and year, number of citations and journals indexed in Scopus

(conclusion)

Study Tittle	Year	No. of citations per journal
Comparison of sorption and desorption studies of heavy metal ions from biochar and commercial active carbon	2017	203 Chemical Engineering Journal
Sorption of bisphenol A, 17 α -ethinyl estradiol and phenanthrene on thermally and hydrothermally produced biochars	2011	203 Bioresource Technology
Removal of emerging contaminants from the environment by adsorption	2018	202 Ecotoxicology and Environmental Safety
Biochar-supported zerovalent iron for removal of various contaminants from aqueous solutions	2014	196 Bioresource Technology
Enhancing phosphate adsorption by Mg/Al layered double hydroxide functionalized biochar with different Mg/Al ratios	2016	190 Science of the Total Environment

In addition to the Bioresource Technology periodical being the most cited, it is also the one that publishes the most on the topic. The journal published 124 articles in the years observed, corresponding to 20% of the total publication of articles in Table 3

Table 3 - Periodicals and numbers of publications/year indexed in Scopus and main areas of study

Journal	Publications	Area of Study	Year
Bioresource Technology	124	Environmental Science (37%)	2019
Science Of The Total Environment	94	Chemical Engineering (15%)	2020
Chemosphere	79	Chemistry (13,1%)	2020
Environmental Science and Pollution Research	74	Other areas (34,9%)	2018
Chemical Engineering Journal	50		2019
Journal Of Environmental Management	46		2019
Journal Of Hazardous Materials	42		2020
Journal Of Cleaner Production	40		2018
Rsc Advances	37		2016
Water Air and Soil Pollution	35		2017

Its peak of publications was in the year 2019. For Li *et al.* (2020), Ahmed *et al.* (2018) and Jauharah *et al.* (2018) Bioresource Technology is the most productive

journal. It covers several topics related to biochar and not only related to adsorption and adsorbent. These results should encourage researchers to subscribe to the journal and even publish their results to increase the dissemination of their research (Ahmed et al., 2018).

161 different journals from different areas of knowledge were observed, among them, three are more relevant, Environmental Science, Chemical Engineering and Chemistry. Unlike the study of Ahmed *et al.* (2018) where most of the articles were related to the area of agriculture, due to the authors' research having used the word "biochar", which ranges from production to applicability in agriculture. In this work, the area of adsorption is pollutants, or any other substance is directly linked to the environmental area and chemistry. The results obtained by Li *et al.* (2020) and Kim *et al.* (2016) corroborate with the data found in the present study.

Among the most relevant areas for this research, other areas were also found: Energy and Fuels, Engineering, Agriculture, Material Sciences, Biotechnology and Microbiology, Science and Technology, Medicine and other topics. This proves that biochar is a multidisciplinary field of research.

6.3.3 Authors' Statistics

There have been 3979 authors who have contributed to studies related to adsorption with biochar in the past ten years. Among them, five stand out (Table 4) Li.Y is from the Biochar Engineering Research Center in Zhejiang Province, Hangzhou, has contributed most publications on the subject to date, with 70 documents, followed by Liu.Y. (58) published articles, Gao B. (43), Wang.Y (50) and Wang H (50) publications. Gao B, despite having contributed less than Wang Y, the author is in evidence due to the number of times cited (3673). Gao belongs to the Department of Geological Sciences, University of Florida-USA. Interestingly, these authors have networks that end up contributing to each other's work. Of these five authors mentioned above, only one is from the USA, the others are from China.

Table 4 - Authors who produced the largest number of publications on biochar and its institutions indexed in Scopus.

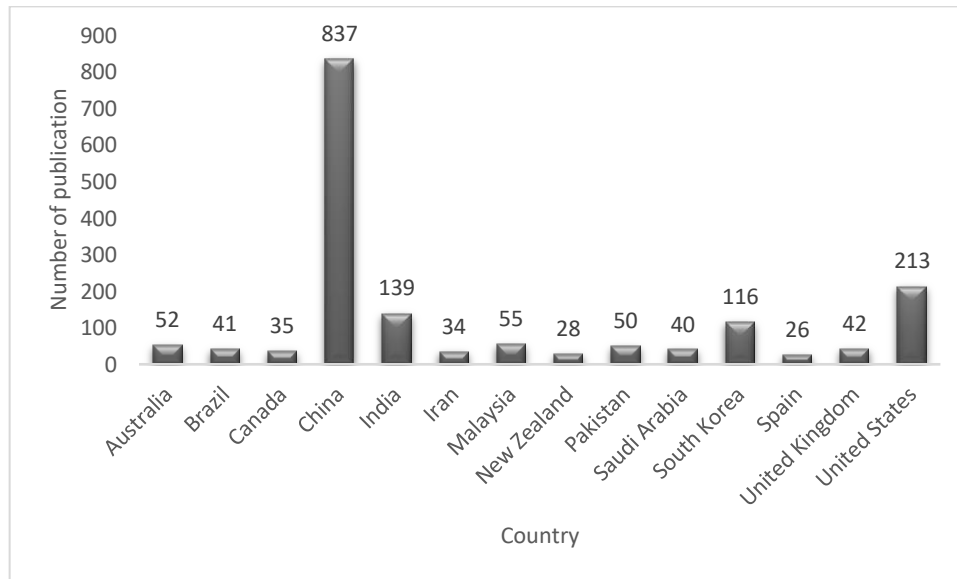
Author	Institution/Country	Number of publications	Citations
Li Y	Zhejiang Biochar Engineering Research Center, China	70	1291
Liu Y	College of Environmental Science and Engineering, Hunan University, Changsha, China Key Laboratory of Environmental Biology and Pollution Control, Hunan University, China	58	1118
Gao B	Department of Geological Sciences, University of Florida-USA	43	3673
Wang Y	Agricultural Clear Watershed Group, Instituto de Meio Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, China	50	935
Wang H	Department of Agricultural and Biological Engineering, University of Florida, USA	50	935

These authors' affiliations show that biochar research works in the areas of environmental engineering, environmental biology, geology and agriculture. In addition, two of the authors belong to the University of Florida, which is considered one of the most productive institutions (ABDELJAOUED *et al.*, 2020).

6.3.4 Countries

88 countries were found studying on the topic. Among these, China stands out, as so far it has contributed 837 works, followed by the USA (213), India (139) and South Korea (116) (Figure 2 - Number of publications and countries.). It is clear that China and the USA have a significant impact in this field of research (LI *et al.*, 2020; KIM *et al.*, 2016). Brazil published 41 papers in the area.

Figure 2 - Number of publications and countries.



This difference between China and the other countries, including Brazil, is linked to the incentive to research and development in the country. The two largest world markets that lead investment in research and development are the USA (US \$ 500 billion / year) and China (US \$ 408 billion / year), these two countries represent 62% of the global investment in the area. Brazil is in ninth place, investing (US \$ 42.1 billion), this represents 2.3% of the world investment in research and development. Brazil is still ahead of countries like Holland, Russia, Italy and Canada (REVISTA NEGÓCIOS, 2019; UFRGS, 2018).

In relation to publications, a study was presented in 2018 by the National Science Foundation (NSF) of the United States that pointed out that China produces more scientific articles in the world. Brazil was in 12th place among the countries with the largest number of published articles, with 53 thousand articles in 2016, while China, in the same year, published 426 thousand papers (UFRGS, 2018).

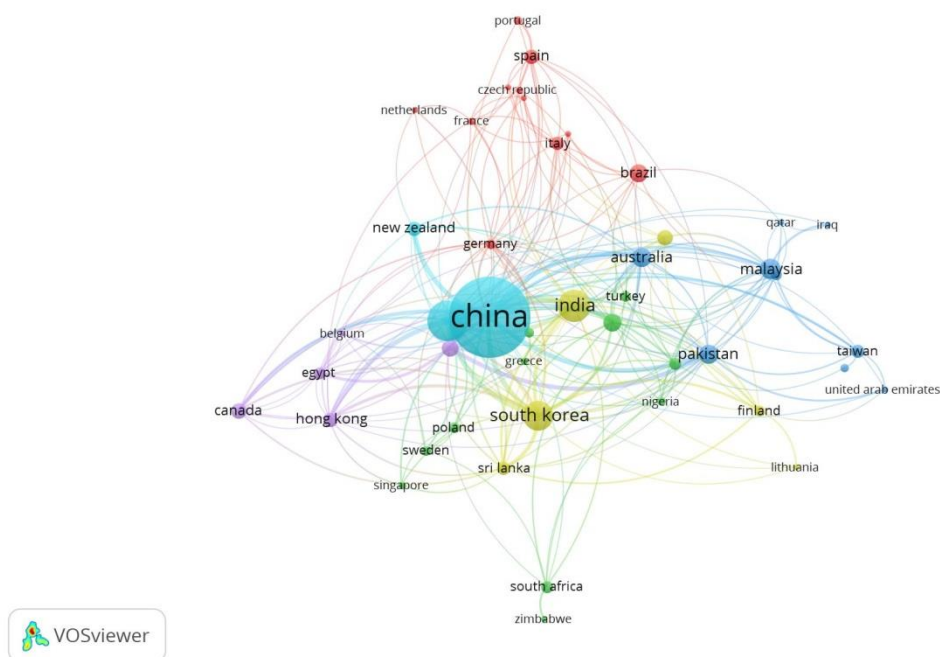
Brazil has seen an increase in its publications, this may have been due to graduate programs. According to the Ministry of Education (MEC, 2018), Brazil has 122,295 graduate students spread across 9296 graduate programs (SUCUPIRA, 2016). The country needs more financial incentives in education, research and technology to develop studies in all areas of knowledge.

Tangled lines in

Figure 3 show the partnerships made in works on adsorption with biochar.

China stands out for researching together with several countries like New Zealand, Pakistan, Australia and Malaysia. Brazil has working partnerships with Italy, Spain, Germany, Qatar, Pakistan and Vietnam. The language of the articles is predominantly English followed by Chinese. The Portuguese language appeared only in one article of the search.

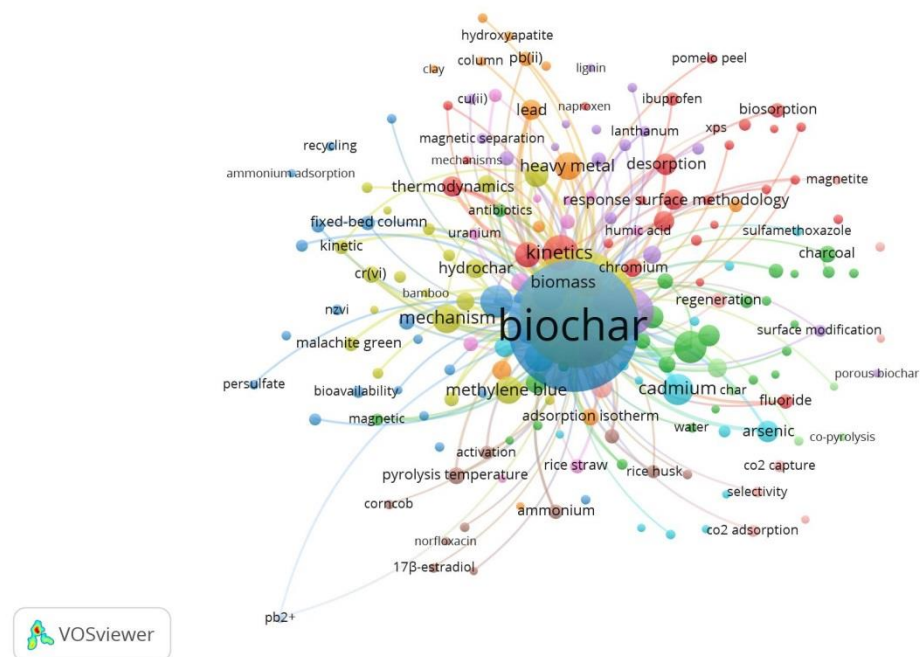
Figure 3 - Interrelation of countries that research together on Biochar indexed in Scopus.



6.3.5 Keywords

2895 authors' keywords were registered, of which 185 reached the limit of 5 minimum occurrences for mapping in VOSviewer. Results showed "Biochar" was the keyword with the most frequency, 729 and 1483 links to other keywords, in Figure 4, followed by the word "Adsorption" with a frequency of 586 and 1283 links to other keywords.

Figure 4 - Vosviewer mapping author keywords



In the mapping there was an overlap of the words biochar and adsorption, due to the large number of articles that use them in their keywords. Other terms such as "pyrolysis," Kinetics ", " Cadmium ", " heavy-metal ", " sorption ", " mechanism ", " isotherms ", " desorption " were also found. With the keywords, it can be observed that the ten most cited terms are linked to articles that contemplate the themes of burning, kinetics, adsorption, isotherms and desorption of biochar, evidencing in the works adsorption by biochar and the importance of the theme in research.

