

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS A. C. SIMÕES
INSTITUTO DE QUÍMICA E BIOTECNOLOGIA
CURSO QUÍMICA LICENCIATURA

ROOHANN PONTES SILVA

**PRODUÇÃO DE BIOCÁRVÃO DE CASCA DE MANDIOCA: PERSPECTIVAS DE
APLICAÇÕES AMBIENTAIS**

Maceió
2023

ROOHANN PONTES SILVA

**PRODUÇÃO DE BIOCÁRVÃO DE CASCA DE MANDIOCA: PERSPECTIVAS DE
APLICAÇÕES AMBIENTAIS**

Trabalho de conclusão de curso sobre a produção de biocárvão de casca de mandioca: perspectivas de aplicações ambientais e apresentado ao curso de química licenciatura da universidade federal de alagoas, como requisito parcial à obtenção do título de licenciatura em química.

Orientador: Prof. Dr. Wander Gustavo Botero

Maceió

2023

Catálogo na fonte Universidade Federal de Alagoas

Biblioteca Central

Divisão de Tratamento Técnico Bibliotecário:

Jone Sidney A. de Oliveira - CRB-4 -1485

S586p Silva, Roohann Pontes

Produção de biocarvão de casca de mandioca / RoohannPontes
Silva. - Maceió: AL, 2023.

22 f.: il.

Orientador: Wander Gustavo Botero

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Química:
Licenciatura) - Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Química
e Biotecnologia. Maceió, 2023.

Inclui bibliografia: f. 21-22.

1. Matéria orgânica. 2. Metais Potencialmente Tóxicos.
3. Matéria orgânica. I. Título.

CDU: 662.7

Dedico esse trabalho a todos que se fazem presentes em minha vida, minha eterna gratidão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, que permitiu que tudo isso acontecesse, só tenho motivos para agradecer, desde o início da minha vida acadêmica até o seu encerramento.

Agradeço a minha família, meus pais, meus amigos, e a todos que foram solícitos em minha educação, e a todos que sempre torceram pelo que conquistei até agora, peço a Deus para me dar sabedoria para conquistar muito mais

Ao professor Dr. Wander Gustavo Botero, minha gratidão por todo amparo prestado na ajuda deste trabalho, pelo apoio, orientação e confiança e por sempre se mostrar um docente prestativo e acima de tudo um excelente profissional. Sem dúvidas, seus direcionamentos foram fundamentais para o meu desenvolvimento como discente.

Aos professores do curso de Química que, através dos seus ensinamentos, contribuíram para que eu hoje pudesse estar concluindo este trabalho.

RESUMO

O biocarvão é uma alternativa promissora para a transformação de resíduos orgânicos, como por exemplo, resíduos orgânicos provenientes da agroindústria brasileira (como a casca de mandioca), em materiais com a capacidade de melhorar a qualidade física, química e biológica do solo ou ainda na remoção de contaminantes. A proposta deste trabalho consiste em produzir biocarvão utilizando resíduos agroindustriais (casca de mandioca), visando preparar materiais que mimetizam a matéria orgânica do ambiente e que sirvam como materiais adsorventes em ambientes contaminados por metais potencialmente tóxicos. Neste trabalho foram produzidos biocarvão a partir de casca de mandioca do Semiário de Alagoas, Brasil. A produção e caracterização de a partir de casca de mandioca mostraram que o aumento na temperatura de pirólise possibilitou distintas e importantes características para o BC, como o aumento do pH e redução do rendimento. Desta forma, os biocarvões produzidos a partir de casca de mandioca podem ser uma estratégia viável para reduzir contaminantes no ambiente.

Palavras-chave: substâncias húmicas; metais potencialmente tóxicos; matéria orgânica.