Through the keywords it is possible to trace the direction of the research. LI *et al.* (2019), noted that the behavior of research over the years 1999 through 2018 has changed. In the years 1999 to 2010, the key words that appeared the most were biochar, black carbon, charcoal, biogas, bio-oil, which reflected an initial stage of knowledge. In the second stage from 2011 to 2015, the keywords slow pyrolysis, fast pyrolysis, raw material, lignin, etc. Preparation, application of biochar for soil remediation and reduction of greenhouse gases, demonstrating an increase in knowledge and it is in this phase that this study fits, because the most relevant articles, listed in figure 1, are from the years 2011- 2013 and are associated with the topic of remediation and sorption.

In third phase, authors report that from 2015 to 2018 the focus is on a new field

of application of biochar, for aerobic digestion and microwave-based pyrolysis (LI *et al.*, 2019). From 2008 to 2018 there was a desire for research with main focuses on accumulation, remediation, and repair of trace elements in the soil (WU *et al.*, 2020).

6.3.6 Exploring the five relevant articles (2011-2021)

Following the list of the 20 most cited articles above (Table 5), this topic will analyse the five most relevant articles taking into account the number of citations.

All five articles have partnerships between China and the USA. Three of them were published in Bioresource Technology magazine, one in Hazardous Materials and the other in Chemical Engineer Journal. They cover several areas of knowledge, from soil sciences to microbiology and toxicology, agricultural engineering, geological sciences and civil engineering.

In the articles, authors made a generic introduction commenting on biochar potentials. And all made chemical and physical characterizations of the materials. Table 4 shows the titles of articles in order of relevance, year of publication, objectives and conclusions of the authors.

Table 5 - Title, year of publication, objectives and conclusions of the five most relevant articles indexed in Scopus.

(continue)

Title	Year	Objectives	Conclusions
Adsorption of copper and zinc by biochars produced from pyrolysis of hardwood and corn straw in aqueous solution	2011	Investigate mechanisms and sorption capacity of Cu and Zn by two biochars derived from hardwood and corn straw in aqueous solution.	The efficiency in the adsorption of metals by biochars decreased although the total removal increased with increasing doses. Cu competed with Zn when the concentration was greater than 1 nM
Preparation and characterization of a novel magnetic biochar for arsenic removal	2013	Evaluate the efficiency of cotton wood biochar with Fe ₂ O ₃ for removal of As (V) in aqueous medium	This material is an excellent adsorbent

Table 6 - Title, year of publication, objectives and conclusions of the five most relevant articles indexed in Scopus.

(continue)

Title	Year	Objectives	Conclusions
Biochar derived from anaerobically digested sugar beet tailings: Characterization and phosphate removal potential	2011	Determine whether anaerobically digested beet tailings can be effective in producing biochar. Evaluate the physicochemical properties and observe the phosphate removal capacity.	Anaerobic digestion increases phosphate adsorption capacity compared to undigested biochar.
Hydrogen peroxide modification enhances the ability of biochar (hydrochar) produced from hydrothermal carbonization of peanut hull to remove aqueous heavy metals: Batch and column tests	2012	The modification of hydrogen peroxide to increase the capacity of the biochar produced from the hydrothermal carbonization of peanut shells to remove heavy metals in aqueous solutions	The increase in oxygen from peroxide increases the adsorption of metals.
Removal of phosphate from aqueous solution by biochar derived from anaerobically digested sugar beet tailings	2011	Identify the mechanisms that govern phosphate adsorption in beet biochar and measure the kinetics and equilibrium isotherms of phosphate adsorption.	Phosphate removal was controlled mainly by adsorption in colloidal and nanometric particles of MgO on the biochar surface.

First article is a highly relevant study in the area by the number of citations. He worked with Cu and Zn sorption by biochar and showed their efficiencies. In the second work, what drew attention was the use of magnetic biochar, which according to the authors, after removing Arsenic, the material can be separated. The authors concluded the material is an excellent adsorbent.

The third study used anaerobically digested beet tailings to produce the biochar. In the fourth article, the authors worked with the modification of hydrogen peroxide to

increase the capacity of the biochar produced from the hydrothermal carbonization of peanut shells, to remove heavy metals in aqueous solutions. And the hydrogen peroxide oxygen increased the adsorption of metals. The fifth study observed, has the same theme already addressed in study cited number three, which worked with the removal of phosphate in aqueous solution with the same biochar derived from anaerobically digested beet tailings. In the previous article, authors characterized the biochar and tested its removal capacity and identified the mechanisms that govern phosphate adsorption in beet biochar and measured the kinetics and equilibrium isotherms of phosphate adsorption, thus complementing the study previously published. Authors concluded that there is a superior ability to remove phosphate from water under a pH range and competitive ion conditions. Batch sorption experiments and post-sorption characterizations suggested that phosphate removal was controlled mainly by adsorption on colloidal and nanometric particles of MgO on the biochar surface.

Sometimes the works are limited to only characterize the materials, due to the variety of options to produce different types of biochar and because applications and functions of biochar are highly dependent on the physicochemical properties (CAO; HARRIS, 2010). In this research area, the feeling that it gives is of no evolution as in other areas of study with biochar. For example, research is already well defined and based on burning. It is something that has already been studied and solved a lot, however this does not happen with the adsorptive power of the materials, due to the heterogeneity of the raw materials and the variables involved such as pH, temperature, doses, particle size, ASE, which type of organic adsorbate, inorganic, etc. This fact leads us to another question. Studies of biochar preparation by different methods of the same raw material, followed by adsorption with the same adsorbents are rare. Likewise, identical biochar preparations of the same material, followed by adsorption studies of the same biochar, are necessary to assess reproducibility (Dinesh *et al.*, 2019). The scientific work is done in a laboratory, there are no studies on a large scale. Among the studies analysed, there are no studies with soils and plants and applicability. They are limited to water and solutions, but it is also not applied in treatment plants, for example. It is known that biochar can be produced at low cost, but it does not have economic studies of production and feasibility for application.

6.3.7 Recommendations for future research

Based on this bibliometric analysis, the following is recommended for future research:

a) Economic studies of biochar production in biorefineries and companies in the industry for possible commercialization and implantation.

b) How could large-scale production improve soil quality in areas that are not productive for agriculture/contaminated and improve water quality? Assessing cost benefit.

c) Have a standard of methodology and material for the use of adsorption and remediation. As a production control to obtain the desired chemical and physical properties for adsorption. Some features will serve for small uses, while others will have high applicability. Detailed knowledge is needed to compare with other adsorbents. More understanding of the aspects of adsorption of biochar is needed, as the various types of adsorbates (organic and inorganic) are distributed along biochares at all levels (pores, internal surfaces and below pores, in all solid material).

d) Pollutant / contaminant removal needs to be studied more broadly, aiming not only at adsorptive capacity but also at recycling and disposal of material.

6.4 CONCLUSION

- Publications related to adsorption are growing in the last ten years.
- Bioresource Technology magazine stood out in the area.
- China has published most of the studies and especially the majority of authors are Chinese, also suggesting China's focus on this field. China and the USA are the most active countries in publications.

- Li.Y, Gao, B, Wang Y, Wang H were the main authors in this field of research and played a role in promoting the development and expansion of the field.

- The keywords most used by the authors were biochar and adsorption.
- The fields of study are diverse, but the strongest area in the subject is environmental sciences.

- In the future, long-term field experiments must be established to deepen the adsorption mechanisms. These studies will provide the theoretical basis for the promotion and large-scale application of biochar generating sustainable development

of the environment.

6.5 ACKNOWLEDGMENT

Thanks to CAPES and UDESC for their support in the research.

7 CAPÍTULO II - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA E POTENCIAL DE REMOÇÃO DE ZN POR BIOCARVÕES DE CASCA DE BANANA E DE PINUS

7.1 INTRODUÇÃO

O biocarvão é um subproduto estável, rico em carbono, sintetizado via pirólise de biomassa vegetal e animal (AHMED *et al.*, 2014). Caracterizam-se por ser de baixo custo e ambientalmente sustentáveis para a produção de adsorventes, com eficácia comparável ou superior aos carvões ativados utilizados comercialmente (ALLWAR, 2012). Ainda são adsorventes atrativos em função de sua alta ASE, elevada porosidade e alteração dos grupos funcionais resultantes do processo de queima (AHMED *et al.*, 2014; CHENG *et al.*, 2021). Os biocarvões, no geral, apresentam características favoráveis para interação com íons metálicos como Cu e Zn (RAO *et al.*, 2009; ACAR; EREN, 2006).

Atualmente, a biomassa é utilizada como um importante recurso energético (LUDEVESE-PASCUAL *et al.*, 2016) reduzindo a dependência de fontes de energia não renováveis como, por exemplo, o petróleo (JI *et al.*, 2016, SILVA *et al.*, 2019). O uso de biomassa para geração de energia desencadeia, conseqüentemente, a formação de biocarvão como resíduo (YUEN *et al.*, 2021). O uso desse biocarvão é uma alternativa para agregar valor ao material disponível nas indústrias (SILVA *et al.*, 2019).

Por sua vez, a utilização de biocarvão de casca da banana é uma alternativa promissora, devido à quantidade abundante deste resíduo, em consequência, ao elevado consumo mundial. No Brasil, estima-se que são gerados 2 milhões de toneladas deste resíduo anualmente (JUNG *et al.*, 2019).

O consumo da fruta, no Brasil refere-se a 26 kg de banana por ano por habitante. A maior parte do consumo no Brasil é in natura. Entretanto o principal produto industrializado da banana no Brasil é o purê, e este corresponde a 55% da exportação para países como Japão e Estados Unidos (EMBRAPA, 2008). Ainda há comercialização em produtos como barrinhas de cereais, banana-passa, chips, farinhas, doces e geleias (SEBRAE, 2016). E as cascas, por sua vez, são geralmente descartadas pela indústria e elas correspondem a 30 % da massa total da fruta (BARKRY *et al.*, 1997; EMAGA *et al.*, 2010). A utilização da casca de banana como biocarvão sustenta-se pela quantidade relevante de componentes lignocelulósicos,

(EMBRAPA, 2018; PEREIRA; NAGNAGNO, 2020), favorecendo a interação com substâncias inorgânicas e orgânicas, (XU *et al.*, 2018).

A caracterização física e química do biocarvão é importante, devido à heterogeneidade das matérias-primas e das condições envolvidas como temperatura, ponto isoelétrico, ASE, tamanho de partículas, entre outros (DORS *et al.*, 2021). É necessário ainda determinar a composição elementar do biocarvão, a presença de grupos funcionais de superfície, a estabilidade e estrutura (YAASHIKAA *et al.*, 2020), bem como a sua viabilidade econômica.

Os biocarvões são bons adsorventes de metais em solução. Porém, a capacidade de adsorção inclui alguns aspectos que influenciam este fim, como pH, tipo do poluente, concentração inicial dos íons metálicos, carga superficial, área superficial específica entre outros (IBRAHIM *et al.*, 2022).

O processo de adsorção envolve a fixação de um íon metálico ao local adsorvente e pode ocorrer de dois tipos: a fisissorção e quimissorção. Na fisissorção ou também física, a adsorção dá-se por forças de Van der Waals. Enquanto na quimissorção ou química, os adsorvatos são ligados a sítios ativos, ou seja, quimicamente ligados (IBRAHIM *et al.*, 2022).

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo caracterizar os biocarvões provenientes de Pinus (BP) e de casca de banana (BB) e a sua capacidade de remover Zn em meio aquoso.

7.2 MATERIAIS E MÉTODOS

As análises foram realizadas no Laboratório de Levantamento e Análise Ambiental no Departamento de Solos e Recursos Naturais, localizado no Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina. No período de 2019-2021

7.2.1 Produção de biocarvão

A BP é proveniente de biomassa florestal de *Pinus sp*, sendo cedida pela empresa Engie Brasil Energia, situada no município de Lages/SC. O material foi

coletado no lavador de gases após ser submetido ao processo de pirólise em fornalha com temperaturas entre 800 °C e 1000 °C (HENNE, 2019).

As cascas de banana foram cedidas por uma empresa que produz doces de banana no estado do RS. Para obtenção do BB, procedeu-se com a secagem do material a 60 °C em estufa de circulação de ar por 48 horas. Após a secagem, as cascas de banana foram colocadas em um forno mufla para o teste de queima, sendo vedadas todas as entradas do forno para evitar contato com O₂. Neste teste, foi pirolisado 10 g gramas de amostra seca, avaliando diferentes tempos de queima em temperatura de 600°C. A rampa de aquecimento foi de 7' 25" para atingir a temperatura desejada. Os tempos de pirólise avaliados foram de 60; 90; 120; 150 e 180 min.

A escolha do tempo de pirólise foi baseada no teor de carbono total obtido em TOC / TN Analytik Jena, modelo Multi 2100 Alemanha ®, para tanto, as amostras de biocarvão foram maceradas em grau de ágata e peneiradas em peneira de malha de 0,053 mm.

7.2.2 Análise química e física

Analisou-se o teor de Carbono e Nitrogênio total obtido em TOC/TN. Foi obtido, em triplicata, os valores de pH em água na relação 1:20, conforme descrito por EMBRAPA (1997) e ponto isoelétrico (PI) dos materiais adsorventes pelo método dos 11 pontos descrita por Robles e Regalbuto (2004).

A análise dos elementos químicos (Mg, K, P, S, Fe, Cu, Cr, Zn, Pb e Mn) presentes nas amostras foi efetuada por espectrômetro de fluorescência de raios-X por energia dispersiva, Panalytical, modelo Epsilon 3 ®, sendo que, como amostra referência, foi utilizado NIST 2709a soil San Joaquin.

Foram determinados os grupos funcionais do BP e BB através de análise em espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR). Os espectros foram obtidos em um espectrômetro Thermo-Fischer Scientific Nicolet 670, na faixa de comprimento de onda de 400-4000 cm⁻¹. Essas análises foram realizadas na Universidade de Coventry, na Inglaterra, no centro de Agroecology, Water and Resilience.

A análise da superfície dos materiais foi realizada por Microscopia Eletrônica

de Varredura (MEV), em uma escala de 1000 vezes. A determinação da porosidade foi realizada por meio da técnica de adsorção de nitrogênio em baixas temperaturas. Para tanto, a amostra foi preparada com ativação a 300°C em forno mufla por três horas e, posteriormente, resfriada em atmosfera inerte até 25°C. Após a preparação, a análise foi realizada em um equipamento com a marca Quantachome, modelo Quadrasorb evo, com software de processamento QyadraWin. O gás adsorvente utilizado é o Nitrogênio 5.0.

7.2.3 Remoção de Zn em meio aquoso

O método utilizado para avaliação da remoção de Zn em meio aquoso foi o descrito por AMIN *et al.* (2018). Os testes de remoção foram realizados para os tempos de contato de 1; 2;3 e 4h. Para tanto, utilizou-se 0,5 g dos materiais em 100 mL de solução de ZnSO₄.7H₂O na concentração de 300 mg L⁻¹ de Zn, sob agitação de 150 rpm e temperatura constante de 25°C. Para preparo da solução de Zn, foi utilizada água deionizada com ajuste para valor de pH 5,0, utilizando HNO₃ mol L⁻¹ e ou NaOH 0,1 mol L⁻¹.

Para os diferentes tempos de contato, o tempo de agitação foi de 30 min e o restante do tempo em repouso. Posteriormente as amostras foram centrifugadas a 3000 rpm por 10 min e filtradas com papel filtro qualitativo. Posteriormente, o Zn foi quantificado nas alíquotas em espectrofotometria de absorção atômica com atomização em chama ar-acetileno (AAS). Com a obtenção do tempo de contato foi realizado o teste de remoção de Zn nas doses crescentes 0, 60, 120, 180, 240 e 300 mg L⁻¹, utilizando a metodologia descrita por AMIN *et al.* (2018).

A capacidade de remoção dos materiais foi calculada por meio das equações:

$$q = (C_i - C_e) * \left(\frac{V}{M_m}\right) \quad (1)$$

$$M_{adc} = C_i * \left(\frac{V}{M_m}\right) \quad (2)$$

$$\%q = \frac{q}{M_{adc}} * 100 \quad (3)$$

onde, q é o Zn removido em mg kg⁻¹ de biocarvão; C_e é a concentração de equilíbrio após 1 h (mg L⁻¹); M_m é a massa do material (g); M_{adc} é o Zn adicionado em mg kg⁻¹

de material; C_i é a concentração inicial (mg kg^{-1}) de Zn; V é o volume da solução.

7.2.4 Análise dos dados

O ponto isoelétrico (PI) das amostras foi calculado a partir do ponto de inflexão das equações obtidas. Para o cálculo da Capacidade Máxima de Remoção (q) foi utilizado os valores de x ($C_e \text{ mg L}^{-1}$) e y ($q \text{ mg kg}^{-1}$) no ponto máximo da parábola obtida pela regressão polinomial de segunda ordem.

Os valores de C e N foram submetidos à análise de variância utilizando o teste de Tukey, considerando o nível de significância de 5%, com uso do programa SISVAR 5.7® e para os gráficos foi utilizado o SigmaPlot 12.5®. Todas as análises foram feitas em triplicata.

7.3 RESULTADOS

7.3.1 Análise química e física dos Biocarvões

O maior teor de C para BB (Tabela 1) foi obtido com 2 horas de pirólise, sendo definido este como o tempo necessário para a produção de BB. O teor de C do BP encontrado foi 23% maior que o de BB. Os teores de N para BP foram menores do que BB. Durante a pirólise ocorre perdas por volatilização do N. Os biocarvões caracterizam-se por sua alcalinidade, observado que o pH em água do BP foi de 9,0 e BB 9,5.

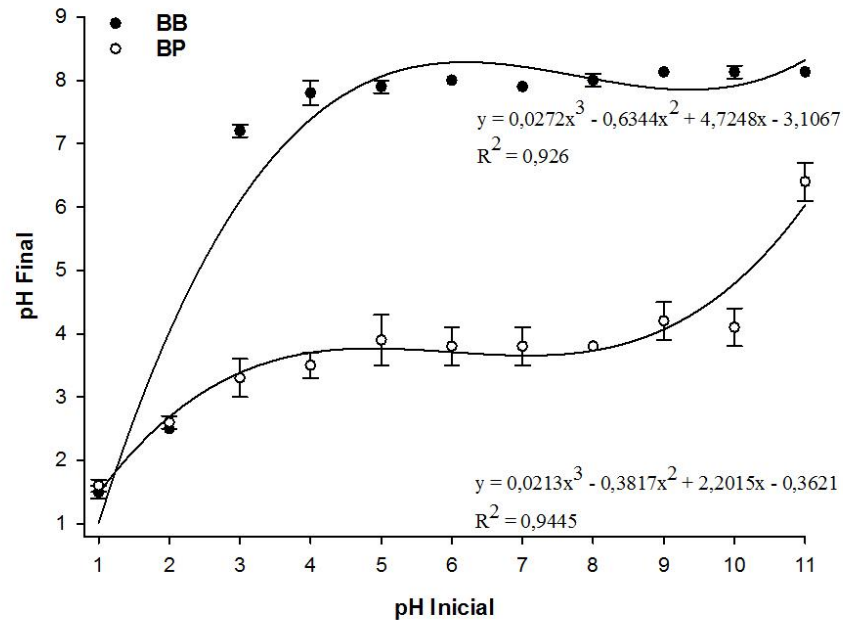
Tabela 1 - Porcentagem de carbono, nitrogênio e pH em água dos biocarvões BP e BB. Tukey 5%

Amostra	C	N	pH
BP	69,6 a	0,27 b	9,0 b
BB	46,6 b	1,35 a	9,5 a

7.3.2 Ponto Isoelétrico

O PI (Figura 2) determinado para BP e BB foram de 5,9 e 7,8, respectivamente. Isso significa que para BP a adsorção de cátions como o Zn ocorrem acima do pH 5,9, e para BB adsorção do Zn ocorrerá acima do pH 7,8.

Figura 2 - Ponto isoelétrico para BB (A) e BP (B).



7.3.3 Fluorescência de Raio X

Os teores médios dos elementos químicos obtidos via fluorescência de raio X são apresentados na Tabela 2, sendo expressos na sua forma elementar. Para o BB o teor de K encontrado foi maior que em BP. O valor de Mg para BB foi menor que em BP. O P apresenta os teores próximos para BB e BP.. Os teores de Zn são maiores para BB. O teor de Cu é sete vezes maior do que em BB e o Mn também apresenta teor maior para o BP.

Tabela 2 - Teores de elementos químicos para BB e BP obtidos por fluorescência de raios-X.

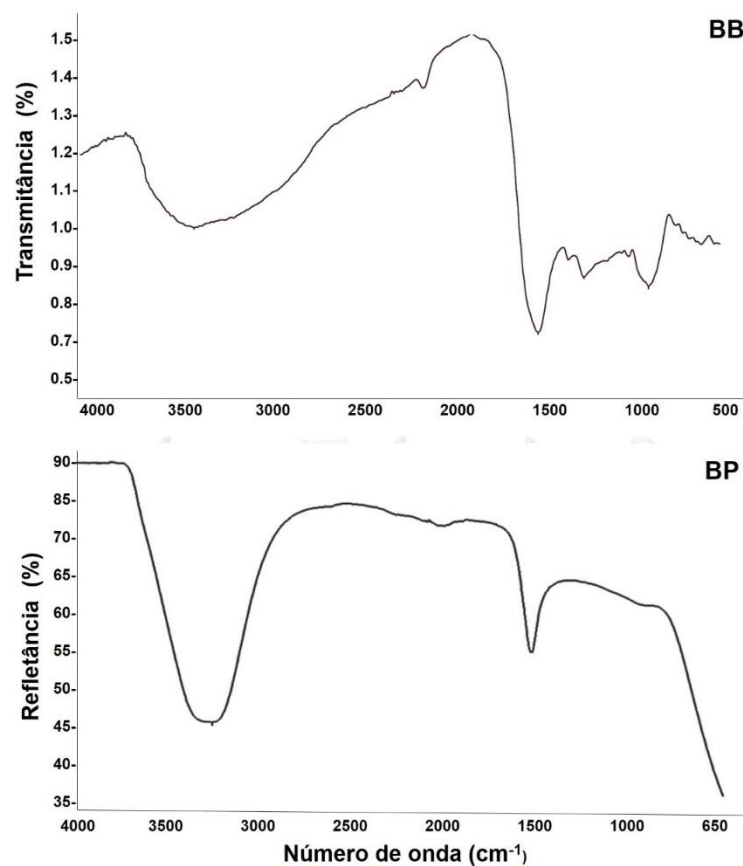
Material	Cu	Zn	S	Mg	K	P	Fe	Mn	Pb
	-----mg Kg ⁻¹ -----			-----%-----					
BB	66,5	1777,7	1681,3	1,6	32,8	0,5	0,1	0,09	0,002
BP	468,5	945	23813	1,8	2,6	0,6	7,3	1,34	0,005
NIST certificado*	34,6	106	--	1,5	2	--	3,5	0,05	--
NIST determinado	39,9	120,4	--	2	1,2	--	2,3	0,05	--

*NIST 2709 Soil San Joaquin.

7.3.4 FT-IR, MEV e BET

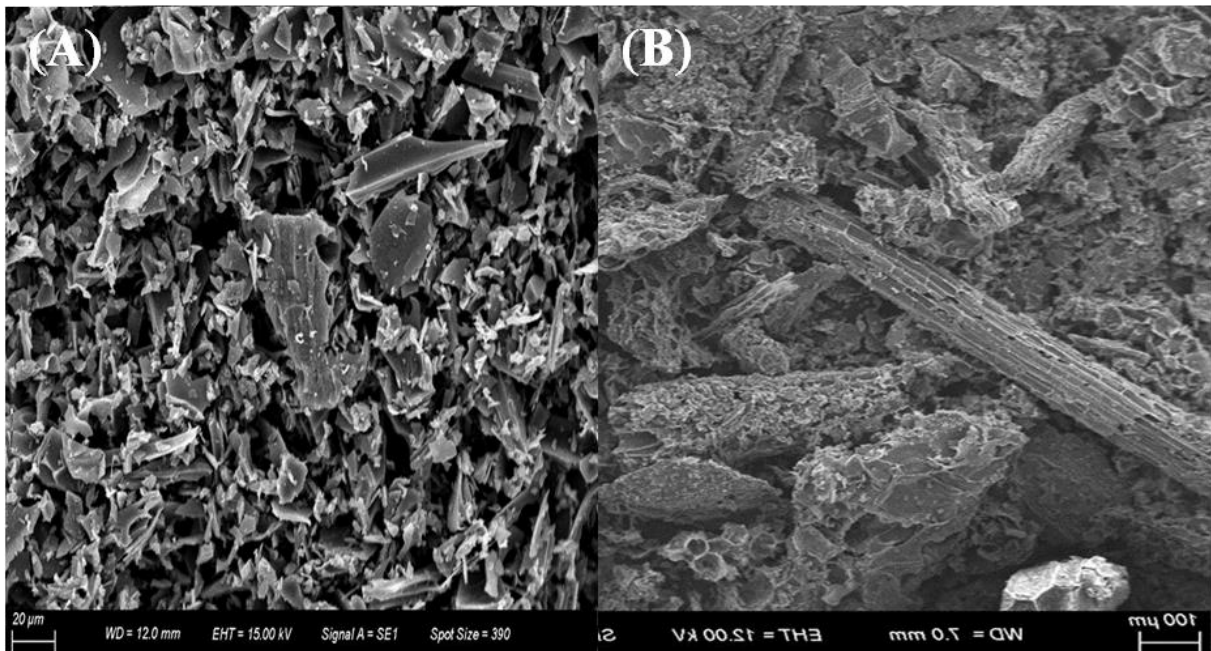
Os espectros do FT-IR (Figura 3) sugerem que, os principais grupos funcionais encontrados na estrutura do BB são OH livre, OH da celulose, C=O (aminas) e radicais metil. Enquanto que, na estrutura do BP estão presentes os grupos OH livres ou isolados, C=C, aminas e anéis aromáticos.

Figura 3 - Figura representa espectros do FT-IR para BB (a) e BP(b).