ABSTRACT

Biochar is a promising alternative for the transformation of organic waste, such as organic waste from the Brazilian agroindustry (such as cassava peel), into materials with the ability to improve the physical, chemical and biological quality of the soil or even in the contaminant removal. The purpose of this work is to produce biochar using agro-industrial residues (cassava peel), aiming to prepare materials that mimic the organic matter of the environment and that serve as adsorbent materials in environments contaminated by potentially toxic metals. In this work, biochar was produced from cassava bark. Seminary of Alagoas, Brazil. The production and characterization of from cassava peel showed that the increase in pyrolysis temperature enabled distinct and important characteristics for biochar, such as increased pH and reduced yield. In this way, biochar produced from cassava bark can be a viable strategy to reduce contaminants in the environment.

Keywords: Humic substances; potentially toxic metals; organic matter

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistemas de unidade laboratorial utilizado para produção dos biocarvões.....	16
Figura 2 - Efeito da temperatura de pirólise no rendimento dos BC produzidos a partir de CM	18

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BC	Biocarvão
CM	Cascas de mandioca
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LASSOP	Laboratório de Sistemas de Separação e Otimização de Processos
UFAL	Universidade Federal de Alagoas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 JUSTIFICATIVA.....	13
3 OBJETIVOS	14
3.1 OBJETIVO GERAL.....	14
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
4 REAGENTES E SOLUÇÕES	15
4.1 CASCAS DE MANDIOCA	15
4.2 PRODUÇÃO DO BIOCHAR	15
4.3 RENDIMENTO.....	16
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	19

1 INTRODUÇÃO

Todo produto agrícola afeta as interações entre solos, microrganismos e plantas, interferindo na estabilidade termodinâmica da situação. O biochar é descrito como um composto multiuso à base de carbono que melhora a qualidade do solo enquanto atua como fertilizante e condicionador. Pode existir naturalmente em fazendas individuais ou podem ser criados através do processamento de resíduos agrícolas para produzir bens com maior valor agregado.

O Biochar pode ser definido como o produto final da decomposição térmica de resíduos vegetais orgânicos que são compostos principalmente de carbono e possuem grânulos finos e duradouros, resistentes à decomposição (mineralização), produzidos em condições específicas de combustão térmica com baixo teor de oxigênio. Sendo menos suscetível à degradação microbiana e tendo como resultado maior estabilidade ambiental, a presença de estruturas organizadas no BC é um fator importante para sua aplicação como condicionante do solo. No entanto, uma superfície hidrofóbica também é crucial para maior estabilidade ambiental, assim como a presença de estruturas organizadas no BC é um fator importante para sua aplicação.

A conversão termoquímica, também conhecida como pirólise, é uma ferramenta para a transformação de resíduos orgânicos e está sendo consolidada globalmente como uma tecnologia economicamente viável para reaproveitamento total de resíduos agrícolas, visto que são produzidos três principais produtos de interesse comercial: carvão sólido, bio óleo e gás de síntese (syngas) (CHEN *et al.*, 2012). A pirólise também apresenta a vantagem de eliminar agentes patogênicos por intermédio das altas temperaturas utilizadas (>350°C) (LEHMANN; JOSEPH, 2010; RO *et al.*, 2010).

A pirólise é uma tecnologia promissora para gestão de resíduos orgânicos, uma vez que além do biochar, são gerados outros dois produtos, um biogás e um bioóleo, que podem ser utilizados para geração de energia ou como matéria-prima na indústria para formação de outros produtos (IBI, 2013).

A pirólise é uma alternativa promissora para a destinação de resíduos para convertê-los em produtos sólidos, líquidos e gasosos, com maior vantagem de transporte, armazenamento, manuseio, pois reduz o volume e massa dos resíduos (BROWN, 2010) readaptação e flexibilidade na produção e comercialização (PUTUN *et al.*, 2004; CANTRELL *et al.*, 2012). Devido a esses fatos, a pirólise é agora vista como uma tecnologia termoquímica promissora para eliminação de resíduos

Outra característica essencial para uso como único condicionador é o pH do BC, que depende do material de partida e da temperatura de pirólise. O aumento da temperatura causa a liberação de ácidos, que são mais suscetíveis à degradação a longo prazo e tornam o BC mais ácido. A quantidade de oxigênio no BC, que normalmente é encontrado na forma de óxidos metálicos na substância de origem, também está relacionada ao pH.