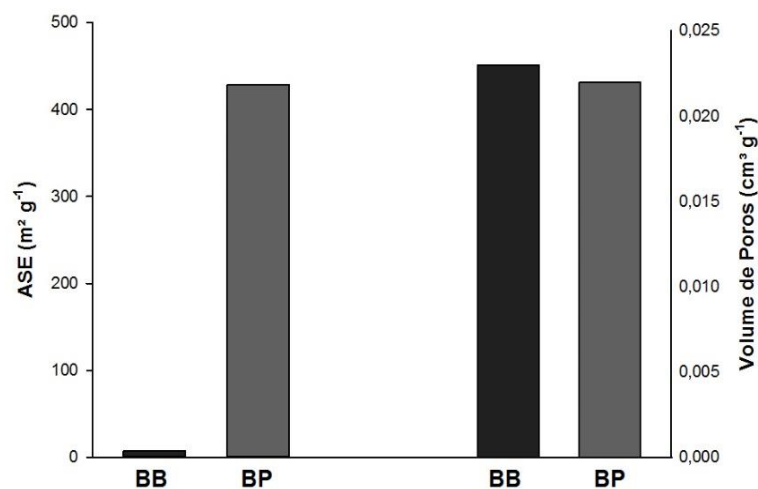
Os espectros obtidos por MEV (Figura 4) indicam que a superfície do BB possui poucos feixes em forma de barras, caracterizando-se por uma morfologia irregular e heterogênea com aparência áspera e porosa. Por sua vez, o BP possui estruturas em feixes, homogêneas, regulares e com superfície porosa.

Figura 4 - Espectros de MEV do biocarvão de BB (A) e BP (B) com ampliação de 1000 vezes.



A Área superficial específica (ASE) (Figura 5) observada para BB foi de 7,13 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$, e BP foi de 428,34 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$, sendo 58 vezes superior ao BB. O volume de poros de 0,022 $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$ para BP. O volume de poros é semelhante para os biocarvões, 0,023 e 0,022 $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$ para BB e BP, respectivamente.

Figura 5 - Valores de ASE e volume de poros para BB e BP por meio do método BET.

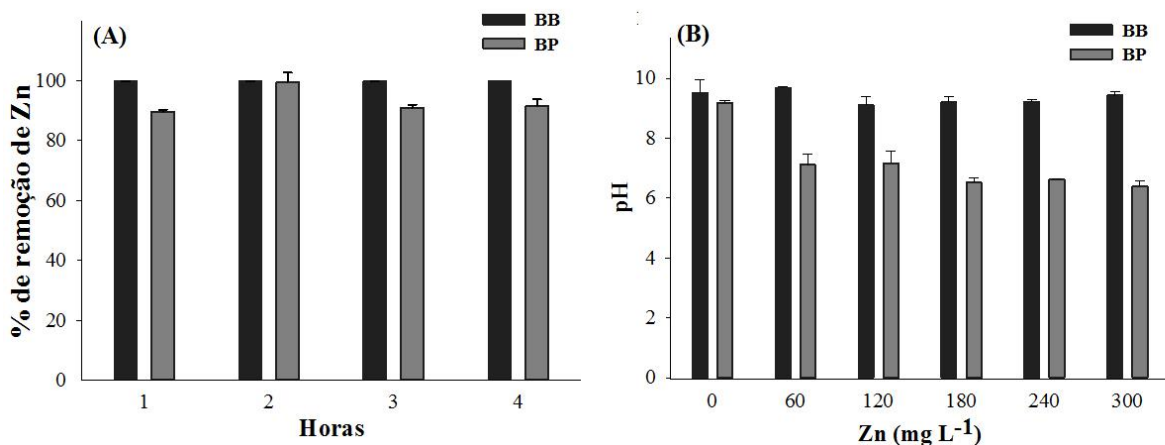


7.3.5 Remoção de Zn

A porcentagem de remoção de Zn no tempo de contato de 2 horas (Figura 6) foi semelhante entre o BB e o BP. Neste tempo, a porcentagem de remoção do Zn foi maior para ambos os biocarvões.

A porcentagem de remoção de Zn no BB foi semelhante em todos os tempos avaliados. Enquanto que, para o BP na primeira hora de contato a remoção foi em torno de 90%, aumentando no tempo de duas horas e tornando a reduzir para 90% nas próximas três e quatro horas de contato (Figura 6).

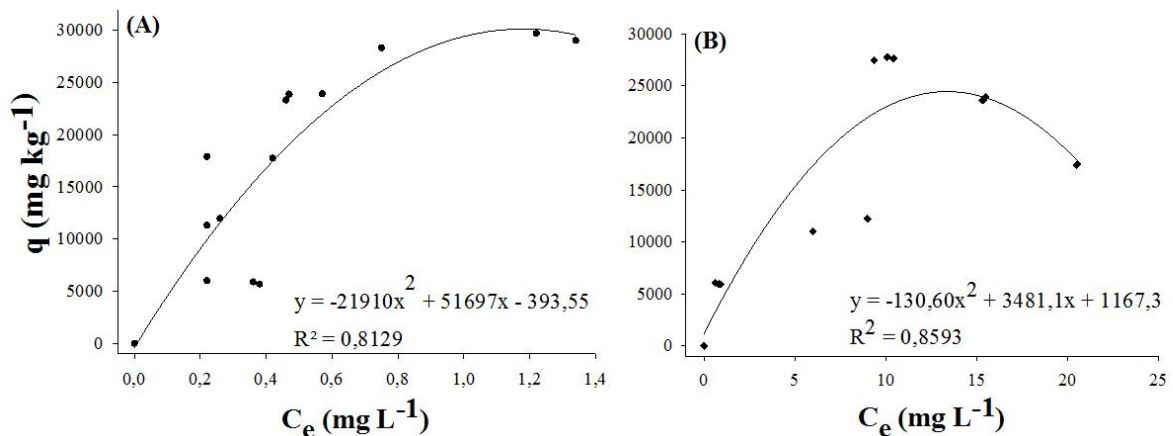
Figura 6 - Porcentagem de remoção de Zn (A) em diferentes tempos de contato e valores de pH observados após tempo de contato de 2h (B)



Para o BB, conforme aumenta a concentração inicial (C_i) de 0 para 300 mg L⁻¹ de Zn, não ocorre a alteração do pH, mantendo-se entre os valores de pH 9,0 e 10,0. Entretanto para BP com o aumento da C_i há uma redução nos valores de pH da solução final, ou seja, o pH em torno de 8,5 é observado na dose 0 mg L⁻¹ de Zn, reduzindo para pH 6,0 na dose de 300 mg L⁻¹ de Zn.

Os valores de capacidade máxima de remoção (q) podem ser observados na Figura 7. O BB apresentou a maior capacidade máxima de remoção de Zn, com um valor de 30 g kg⁻¹, enquanto a valor de q para BP foi 24,4 g kg⁻¹.

Figura 7 - Capacidade máxima de remoção (q) de Zn utilizando BB (A) e BP (B).



7.4 DISCUSSÃO

7.4.1 Análise química e física dos Biocarvões

As perdas por volatilização são desprezíveis quando a produção do biocarvão, como o BP, ocorrem em elevadas temperaturas (> 800°C). Pesquisas anteriores sugerem que a aromaticidade do biocarvão, formado em temperaturas mais elevadas, são maiores e com baixa relação H/C e O/C quando comparados com biocarvões produzidos em temperaturas menores (WEI et al., 2017). Assim, biocarvão produzido em altas temperaturas possui uma estrutura aproximada a do grafite, com cadeia carbônica de alta estabilidade química e resistência à degradação (MAIA, 2013; FEITOSA *et al.*, 2020). Portanto os teores de C do BP indicam um biocarvão com maior recalcitrância.

O BP possui menor porcentagem de N (0,27%) (Tabela 1), o que pode ser associado à pirólise, pois durante o processo há volatilização de N. Quando a pirólise ocorre em temperaturas abaixo de 600 °C, a volatilização do nitrogênio ocorre tanto na forma de NH₄ e de NH₃ (QUINKER; WEBER, 2016). Entretanto quando a pirólise ocorre em temperaturas maiores, a perda do nitrogênio ocorre via molécula piridina (C₅H₅N), como no caso de BP e BB. Feitosa *et al.* (2020), encontraram valores próximos ao deste trabalho para N em biocarvão de casca de banana. Zhang *et al.* (2021), relatam em BB valores de 1,23% de N em temperatura de 750 °C.

Os pH em água tanto para BP quanto para BB foram superiores a 7,0, pois são materiais alcalinos (Tabela 1). Os biocarvões são alcalinos devido a sua composição

heterogênea e complexa bem como também devido as quebras e rearranjos das ligações que ocorrem durante a pirólise, resultando na formação de vários grupos funcionais (BOURKE et al., 2007). Feitosa et al. (2020) e Karim et al. (2014) encontraram valores semelhantes para BB. Não foram encontrados valores para BP na literatura.

Considerando o PI dos biocarvões, a carga superficial torna-se positiva em pH abaixo de 5,9 (BP) e 7,8 (BB), causando repulsão eletrostática ao Zn^{+2} . Enquanto que acima destes valores de pH (5,9 e 7,8) a carga superficial dos biocarvões torna-se negativa, aumentando a capacidade de adsorção de Zn^{+2} (WANG et al., 2018b). Com o aumento do pH da solução ocorre a hidrólise do íon metálico e a dissociação dos grupos funcionais orgânicos de caráter ácido e a carga negativa aumenta, favorecendo a desprotonação dos grupos funcionais e aumentando a capacidade de

O teor de K para BB é maior que para BP corresponde a 2,6%. A banana é uma fruta que possui teores elevados de K, sendo que, a cada 100 g de fruta há um total de 358 mg de K. Em compensação, o *Pinus* sp possui um teor baixo de K, o que reflete em seu biocarvão. Os teores observados na tabela 2 para Mg, no BB ficaram próximos a de Gondim et al. (2005), o qual relatou valores de 2,9%. Por sua vez, no BP o teor de Mg foi de 1,8%. Para o P em BB os valores corroboraram com os observados por Feitosa et al. (2020), que foi de 0,5%. Lehman e Joseph (2015), afirmam que o elemento P é encontrado em maiores quantidades nos biocarvões de origem animal e não vegetal, o que explica os teores de P para BB e BP não atingirem 1%.

Os maiores teores de Cu e Mn foram observados no BP e Zn para BB. Essa condição é reflexo da composição do biocarvão, a qual depende da espécie e da parte da planta que foi pirolisada (SAIDUR et al., 2011). O elemento Cu pode variar de acordo com a temperatura de pirólise, Feitosa et al. (2020), com a casca da banana *in natura* obteve 214 mg Kg^{-1} de Cu, e em uma temperatura de 400°C obteve um teor de 22 mg Kg^{-1} , com o aumento da temperatura esses valores também elevaram-se, devido ao efeito de concentração pela redução dos elementos voláteis (FEITOSA et al., 2020). O fato ocorre visivelmente para BP, que possui um teor de Cu maior que BB, uma vez que o BP foi pirolisado a uma temperatura maior.

Os valores de Zn e Cu para BB e BP corroboram com os valores certificados pelo IBI (2014), sendo 7000 mg kg^{-1} de Zn e 1500 mg kg^{-1} de Cu. Portanto os biocarvões são seguros para a uso na adsorção de metais em soluções aquosas.

No BB é possível observar (Figura 3a) as principais bandas nos comprimentos de onda de 3700 e 4000 cm^{-1} que se refere a OH isolados ou livres (PUZIY *et al.*, 2003). A banda de pico 3395 é atribuída ao estiramento vibracional axial do grupo OH provenientes da celulose (CRUZ, 2009; THIRUMAVALAVAN, 2011), pois trata-se de uma banda forte e larga, resultante da associação polimérica. A banda 1615 cm^{-1} é atribuída à vibração de deformação axial de C=O de amidas N- substituídas. É interessante a preservação dos grupos reativos oxigenados e nitrogenados na superfície do biocarvão, pois poderá atuar como complexantes de íons metálicos, retenção de água e controle de pH em solos. A absorção na região da banda 1379 cm^{-1} está associada a diversos tipos de vibração, como deformações axiais e angulares, sendo nesta banda atribuída a CH_3 , radical dimetil. As bandas 1020 a 1300 cm^{-1} pertencem ao grupo orgânico CO. Os espectros revelados corroboram com os espectros observados por Rajoriya e Kaur (2014) em biocarvão de casca de banana.

Para BP (Figura 3b), a banda 3662 cm^{-1} representa a hidroxila livre OH. A absorção 2361 e 1600 cm^{-1} é atribuído a C=C e C=O. São vibrações de núcleos aromáticos, condensados e fenólicos que se tornam mais evidentes com o aumento da temperatura de pirólise (KWANG *et al.*, 2012), garantindo ao BP uma estabilidade química superior ao BB. Os espectros observados neste trabalho são próximos dos vistos por Resende (2013) em biocarvão de *Pinus sp.*

Para ambos os materiais há presença de C=O e OH, sendo reativos a íons metálicos. Contudo, o BP possui ligações mais fortes em consequência da presença de anéis aromáticos e fenóis (1250 cm^{-1}), enquanto que o BB não possui anel aromático.

As diferenças entre as superfícies do BB e do BP estão relacionadas com a matéria-prima dos biocarvões, pois suas características morfológicas são particulares, como visto nos resultados de FTIR (Figura 3a e 2b).