A comunidade científica está debatendo o biocarvão (BC) como um potencial substituto para o uso de resíduos industriais agrícolas. Uma das vantagens de aplicar BC em campos agrícolas é a capacidade de trabalhar na gestão de resíduos, retenção de água, melhoria da fertilidade, redução das emissões de gases que afetem adversamente o solo, como também, atua melhorando a estrutura física, química e microbiológica do campo.

As propriedades químicas e físicas específicas do BC o tornam um mecanismo de auxílio à sociedade nos problemas enfrentados atualmente. Exemplos dessas propriedades incluem a melhoria do solo através da redução da lixiviação de nutrientes, controle do pH do solo, melhoria da atividade do microbiana, capacidade de reter água e capacidade de armazenar carbono através do estuário do solo.

Nesse sentido, para utilizar o BC é necessário entender suas propriedades e como elas podem interagir quando aplicadas a diversos sistemas de produção e remediação ambiental, com as mesmas características dependendo da variedade e heterogeneidade da matéria-prima utilizada na produção de BC, bem como as condições de pirólise. Uma dessas propriedades é a superestrutura química do BC, que também pode apresentar propriedades muito diversas (hidrofóbica, hidrófila, básica e/ou ácida). à degradação microbiana e tendo como resultado maior estabilidade ambiental, a presença de estruturas organizadas no BC é um fator importante para sua aplicação como condicionante do solo. No entanto, uma superfície hidrofóbica também é crucial para interações polares com outros componentes.

Por fim, a quantidade de nutrientes é outra característica muito significativa na composição do BC, pois são componentes necessários para o crescimento vegetativo. Dessa forma, é possível observar pelas características do BC mencionadas anteriormente que as determinações das condições das pirólises devem ser adequadas aos propósitos da aplicação do BC, buscando sempre o equilíbrio entre suas características e o assunto de interesse.

Em resposta à exposição, a pesquisa buscou produzir BC a partir da casca da mandioca sob várias condições de temperatura. Esta etapa da produção de novos materiais é crucial para a busca do melhor rendimento e custo-benefício do novo material produzido.

O biocarvão ou biochar é algum material rico em carbono adquirido de biomassa carbonizada sob pouco ou nenhum oxigênio, podendo ser utilizado de diversas maneiras, a

principal é como condicionante e fertilizante para o solo, pela qual diversas fontes de biomassa vegetal podem ser carbonizadas (REIS, 2020).

A pesquisa básica e aplicada sobre o uso de biocarvão nas áreas de agricultura, meio ambiente e energia aumentou drasticamente em resposta a preocupações sobre segurança alimentar, poluição ambiental e escassez de energia. Vários estudos têm mostrado o quanto importante é do ponto de vista do avanço científico e da aplicação prática.

A criação do Biochar segue o modelo de um método que foi usado pela primeira vez há milhares de anos na Bacia Amazônica, quando os povos indígenas desenvolveram ilhas ricas e duráveis conhecidas como "terra escura". Como também, a tecnologia do biocarvão vai além do maquinário necessário para produzi-lo.

Geralmente, pesquisadores fazem a associação do biocarvão com a "Terra Preta de Índio", que é um solo altamente fértil, devido principalmente à alta capacidade de troca de cátions, aos altos teores de matéria orgânica e nutrientes como nitrogênio, fósforo, cálcio e potássio. A "Terra Preta de Índio" ocorre em pequenas porções na Região Amazônica e foi formada através da decomposição de restos de plantas e animais, em locais onde índios nômades habitavam (TRAZZI *et al.*, 2018, p. 876).