Os valores de ASE para BB são baixos em relação ao BP (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Os valores observados no presente estudo para BB são próximos aos de Deng *et al.* (2020b) de 2,75 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ a 600 °C, bem como de JIANG *et al.* (2020) de 7,02 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ em 500°C para biocarvões de casca de banana.

Um fator importante é a temperatura de pirólise, como já mencionado anteriormente, quanto mais elevada for a temperatura, maior a aromaticidade da cadeia e, conseqüentemente, a geração de microporos e macroporos, os quais são relacionadas a maiores áreas específicas no biocarvão (YUAN *et al.*, 2013). Como

observado para BP (Tabela 2), já que no processo de pirólise ocorre a liberação de alcatrão, o qual é formado pela decomposição molecular da celulose, lignina, hemicelulose e outros componentes em alta temperatura (BLANCO *et al.*, 2002), formando o biocarvão com uma alta ASE. Os valores de ASE e volume dos poros para BP assemelham-se aos valores encontrados por Chen *et al.* (2018).

7.4.2 Remoção de Zn

A maior porcentagem de remoção de Zn foi obtida para ambos os biocarvões em um tempo de contato de 2 horas (Figura 6), sendo que o mesmo comportamento foi observado por Han e Hyaun (2021), Anil *et al.* (2021) e Aladipo *et al.* (2019).

A relação doses de Zn (mg L^{-1}) e pH podem ser observadas na Figura 7. Para BB, o aumento da concentração inicial de Zn não resultou em alteração nos valores de pH, o que se sugere que a remoção ocorre por mecanismos físicos, ou seja, a ligação do adsorvato à superfície do adsorvente envolve uma interação relativamente fraca que pode ser atribuída às forças de Van der Waals, que são similares às forças de coesão molecular (NASCIMENTO *et al.*, 2014). Porém, mesmo sendo interações fracas, podem ter longo alcance (SERTOLI, 2018). Em valores de pH 7 a forma predominante é Zn^{+2} , todavia, com aumento do pH para 8,0, situação do BB, o Zn converte-se para a forma insolúvel $\text{Zn}(\text{OH})_2$, ocorrendo o fenômeno de precipitação do Zn (ALBRECHT *et al.*, 2011). A presença OH livres ou isolados observada no gráfico de FTIR (Figura 3), corrobora o fenômeno de precipitação. Além da precipitação, pode ocorrer a complexação, devido à presença de OH e CH (CHAO *et al.*, 2020).

Para BP, o aumento da concentração inicial resultou em diminuição do valor de pH, o que sugere adsorção química. Esse processo envolve a troca ou partilha de elétrons entre as moléculas do adsorvato e a superfície do adsorvente. Resultando, essencialmente, numa nova ligação química e, portanto, bem mais forte que as ligações observadas nos mecanismos de adsorção físicos (NASCIMENTO *et al.*, 2014). A adsorção química é específica, é um processo irreversível e dependente do pH e que resulta na desprotonação da superfície (CAMARGO, 2006; SERTOLI, 2018) ou seja, a cada Zn^{+2} adsorvido há a saída de 2 H^+ . Fernandes *et al.* (2019), também observaram que biocarvão de eucaliptos se comportam como o BP.

As hidroxilas e carbonilas que ambos possuem são capazes de reagir com íons

de Cu e Zn em meio aquoso. (CRUZ, 2009; THIRUMAVALAVAN, 2011). Entretanto os biocarvões possuem mecanismos de remoção específicos.

A presença dos grupos funcionais OH e fenóis nos biocarvões podem levar ao entendimento da capacidade de complexação do Zn. Muitos grupos orgânicos podem ligar-se a um cátion isoladamente, levando ao aparecimento do efeito de quelação ou pontes de cátions, entre os grupos orgânicos (SCHULTENIBI,1995). Os metais complexados como o Zn não necessariamente estarão em sua forma dissociada, pois podem ser adsorvidos via forças de Van der Waals (SILVA, 2019).

A Capacidade Máxima de Remoção (q) de Zn (Figura 7) foi maior para BB. Com base nos resultados anteriormente apresentados, tem-se que o BB remove o Zn fisicamente e por precipitação, assim, a q se torna maior. O BP possui menor q, sendo o mecanismo de remoção químico, tornando mais efetiva a remoção do Zn.

Tanto BB quanto BP são eficientes na remoção de Zn de soluções aquosas, quando comparados com outros biocarvões como eucalipto, a q de 6,4 g kg⁻¹, Nogueira 2,0 g kg⁻¹, Videira 2,8 g kg⁻¹ (FERNANDES *et al.*, 2019). Portanto o BB e BP são bons materiais.

Contudo, analisando toda a caracterização apresentada para BB e BP, é possível dizer que, visando a aplicabilidade e uso prático dos biocarvões, embora o BB apresente a maior porcentagem de remoção de Zn (30 g kg⁻¹), o custo de produção do biocarvão em comparação com o BP torna-se menos viável, já que BP é um resíduo da indústria Engie Energia Brasil.

7.5 CONCLUSÃO

O biocarvão produzido a partir da casca de banana é um material alcalino com alto valor de PI e ASE. O biocarvão de casca de Pinus é mais rico em C, alcalino, com alta ASE e PI inferior ao do biocarvão de casca de banana.

A maior porcentagem de remoção de Zn foi obtida para ambos os biocarvões em um tempo de contato de 2 horas. Os biocarvões apresentaram alta capacidade de remoção de Zn em solução aquosa, entretanto, a maior porcentagem de remoção de Zn foi obtida o biocarvão de casca de banana.

REFERÊNCIAS

- ABDELHAFEZ, A.; LI, J.; ABBAS, M.H. Feasibility of biochar manufactured from organic wastes on the stabilization of heavy metals in a metal smelter contaminated soil. **Chemosphere**, v.117, p.66-71, dez. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.05.086>. Acesso em: 30 jun 2021.
- ABDELJAOUED, E.; BRULÉ, M.; TAYIBI, S. Bibliometric analysis of the evolution of research trends and scientific production of biochar. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 22, p.1967–1997, nov. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10098-020-01969-x>. Acesso em:14 ago.2021.
- ACAR, F.N.; EREN, Z. Removal of Cu (II) ions by activated poplar sawdust (Samsun Clone) from aqueous solutions. **Journal of Hazardous Materials**, v. 137, n. 2, p. 909-914, set. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.03.014>. Acesso em:13 ago. 2021.
- AGEITEC – Agência Embrapa de Informação Tecnológica. 2018. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>. Acesso: 13 jan.022.
- AHMAD, M.; RAJAPAKSHA, A.U.; LIM, J.E.; ZHANG, M.; BOLAN, N.; MOHAN, D.; VITHANAGE, M.; LEE, S.S.; OK, Y.S. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review. **Chemosphere**, v. 99, p. 19-33, mar. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.10.071>. Acesso em: 5 ago.2021.
- AHMAD, T.; DANISH, M. Perspectivas da utilização de resíduos de banana no tratamento de águas residuais: uma revisão. **Journal of Environmental Management**, v. 206, p. 330-348, jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.061>. Acesso em: 21 ago.2021.
- AHMAD,M.; RAJAPAKSHA, A.U.; LIM, J.E.; ZHANG,M.; BOLAN, N.; MOHAN, D.;VITHANAGE, M.; LEE, S.S.; OK, Y.S. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review. **Chemosphere**, v. 99, p. 19-33, mar. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.10.071>. Acesso em: 22 ago.2021.
- AHMED, S.F., AHMED; VANGA, S.; RAGHAVAN, V. Global Bibliometric Analysis of the Research in Biochar. **Journal of Agricultural & Food Information**, v.19, n.3 p. 228-236, dez. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/10496505.2017.1403328>. Acesso em:12 jun.2021.
- AJMAL, Z.,MUHMOOD,A., DONG,R., WU ,S. Probing the efficiency of biochar derived from magnetically modified biomass for effective removal of phosphate **Journal of Environmental Management**, v. 253, p. 109730, jan. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109730>
- ALBRECHT, T.; ADDAI-MENSAH, J.; FORNASIERO, D. Effect of pH, concentration and temperature on copper and zinc hydroxide formation/precipitation in solution. *In: ENGINEERS AUSTRALIA; INSTITUTION OF CHEMICAL ENGINEERS NEW ZEALAND; ROYAL AUSTRALIAN CHEMICAL INSTITUTE. Chemeca 2011: Engineering a Better World: Sydney Hilton Hotel, NSW, Australia, 18-21*

September 2011. Barton: Engineers Australia, 2011. p. 2100-2110.

ALBUQUERQUE, J.A.; SALAZAR, P.; BARRON., V., TORRENT, J., VILLAR. R. Increased wheat production by biochar under different levels of fertilization mineral. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 33, p. 475–484, jan. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0128-3>. Acesso em: 16 julh.2021.

ALLWAR, A. Characteristics of pore structures and surface chemistry of activated carbons by physisorption, FT-IR and Boehm method. **Journal of Applied Chemistry**, v.2, n. 1, p. 9-15, set-out. 2012. DOI: <https://doi.org/10.9790/5736-0210915>. Acesso em: 20 jun 2021.

ALVES, B.Q.S.; ZELAYA, K.P.S.; COLEN, F.; FRAZÃO, L.A.; NAPOLI, A.; PARIKH, S.J.; FERNANDES, L.A. Effect of sewage sludge and sugarcane bagasse biochar on soil properties and sugar beet production. **Pedosphere**, v. 31, n. 4, p. 572-582, ago. 2021, DOI: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(21\)60003-6](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(21)60003-6). Acesso em:

AMIN, M.T.; ALAZBA, A.A.; SHAFIQ, M. Comparative study for adsorption of methylene blue dye on biochar derived from orange peel and banana biomass in aqueous solutions. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 191, p. 735, out. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7915>. Acesso em:

ANIL,K.S.; BAGHEL,P.; ANAND, A.; VIJAY, V.K.; KAUSHAL, V. ,A comparative study of physical and chemical activation of rice straw derived biochar to enhance Zn⁺² adsorption. **Bioresource Technology Reports**, v. 15, p. 100774, set. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100774>. Acesso em: 12 dez.2021.

ARFAOUI, A.; IBRAHIMI, K.;TRABELSI, F. Biochar application to soil in arid conditions: a bibliometric study of research status and trends. **Arabian Journal of Geosciences**, v.12, jan. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12517-018-4166-2>. Acesso em: 16 jul.2021.

BAGREEV, A.; BANDOSZ, T.J.; LOCKE, D.C. Pore structure and surface chemistry of adsorbents obtained by pyrolysis of sewage sludge-derived fertilizer. **Carbon**, v. 39, n. 13, p. 1971–1979, nov. 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0008-6223\(01\)00026-4](https://doi.org/10.1016/S0008-6223(01)00026-4). Acesso em:5 agost. 2020.

BAKRY, F.; CARREL, F.; CARUANA, M. L.; COTE, F. X.; JENNY, C.; TEZENAS, D. H. Les bananiers. *In*: CHARRIER, A.; JACQUOT, M.; HAMON. S.; NICOLAS, D. **L'amélioration des plantes tropicales**, Montpellier: CIRAD/ORSTOM, 1997, p. 109– 139.

BASU, P. **Biomass gasification and pyrolysis - Practical Design and Theory**. Academic Press, 2010.

BLANCO, L.M.C.; Blanco, C.G.; Martínez-Alonso, A.; Tascón, J.M.D. Composition of gases released during olive stones pyrolysis. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 65, n. 2, p. 313-322, dez. 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0165-2370\(02\)00008-6](https://doi.org/10.1016/S0165-2370(02)00008-6). Acesso em: 2 jul.2021.

BOURKE, J.; MANLEY-HARRIS, M.; FUSHIMI, C.; DOWAKI, K.; NUNOURA, T.; ANTAL JUNIOR, M.J. (2007). Do all carbonized charcoals have the same structure? A model of the chemical structure of carbonized charcoal. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 46, n. 18, p. 5954- 5967, ago, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1021/ie070415u>. Acesso em 10 mar. 2022.

BRACMORT, K. Biochar: examination of an emerging concept to mitigate climate change. *In*: CONGRESSIONAL RESEARCH SERVICE REPORT, mai. 2010.

Disponível em:

https://www.everycrsreport.com/files/20100524_R40186_6d9ea482703d17f1bb3ab1446cd1151b9e94cfb0.pdf. Acesso em:

BROWN, R. Biochar production technology. *In*: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for environmental management: science and technology**. London: Earthscan, 2009. p. 127-148.

BUTMAN, S.; DEENIK, J.L.; TOOMSAN, B.; ANTAL, M.J.; VITYAKON, P. Biochar characteristics and application rates affecting corn growth and properties of soils contrasting in texture and mineralogy. **Geoderma**, v. 237-238, p. 105-116, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.08.010>. Acesso em: 22 jul.2021.

CAMARGO, O.A. Reações e interações de micronutrientes no solo. 2006. **Artigo em hipertexto**. Disponível em:

www.infobibos.com/Artigos/2006_3/micronutrientes/Index.htm. Acesso em: 5 agost.2021.

CAO, X.; HARRIS, W. Properties of dairy-manure-derived biochar pertinent to its potential use in remediation. **Bioresource Technology**, v.101, n. 14, p. 5222-5228, jul. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.02.052>. Acesso em: 10 nov.2021.

CAO, X.; TANG, J.; OK, Y.S. Ball milling as a mechanochemical technology for fabrication of novel biochar nanomaterials. **Bioresource Technology**, v. 312, p. 123613, set. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123613>. Acesso em: 22 set.2021.

CHA, J.S.; PARK, S.H.; JUNG, S.C.; RYU, C.; JEON, J.K.; SHIN, M.C.; PARK, Y.K. Production and utilization of biochar: A review. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 40, p. 1-15, ago. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2016.06.002>. Acesso em: 15 nov.2021.

CHAN, K.Y.; XU, Z. Biochar: Nutrient Properties and Their Enhancement. *In*: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for environmental management: science and technology**. Londres: Earthscan, 2009. p. 67-84.

CHEN, H.; LI, C.; WANG, J.; XU, H.; LIU, Y.; ZHANG, Z.; LI, Y. ZHANG, Y. Adsorption of cadmium and lead ions by phosphoric acid-modified biochar generated from chicken feather: Selective adsorption and influence of dissolved organic matter. **Bioresource Technology**, v. 292, 0.121948, nov. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121948>. Acesso em: 12. Set.2021.

CHEN, T.; ZHANG, Y.; WANG, H.; LU, W.; ZHOU, Z.; ZHANG, Y.; REN, L. Influence of pyrolysis temperature on characteristics and heavy metal adsorptive performance of biochar derived from municipal sewage sludge. **Bioresource Technology**, v. 164, p. 47–54, jul. 2014a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.04.048>. Acesso em: 12 set.2021.

CHEN, Y.; YANG, H.; WANG, X.; ZHAN, A.; CHEN, H. Biomass-based pyrolytic polygeneration system on cotton stalk pyrolysis: Influence of temperature. **Bioresource Technology**, v. 107, p. 411-418, mar. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.10.074>. Acesso em: 12 set.2021.

CHEN, Y.; YUAN, H.; LU, T. ; WANG, Y.; HUANG, H. Influence of pyrolysis temperature and holding time on properties of biochar derived from medicinal herb (radix isatidis) residue and its effect on soil CO₂ emission. **Journal of Analytical and Pirolysis**, v. 110, p. 277-284, nov. 2014b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2014.09.016>. Acesso em: 16 nov.2021.

CHENG, N.; WANG, B.; WU, P.; LEE, X.; XING, Y.; CHEN, M.; GAO, B. Adsorption of emerging contaminants from water and wastewater by modified biochar: a review. **Environmental Pollution**, v. 273, p. 116448, mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116448>. Acesso em: 15 out.2021.

CHIDUMAYO, E.N. Effects of wood carbonization on soil and initial development of seedlings in miombo woodland, Zambia. **Forest Ecology and Management**, v. 70, n. 1-3, p. 353-357, dez. 1994. DOI: [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(94\)90101-5](https://doi.org/10.1016/0378-1127(94)90101-5). Acesso em: 10 set .2021.

CONZ, R.F. **Caracterização de matérias-primas e biochars para aplicação na agricultura**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Cultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2015. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-13052015-142608/publico/Rafaela_Feola_Conz_versao_revisada.pdf. Acesso em: 10 agost.2021.

CRAVEIRO, A.C. Química geral e orgânica. 3. ed. Fortaleza: Editora da Universidade Estadual do Ceará-EdUECE, 2013.

CRUZ, M.A.R.F., **Utilização da casca de banana como bioissorvente**, Dissertação (Mestrado em Química dos Recursos Naturais) - Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

DAI, Y.; ZHANG, N.; XING, C.; CUI, Q.; SUN, Q. The adsorption, regeneration and engineering applications of biochar for removal organic pollutants: a review. **Chemosphere**, v. 223, p. 12-27, mai. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.161>. Acesso em: 3 set.2021.

DE SOUZA, E.C.; PIMENTA, A.S.; DA SILVA, A.J.F.; BRAGA, R.M.; DE AZEVEDO, T.K.B.; MEDEIROS NETO, P.N. Efficiency of H₂O₂-treated eucalyptus biochar on the removal of Cu(II), Cd(II) and Ni(II) from aqueous solution. **Revista Brasileira De Ciências Agrárias**, v. 15, n. 3, p. e6530, jul. 2020. DOI:

<https://doi.org/10.5039/agraria.v15i3a6530>. Acesso em: 14 set.2021.

DEMIR, E.; COMBA, A. The evolution of celiac disease publications: a holistic approach with bibliometric analysis. **Irish Journal Medical Science**, v.189, p.267-267, ago. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11845-019-02080-x>. Acesso em: 24.out.2021.

DENG, H.; LI, A.; YE, C.; LI, S.; JIANG, Y. Green Removal of Various Pollutants by Microsphere Adsorption: Material Characterization and Adsorption Behavior. **Energy Fuels**, v. 34, n. 12, p. 16330-16340, dez. 2020a. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c02822>. Acesso em:15 out.2021.

DENG,H.; LI, Q.; HUANG, M.; LI, A.; ZHANG, J.; LI, Y.; LI, S.; KANG, C.; MO, W. Removal of Zn(II), Mn(II) and Cu(II) by adsorption onto banana stalk biochar: adsorption process and mechanisms. **Water Science & Technoogy**, v. 82, n. 12, p. 2962-2974, dez. 2020b. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2020.543>. Acesso em: 12.nov.2021.

DORS, P.; CAMPOS, M.L.; BRAND, M.A.; MIQUELLUTI, D.J. Biochar and its adsorbent power. how are scientific publications about this issue? **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, p. e61101018520, ago. 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i10.18520>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/18520>. Acesso em:11 nov.2021.

EMAGA, T. H.; ANDIANAIVO, R. H.; WATHELET, B.; PAQUOT, M. Effects of the stage of maturation and varieties on the chemical composition of banana and plantains peels. **Food Chemistry**, v. 103, n. 2, p. 590-600, set. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.09.006>. Acesso em:22.agost.2021.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2018. Disponível em: www.embrapa.br. Acesso em: 20 nov. 2021.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.

ERNSTING, A. Biochar - a climate smart solution? *In*: BISCHÖFL ICHES HILFSWERK MISEREOR, v. 1, p. 1-24, 2011. Disponível em: https://www.misereor.org/fileadmin/user_upload_misereororg/publication/en/climatechange_energ/agriculture/report-2-biochar.pdf. Acesso em: 29.set .2021.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAO launches the UN's International Year of Fruits and Vegetables 2021**. 2020. Disponível em: www.fao.org/news/story/en/item/1364762/icode. Acesso em: 29 set. 2021.

FEITOSA, A. A.; TEIXEIRA, W. G.; RITTER, E.; REZENDE, F. A.; KERN, J. Caracterização química de amostras de biocarvão de casca de banana e bagaço de laranja carbonizados a 400 e 600° C. **Revista Virtual de Química**, v. 12, n. 4, p. 901-912, jun. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20200072>. Acesso em: 26 agost.2021.

FERNANDES, B.C.C.; MENDES, K.F.; TORNISIELO, V.L.; TEÓFILO, T.M.S.; TAKESHITA, V.; DAS CHAGAS, P.S.F.; LINS, H.A.; SOUZA, M.F.; SILVA, D.V. Effect of pyrolysis temperature on eucalyptus wood residues biochar on availability and transport of hexazinone in soil. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 19, p. 499-514, jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03147-y>. Acesso em: 18 set.2021

FERNANDES, M.J; MOREIRA, M.M.; PAÍGA, P.; DIAS, D.; BERNARDO, M.; CARVALHO, M; LAPA, N.; FONSECA, I.; MORAIS, S.; FIGUEIREDO, S.; DELERUE-MATOS, C. Evaluation of the adsorption potential of biochars prepared from forest and agri-food wastes for the removal of fluoxetine. **Bioresource Technology**, v. 292, p. 121973, nov. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121973>. Acesso em:17 set.2021.

FIGUEREDO, N.A.; COSTA, L.M.; MELO, L.C.A; Siebeneichlerd, E.A.; TRONTO, J. Characterization of biochars from different sources and evaluation of release of nutrients and contaminants. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 48, n. 3, p. 395-403, July. 2017. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170046>. Acesso em:22 jun.2021.

GUARNIERI, S. F.; NASCIMENTO, E. C. DO; COSTA JUNIOR, R. F.; FARIA, J. L. B.; LOBO, F. A. Coconut fiber biochar alters physical and chemical properties in sandy soils. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 43, p. e51801, jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v43i1.51801>. Acesso em 14 mar. 2022.

GAO, L.Y; DENG, J.H.; HUANG, G.F.; LI, K.; CAI, K.Z.; LIU, Y.; HUANG, F. Distribution of Cd²⁺ adsorption mechanisms on biochars derived from rice straw and sewage sludge. **Bioresource Technology**, v. 272, p. 114-122, jan. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.138>. Acesso em:22 jul.2021.

GONDIM, J.A.M.; MOURA, M.F.V.; DANTAS, A.S.; MEDEIROS, R.L.S.; SANTOS, K.M. Composição centesimal e de minerais em cascas de frutas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 4, p. 825-827, out-dez. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/kMcMJSY8RXPcF99CGD7PqWL/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em:

GUARDABASSI, P.M. Sustentabilidade da biomassa como fonte de energia: perspectivas para países em desenvolvimento. 2006. Dissertação (Mestrado em energia) – Interunidades em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

GUL, S.; WHALEN, J. K.; THOMAS, B. W.; SACHDEVA, V.; DENG, H. Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: mechanisms and future directions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 206, p. 46-59,

ago. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.03.015>. Acesso em: 15 març. 2021.

HAMMER, E.C.; BALOGH-BRUNSTAD, Z.; JAKOBSEN, I.; OLSSON, P.A.; RILLING, M.C. A mycorrhizal fungus grows on biochar and captures phosphorus from its surfaces. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 77, p. 252-260, out. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.06.012>. Acesso em: 16 agost. 2021

HASSAN, M.; YANJU, L.; RAVI, N.; SANJAI, J.; JIANHUA, D.U.; FANGJIE, Q.I.; IAN, R.W. Influences of feedstock sources and pyrolysis temperature on the properties of biochar and functionality as adsorbents: A meta-analysis, **Science of The Total Environment**, v. 744, p. 140714, nov. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140714>. Acesso em: 15 agost. 2021

HENNE, R.A.; BRAND, M.A.; SCHVEITZER, B.; SCHEIN, V.A. Thermal behavior of forest biomass wastes produced during combustion in a boiler system. **Revista Árvore**, v. 43, n. 1, abr. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-90882019000100008>. Acesso em: 22 set .2021.

HOSSAIN, K. M.; STREZOV, V; YIN CHAN, K.; NELSON, P.F. Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*). **Chemosphere**, v. 78, n.9, p. 1167-1171, fev. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.01.009>. Acesso em: 12 nov. 2021.

IBI - International Biochar Initiative. 2014. Disponível em: www.biochar-international.org. Acesso em: 12 nov. 2021.

IBRAHIM H.; SAZALI, N.; SALLEH W.N.W.; NGADIMAN, N.H.A.; FADIL, N.A.; HARUN, Z. Outlook on the carbon-based materials for heavy metal removal. **Biointerface Research in Applied Chemistry**, v. 12, n. 4, p. 5303-5323, 2022. <https://doi.org/10.33263/BRIAC124.53035323>.

IEA - International Energy Agency. 2016. Disponível em: <http://www.iea.org>. Acesso em: 15 dez. 2021.

INYANG, M.; GAO, B.; YAO, Y.; XUE, Y.; ZIMMERMAN, A.R.; PULLAMMANAPPALLIL, P.; CAO X. Removal of heavy metals from aqueous solution by biochars derived from anaerobically digested biomass. **Bioresource Technology**, v. 110, p. 50–56, abr. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.01.072>. Acesso em: 5 agost. 2021.

ISLAM, M.; HALDER, M.; SIDDIQUE, M.A.B.; RAZIR, S.S.A.; SIKDER, S.; JOARDAR, J.C. Banana peel biochar as alternative source of potassium for plant productivity and sustainable agriculture. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v.8, p. 407-413, nov. 2019. DOI: <https://doi-org.ez74.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s40093-019-00313-8>. Acesso em: 22 mai. 2021.

JI, M.; WANG, X.; USMAN, M.; LIU, F.; DAN, Y.; ZHOU, L.; CAMPANARO, S.; LUO, G.; SANG, W. Effects of different feedstocks-based biochar on soil remediation: a review. **Environmental Pollution**, v. 294, 1p. 18655, fev. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118655>. Acesso em: 1 fev.2022.

JIANG, Y. H.; LI, A.Y.; DENG, H.; YE, C.H. HUANG H. L. Adsorption property of phosphorus by magnesium-loaded banana stem biochar from swine wastewater (em chinês). **Technology Water Treatment**, v. 46, n. 6, p. 33-38, 2020.

JIN, J.W.; LI, Y.N.; ZHANG, J.Y.; WU, S.C.; Influence of pyrolysis temperature on properties and environmental safety of heavy metals in biochars derived from municipal sewage sludge. **Journal of Hazardous Materials**, v.320, p. 417-426, dez. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.08.050>. Acesso em: 30 jun.2021.

JUNG, E.P.; RIBEIRO, L.O.; KUNIGAMI, C. N.; FIGUEIREDO, E.S.; NASCIMENTO, F.S. Farinha da casca de banana madura: uma matéria-prima para a indústria alimentícia. **Revista Virtual de Química**, v. 11, n.6, p. 1712-1724, set. 2019. DOI: <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20190120>. Acesso em: 22 jun. 2021.

KARIM, A.; KUMAR, M.; MOHAPATRA, S.; PANDA, C.R.; SINGH. A Banana peduncle biochar: characteristics and adsorption of hexavalent chromium from aqueous solution. **International Research Journal of Pure and Applied Chemistry**, v. 7, n.1, p. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.9734/IRJPAC/2015/16163>. Acesso em: 14 jun.2021

KAVITHA, B.; REDDY, P.V.L.; KIM, B.; LEE, S.S.; PANDEY, S.K.; KIM, K.H. Benefits and limitations of the biochar amendment in agricultural soils: a review. **Journal of Environmental Management**, v. 227, p.146-154, dez. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.082>. Acesso em: 12 julh.2021.

KHUDZARI, M. D.; KURIAN, J.; TARTAKOVSKY, B.; RAGHAVAN, G.S.V. Bibliometric analysis of global research trends on microbial fuel cells using Scopus database. **Biochemical Engineering Journal**, v.136, p. 51-60, ago. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2018.05.002>. Acesso em: 18 agost.2021.

KIM, K.H.; KIM, J.Y.; CHO, T.S.; CHOI, J.W. Influence of pyrolysis temperature on physicochemical properties of biochar obtained from the fast pyrolysis of pitch pine (*Pinus rigida*). **Bioresource Technology**, v. 118, p. 158-162, ago. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.04.094>. Acesso em: 24 agost.2021.

KIM, Y.S.; KIM, C.; HYUN, S. Biochar research trends and perspectives in South Korea based on bibliometric analysis. **Journal of Korea Society Waste Management**, v. 33, n. 3, p. 207-223, abr. 2016. DOI: <https://doi.org/10.9786/kswm.2016.33.3.207>. Acesso em: 25 set .2021.

KISHIMOTO, S.; SUGIURA G. Charcoal as a soil conditioner. **International Achievements for the future**, v. 5, p.12-23, 1985.

KUMAR, M.; XIONG, Z.; WAN, Z.; SUN, Y.; TSANG, D.C.W.; GUPTA, J.; GAO, B.;

KUNG, C.C; MCCARL, B.A.; CAO, X. Economics of pyrolysis-based energy production and biochar utilization: a case study in Taiwan. **Energy Policy**, v. 60, p. 317-323, set. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.029>. Acesso em:

LAGE JUNIOR, N.C. **Influência das condições de pirólise na capacidade de adsorção de íons Pb (II) pelo biochar obtido da casca de pinhão (*Araucária angustifolia*)**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/178961>. Acesso em: 4 març.2020.

LAIRD, D.A.; FLEMING, P.; DAVIS, D.D; HORTON, R.; WANG, B.; KARLEN, D.L. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. **Geoderma**, v. 158, p. 443-449, set. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.05.013>. Acesso em: 20 agost.2021.

LEDIVICH J., GEOFROY F., CANOPE I., CHENOST M. Using waste bananas as animal feed. **World-Animal-Review**, v. 20, p. 22-30, 1976. Disponível em: <https://www.fao.org/3/X6512E/X6512E10.htm>. Acesso em: 20 agost.2021.

LEE, H.S.; SHIN, H.S. Competitive adsorption of heavy metals onto modified biochars: Comparison of biochar properties and modification methods. **Journal of Environmental Management**, v. 299, p. 113651, dez. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113651>. Acesso em: 5 maio.2021.

LEHMANN, J. Bionergy on Black. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 5, n.7., p. 381-387, 2007. Disponível em: 18/7/2021. <http://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/publ/FrontiersEcolEnv%205,%20381-387,%202007%20Lehmann.pdf>. Acesso em: 5 maio.2021.

LEHMANN, J. A handful of carbon. **Nature**, London, v. 447, p. 143-144, mai. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1038/447143a>. Acesso em: 5 maio.2021.

LEHMANN, J.; GAUNT, J.; RONDON, M. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems: a review. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, Dordrecht, v.11, p. 403–427, mai. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11027-005-9006-5>. Acesso em: 18 jul.2021.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Biochar for environmental management: an introduction. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for environmental management: science, technology and implementation**. 2. ed. Londres: Routledge, 2015. p 1-13.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Biochar for Environmental Management: an introduction. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for environmental management: science and Technology**. Londres: Earthscan, 2009. p. 1-12.

LEHMANN, J.; RILLIG, M. C.; THIES, J.; MASIELLO, C. A.; HOCKADAY, W. C.; CROWLEY, D. Biochar effects on soil biota—a review. **Soil biology and biochemistry**. v. 43, n.9, p. 1812-1836, set. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.04.022>. Acesso em: 18 agost.2021.

LEI, H.; REN, S.; JULSON, J. The effects of reaction temperature and time and particle size of corn stover on microwave pyrolysis. **Energy & Fuels**, v. 23, p. 3254-3261, abr. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1021/ef9000264>. Acesso em: 10 agost.2021.

LI, D.; ZHAO, R.; PENG, X.; MA, Z.; ZHAO, Y.; GONG, T. SUN, M.; JIAO, Y.; YANG, T.; XI, B. Biochar-related Studies de 1999 a 2018: a bibliometric review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, p. 2898-2908, dez. 2019. DOI <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06870-9>. Acesso em:12 nov.2021.

LIMA, M.D.R.; PATRÍCIO E.P.S.; BARROS JUNIOR, U. O.; ASSIS, M.R.; XAVIER, C.N.; BUFALINO, L.; TRUGILHO, P.F.; HEIN, P.R.G.; PROTÁSIO, T.P. Logging wastes from sustainable forest management as alternative fuels for thermochemical conversion systems in Brazilian Amazon. **Biomass and Bioenergy**, v.140, p. 105660, set. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105660>. Acesso em: 10 out.2021.

LIU,H., Guoren, X.U., Guibai, L.I. The characteristics of pharmaceutical sludge-derived biochar and its application for the adsorption of tetracycline. **Science of The Total Environment**, v. 747, p. 141492, dez. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141492>. Acesso em: 10 agost.2021.

LU, H.; Li, Z.; Fu, S.; Méndez, A.; Gascó, G.; Paz-Ferreiro, J. Effect of biochar in cadmium availability and soil biological activity in an anthrosol following acid rain deposition and aging. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 226, p. 164-174, abr. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2401-y>. Acesso em:7 julh.2021

LUO, X.; WANG, L.; LIU, G.; WANG, X.; WHANG, Z.; ZHENG, H. Effects of biochar on carbon mineralization of coastal wetland soils in the Yellow River Delta, China. **Ecological Engineering**, v. 94, p. 329–336, set. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.004>. Acesso em: 10 out.2021.

MAIA C.M.B.F. Produção de biocarvões por pirólise lenta: potencial agrícola e ambiental. *In: X ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS*. Informativo. 2013. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/93658/1/2013-ClaudiaM-EBSH-Producao.pdf>. Acesso em: 12 out.2021.

MAIA, A.A.D. **A biomassa Capsicum spp. como fonte de bioenergia e adsorção de metais**. 2017. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2017. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/149893/maia_aad_dr_soro.pdf?squence=3&isAllowed=y. Acesso em:6 julh.2021.

MATOS, M. R.; FORNARI, A.S.; MANGRICH, J.S.; BATISTA, E.M.C.C.; RIBEIRO, R.O.C; ROMÃO, L.P.C; YAMAMOTO, C.I.; GRASEL, F.S.; FÁBIO S.; BAYER, C.; DIECKOW, J.; BITTENCOURT, J.A. Low temperature production of biochars from different biomasses: effect of static and rotary lab reactors and application as soil conditioners. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, n. 4, p. 105472, ago. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105472>. Acesso em:9 jun.2021.

MEC - Ministério da Educação. 2020. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/>. Acesso em: 2 abril.2021.

MOTA, M. F.; DAMIÃO, E. F.; TORRES, M. R.; PEGORARO, R. F.; FRAZÃO, L. A.; FERNANDES, L. A. Biochar as an alternative substrate for the production of sugarcane seedlings. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, p. 826-832, dez, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n12p826-832>. Acesso em: 15 mar. 2022.

NASCIMENTO, R.F.; LIMA, A.C.A; VIDAL, C.B.; MELO, D.Q.; RAULINO, G.S.C. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. 2. ed. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2020. E-book. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/53271>. Acesso em: 15 maio .2021.

NÓBREGA, I.P.C. **Efeitos do Biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: - Sequestro de carbono no solo**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011. Disponível em: https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/4104/1/3PDF_Tese_ISIS.pdf. Acesso em: 15 junh.2021.

OCDE. **Glossary of statistical terms**. 2018. Disponível em: <https://stats-oecd-org.ez74.periodicos.capes.gov.br/glossary/search.asp>. Acesso em: 15 abril.2021.

O'CONNOR, D.; PENG ,T.Y.;ZHANG, J.L.; TSANG, D.C.W; ALESS,I.D.S.; SHEN, Z.T.; BOLAN, N.S.; HOU, D.Y. Biochar application for the remediation of soils polluted by heavy metals: a review of field tests in situ. **Science of The Total Environment**, v. 619-620, 815-826, abr. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.132>. Acesso em: 12 junh.2021.

OLADIPO, A.A.; AHAKA, E.O.; GAZI, M. High adsorptive potential of calcined magnetic biochar derived from banana peels for Cu²⁺, Hg²⁺, and Zn²⁺ ions removal in single and ternary systems. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p. 31887–31899, set. 2019. DOI: <https://doi-org.ez74.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s11356-019-06321-5>. Acesso em: 12 jun.2021.

OLESZCZUK, P.; JOSKO,I.S.; KUŚMIERZ, M. Biochar properties regarding to contaminants content and ecotoxicological assessment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 260, p.375-382, set. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.05.044>. Acesso em: 5 julh.2021.

PEREIRA, N.; MAGNAGO, R. Potential alternatives for the reuse of banana production residues: a systematic review. **Brazilian Journal of Environmental Sciences**, v. 55, n. 2, p. 268-280. DOI: <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820200645>. Acesso em: 5 julho.2021.

PETTER, F.A.; MADARI, B.E. Biochar: agronomic and environmental potential in brazilian savannah soils. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 7, p. 761-768, jul. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415->

43662012000700009. Acesso em:20 agost. 2021.

PUZIY, A.M.; PODDUBNAYA, O.I.; MARTÍNEZ-ALONSO, A.; SUÁREZ-GARCÍA, F.; TASCÓN, J.M.D. Surface chemistry of phosphorus-containing carbons of lignocellulosic. **Carbon**, v. 43, p. 2857–2868, nov. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2005.06.014>. Acesso em:30 agost.2021.

QIU, Y.; ZHANG, Q.; WANG, Z.; GAO, B.; FAN, Z.; LI, M.; HAO, H.; WEI, X., ZHONG, M. Degradation of anthraquinone dye reactive blue 19 using persulfate activated with Fe/Mn modified biochar: Radical/non-radical mechanisms and fixed-bed reactor study. **Science of The Total Environment**, v. 758, p.143584, mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143584>. Acesso em:30 agost.2021.

QUICKER, P.; WEBER, K. **Biokohle: Herstellung, Eigenschaften und Verwendung von Biomassekarbonisaten**. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2016.

RAJORIYA, S.; KAUR, B. Adsorptive removal of zinc from waste water by natural biosorbents. **International Journal of Engineering Science Invention**, v. 3, n. 6, p.60-80, jun. 2014.

RANGABHASHIYAM, S.; ANU, N.; SELVARAJU, N. Sequestration of dye from textile industry wastewater using agricultural waste products as adsorbents. **Journal of Environmental Chemical Engineering**. v. 1, n. 4, p. 629-641, dez. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2013.07.014>. Acesso em:30 agost.2021.

RAO, M.M.; RAMANA, D.K.; SESHIAH, K.; WANG, M.C.; CHIEN, S.W. Removal of some metal ions by activated carbon prepared from Phaseolus aureus hulls. **Journal of hazardous materials**, v. 166, n. 2-3, p. 1006-1013, jul. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.12.002>. Acesso em: 20 set.2021.

RESENDE, E.I.P. **Preparação e caracterização química e espectroscópica de “biochar” por pirólise de biomassa em baixa temperatura**. 2013. Tese (Doutorado em Química), Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/43954>. Acesso em: 20 set.2021.

ROBLES, J.O.; REGALBUTO, J.R. **The engineering of Pt/Carbon Catalyst Preparation for application on Proton Exchange Fuel Cell Membrane (PEFCM)**. Chicago: University of Illinois at Chicago, 2004. 14p. Disponível em: https://amrel.bioe.uic.edu/NSFREU2004/Reports2004/Jaime%20Robles_Final%20Report.pdf. Acesso em: 6 marc.2020.

SAIDUR, R.; ABDELAZIZ, E.A.; DEMIRBAS, A.; HOSSAIN, M.S.; MEKHILEF, S. A review on biomass as a fuel for boilers. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.15, n.5, p. 2262–2289, jun. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.015>. Acesso em: 6 març.2020.

SAKHIYA, A.K.; BAGHEL, P.; ANAND, A.; VIJAY, V.K.; KAUSHAL, P. A comparative study of physical and chemical activation of rice straw derived biochar to enhance Zn⁺² adsorption. **Bioresource Technology Reports**. v. 15, p. 100774, set. 2021.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100774>. Acesso em: 7 abril. 2020.

SALETNIK, B.; ZAGULA, G.; BAJCAR, M.; TARAPATSKYY, M.; BOBULA, G.; PUCHALSKI, C. Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar, a renewable, low cost and sustainable adsorbent: a critical biochar as a multifunctional component of the environment: a review. **Applied Sciences**, v. 9, n. 6, p. 1139, mar. 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/app9061139>. Acesso em: 7 abril.2020.

SANTOS, G.H.; DO NASCIMENTO, R.S.; ALVES, G.M. Biomassa como energia renovável no Brasil. **Revista Uningá Review**, v. 29, n. 2, fev. 2017. Disponível em: <http://revista.uninga.br/index.php/uningareviews/article/view/1966>. Acesso em: 20 jun.2021.

SCHELLEKENS, J.; SILVA, C.A.; BUURMAN, P.; RITTL, T.F.; DOMINGUES, R.R.; JUSTI, M.; VIDAL-TORRADO, P.; TRUGILHO, P.F. Molecular characterization of biochar from five brazilian agricultural residues obtained at different charring temperatures. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 130, p. 106-117, mar. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2018.01.020>. Acesso em: 5 de maio.2021

SCHMIDT, H.P. 55 uses of biochar. **Ithaka Journal**, v. 1, p. 286-289, mai. 2012. Disponível em: <http://www.ithaka-journal.net/druckversionen/e082012-55-uses-of-bc.pdf>. Acesso em: 2 abril.2021.

SCHULTEN, H. R. The three-dimensional structure of humic substances and soil organic matter studied by computational analytical chemistry. **Fresenius Journal of Analytical Chemistry**, v. 351, p. 62–73, jan. 1995. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00324293>. Acesso em: 16 maio.2021

SEBRAE. **Conheça o mercado da bananicultura**. 2016. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/conheca-o-mercado-da-bananicultura,187b9e665b182410VgnVCM100000b272010aRCRD>. Acesso em: 13 jan. 2022.

SERTOLI, L. **Caracterização de biocarvões**: potencial agrícola e adsorção de zinco. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical), Instituto Agrônomo, Campinas, 2018. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/areadoinstituto/posgraduacao/repositorio/storage/pb189416.pdf>. Acesso em: 17 ago.2021.

SEVERO, F.F.; DA SILVA, L.S.; MOSCÔSO, J.S.C.; SARFARAZ, Q.; RODRIGUES JÚNIOR, L.F.; LOPES, A.F.; MARZARI, L.B.; DAL MOLIN, G. Chemical and physical characterization of rice husk biochar and ashes and their iron adsorption capacity. **SN Applied Sciences**, v. 2, n. 7, p. 1-9, jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-020-3088-2>. Acesso em: 22 nov.2021.

SILVA, M. S. A.; COLEN, F.; SAMPAIO, R. A.; AZEVEDO, A. M.; BASÍLIO, J. J. N.; COTA, C. G.; FERNANDES, L. A. Biochar from Caryocar brasiliense as a soil conditioner for common bean plants. **Ciência Rural**, v. 52, n.7, p. e2000871 fev.

2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200871>>. Acesso em 25 mar. 2022.

SILVA, R.C.C. **Variabilidade dendrométrica e qualidade da madeira de *Tachigali vulgaris* para produção de biomassa para energia na Amazônia**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Campus Parauapebas, Universidade Federal Rural da Amazônia, Parauapebas, 2019. Disponível em: <http://www.bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/1452>. Acesso em: 18 nov. 2021.

SILVA, R.C.F.; PINTO, P.S.; TEIXEIRA, A.P.C. Control of porous size distribution on solvent-free mesoporous carbon and their use as a superadsorbent for 17 α -ethinylestradiol removal. **Chemical Engineering Journal**, v.407, p. 127219, mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.127219>. Acesso em: 5 ago. 2021.

SILVA, H.A. **Substâncias húmicas aquáticas do Rio Negro-AM: impacto da variação da sua composição na labilidade de íons metálicos e em seu efeito redutor de toxicidade aguda**. 2019. Tese (Doutorado em Química), Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2019. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/7472>. Acesso em: 13 set. 2021

STEINER, C.; DAS, K.C.; GARCIA, M.; FÖRSTER, B.; ZECH, W. Charcoal and smoke extract stimulate the soil microbial community in a highly weathered xanthic Ferralsol. **Pedobiologia**, v. 51, p. 359-366, abr. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2007.08.002>. Acesso em: 19 jun. 2021.

STEINER, C.; TEIXEIRA, W. G.; ZECH, W. Slash and Char: An Alternative to Slash and Burn Practiced in the Amazon Basin. *In*: GLASER B., WOODS W.I. Amazonian Dark Earths: Explorations in Space and Time. Berlin: Springer, 2004. p. 183-193. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-662-05683-7_14. Acesso em: 4 out. 2020.

SUCUPIRA PLATFORM. 2020. Disponível em: www.sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/programa/quantitativos/quantitativoRegiao.xhtml;jsessionid=SHTcosjP9MYrOYuFJjhAnPk3.sucupira-215. Acesso em: 3 out. 2020.

TANG, B.; LUAN, L.; LIU, Y.; LIU, Y.; ZHANG, B.; WANG, A.I.; NIU, Y. Removal of aqueous Cd(II) and Ni(II) by aminopyridine functionalized magnetic Fe₃O₄ nanocomposites. **Journal of Molecular Liquids**, v. 331, p. 115780, jun, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.115780>. Acesso em: 22 set. 2021.

THIRUMAVALAVAN, M. Transform infrared spectroscopic analysis of fruit peels before and after the adsorption of heavy metal ions from aqueous solution. **Journal of Chemical & Engineering Data**, v. 56, n. 5, p. 2249–2255, jun. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1021/je101262w>. Acesso em: 11. Ago. 2021.

TRAZZI, P.A.; HIGA, A.R.; DJECKOW, J.; MANGRICH, A.S.; HIGA, R.C.V. Biocarvão: realidade e potencial de uso no meio florestal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 875-887, jun. 2018. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509832128>. Acesso em: 19 abril. 2021.

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2020. Disponível em: <https://ufrgs.br/blogdabc/china-e-o-pais-que-produz-mais-artigoscientificos-no-mundo-brasil-e-o-12o/>. Acesso em: 25 set.2021.

VAN ZWIETEN, L.; KIMBER, S.; MORRIS, S.; CHAN, K.Y.; DOWNIE, A.; RUST, J.; JOSEPH, S.; COWIE, A. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. **Plant and Soil**, v. 327, p. 235-246, fev. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0050-x>. Acesso em:

VERHEIJEN, F.; JEFFERY, S.; BASTOS, A.; VAN DER VELDE, M.; DIAFAS, I. **Biochar application to soils: a critical scientific review of effects on soil properties**. Luxemburgo: European Commission, 2010.

WANG, J.; WANG, S. Preparation, modification and environmental application of biochar: a review. **Journal of Cleaner Production**, v. 227, p. 1002-1022, ago. 2019b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.282>. Acesso em:20 ago.2021.

WANG, L.; WANG, Y.; MA, F.; TANKPA, A.; BAI, S.; GUO, X.; WANG, X. Mechanisms and reuse of modified biochar used to remove heavy metals from wastewater: a review. **Science of The Total Environment**, v. 668, p.1298-1309, jun. 2019a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.011>. Acesso em:

WANG, M.; ZHU, Y.; CHENG, L.; ANDERSON, B.; ZHAO, X.; WANG, D.; DING, A. Review on the use of biochar for soil contaminated with metal and sediment remediation. **Journal of Environmental Sciences**, v. 63, p. 156-173, jan. 2018a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.08.004>. Acesso em: 22 ago.2021.

WANG, Y.; LIU, Y.; ZHAN, W.; ZHENG, K.; WANG, J.; ZHANG, C.; CHEN, R. Stabilization of heavy metal-contaminated soils by biochar: challenges and recommendations. **The Science of the total environment**, v. 729, 2020-08-10, Vol.729, p.139060, ago. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139060>. Acesso em:5 ago.2021.

WANG,R.Z.; HUANG, D.L.; LIU, Y.G.; ZHANG, C.; LAI, C; ZENG, G.M.; CHENG, M.; GONG, X.M.; WAN, J.; LUO, H. Investigating the adsorption behavior and the relative distribution of Cd²⁺ sorption mechanisms on biochars by different feedstock. **Bioresource Technology**, v. 261, p. 265-271, ago. 2018b. Acesso em:10 ago.2021.

WEI, C.N.; YOU, S.; LING, R.; GIN, Y.H.; DAI Y.; WANG C.H. Co-gasification of woody biomass and chicken manure: syngas production, biochar reutilization, and cost-benefit analysis. **Energy**, v. 139, p. 732–742, nov. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.165>. Acesso em: 20 ago.2021.

WEI, S.; ZHU, M.; SONG, J.; PENG, P.A. Comprehensive characterization of biochars produced from three major crop straws of China. **Bioresources**, v. 12, n. 2, p. 3316-3330, mar. 2017. DOI: <https://doi.org/10.15376/biores.12.2.3316-3330>. Acesso em: 17 jun.2021.

WOODS, W. Os solos e as ciências humanas: interpretação do passado. *In*: TEIXEIRA, W.G.; KERN, D.C.; MADARI, B.E.; LIMA, H.N.; WOODS, W. **As terras**

pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. p. 62-71.

WOSZEZENKI,C.R.; GONCALVES,A.L.; Biomedical text mining: a bibliometrics review. **Perspectivas em Ciencia da Informação**, v. 18, n. 3, p. 24-44, set. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-99362013000300003>. Acesso em:15 jun.2021.

WU, J.; WANG, T.; WANG, J.; ZHANG, Y.; PAN, W-P. A novel modified method for the efficient removal of Pb and Cd from wastewater by biochar: enhanced the ion exchange and precipitation capacity. **Science of The Total Environment**, v.754, p.142150, fev. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142150>. Acesso em: 12 jun.2021.

WU, Y.H., JIN, S.,F. Bibliometric analysis of the repair of heavy metal-contaminated soil based on CiteSpace. **Journal of Agro-Environment Science**, v. 39, n. 3, p. 454-461, 2020.

XU, S.; YU, W.; LIU, S.; XU, C.; LI, J.; ZHANG, Y. Adsorption of Hexavalent Chromium Using Banana Pseudostem Biochar and Its Mechanism. **Sustainability**, v. 10, p. 4250, nov. 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10114250>. Acesso em:12 jun.2021.

YAASHIKA, P.R.; KUMAR, P.S.; VARJANI, S. SARAVANAN, A. A critical review on the biochar production techniques, characterization, stability and applications for circular bioeconomy. **Biotechnology Reports**, v. 28, e00570, dez. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00570>. Acesso em:28 ago.2021.

YILDIRIM, E.; DEMIR, E. Comparative bibliometric analysis of fertility preservation. **Annals of Medical Research**, v. 26, n.8, p. 1622-1628, ago. 2019. DOI: <https://doi.org/10.5455/annalsmedres.2019.06.339>. Acesso em: 28 ago.2021.

YIN, Q.; LIU, M.; REN, H. Biochar produced from the co-pyrolysis of sewage sludge and walnut shell for ammonium and phosphate adsorption from water. **Journal of Environmental Management**, v. 249, p. 109410, nov. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109410>. Acesso em:25 jun.2021.

YUAN, H.R.; H.Y; LU, T.; HUANG, H.; ZHAO, D.D.; KOBAYASHI, N.; CHEN, Y. Influence of pyrolysis temperature on physical and chemical properties of biochar made from sewage sludge. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 112, p. 284-289, mar. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2015.01.010>. Acesso em:16 ago.2021.

YUAN,Y.; BOLAN,N.; PRĂCVOTEAU, A.; VITHANAGE, M.; KUMAR BISWAS, J.; SIK OK, Y.; WANG, H. Applications of biochar in redox-mediated reactions. **Bioresource Technology**, v. 246, p. 271-281, dez. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.154>. Acesso em: 31 out.2021.

ZHOU, X.; ZHOU, J.; LIU, Y.; GUO, J.; REN,J.; ZHOU, F. Preparation of iminodiacetic acid-modified magnetic biochar by carbonization, magnetization and functional modification for Cd(II) removal in water. **Fuel**, v. 233, p. 469-479, dez. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.06.075>. Acesso em: 15 jun.2021.