A tecnologia Biochar inclui necessariamente sistemas totalmente integrados que podem ter vários componentes que podem ou não fazer parte de um determinado sistema.

2 JUSTIFICATIVA

A contaminação de diversos compartimentos ambientais vem se intensificando nos últimos anos. Nota-se que o crescimento da agricultura e da agroindústria brasileira que apesar de sua importância econômica e social, proporciona a geração de grandes quantidades de resíduos que quando não descartado adequadamente, pode provocar prejuízos ao ambiente, além da própria prática de manejo com o uso intensivo de agroquímicos, sendo fatores preocupantes por seu potencial de impactar o meio ambiente e a vida da sociedade.

A partir de diversos fatores que podem provocar danos de natureza ambiental proporcionados pela atividade antrópica, os solos e recursos hídricos são conduzidos à degradação e desequilíbrios entre os componentes necessários para promover o potencial de produção e a prática sustentável. Desta forma, é importante compreender os fatores que afetam a disponibilidade de nutrientes e MPT no solo, quando se faz necessário maximizar a disponibilidade dos nutrientes de forma controlada e minimizar o transporte dos MPT como forma de evitar danos de natureza econômica e ambiental.

Assim, este trabalho teve como objetivo produzir BC a partir de resíduos derivados da agricultura e da agroindústria brasileira (casca de mandioca) utilizando diferentes condições de pirólise visando produzir materiais com propriedade de interação com contaminantes, objetivando entender o comportamento desses contaminantes no meio ambiente e assim minimizar danos ambientais.

Destaca-se que este trabalho está associado a tese de doutorado do grupo de pesquisa desenvolvida por Ricardo Rafaell da Silva intitulada “Produção e caracterização de biocarvão por pirólise de biomassa de casca de mandioca: avaliação com nutriente e contaminante”.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Relatar a produção de biocarvão utilizando resíduos agrícolas (casca de mandioca), visando preparar materiais que mimetizam a matéria orgânica do ambiente e que sirvam como materiais adsorventes em ambientes contaminados.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar resíduos agroindustriais, neste trabalho cascas de mandioca;
- Coletar cascas de mandioca;
- Preparar biocarvões de forma controlada em laboratório em diferentes temperaturas de pirólise, buscando o melhor rendimento.

4 REAGENTES E SOLUÇÕES

Os reagentes utilizados foram de grau analítico e as soluções foram preparadas com água ultrapura (resistividade de 18,2 M Ω cm).

4.1 CASCAS DE MANDIOCA

As cascas de mandioca (CM) usadas nessa pesquisa foram coletadas em casa de farinha localizada no município de Junqueiro, estado de Alagoas, Brasil. A matéria-prima foi mantida ao ar livre para secagem ao sol. Posteriormente triturou-se as CM em moinho de facas do tipo Willy (Macro). O processo de pirólise foi realizado no Laboratório de Sistemas de Separação e Otimização de Processos (LASSOP), localizado na Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

4.2 PRODUÇÃO DO BIOCHAR

A pirólise das amostras de CM trituradas, de forma homogênea, foram realizadas em uma unidade laboratorial, apresentada na Figura 1, constituída de forno tubular UNG de 1 kW, modelo LT6 2010, aquecido por resistências elétricas com capacidade de chegar até 1000 °C, além de contar com um sistema de resfriamento para a coleta da fase líquida (bio-óleo), sendo composto por dois condensadores de vidro acoplados consecutivamente, estando o último conectado a um kitasato, o qual está conectado a uma bomba de vácuo. Para a refrigeração dos condensadores foi utilizado um banho termostaticado, modelo Tecnal TE-184. O sistema foi vedado, de maneira que, o oxigênio contido no tubo fosse a única quantidade de gás fornecida.

Figura 1 - Sistemas de unidade laboratorial utilizado para produção dos biocarvões



Fonte: Silva, 2022.

Os ensaios foram realizados mantendo fixa a taxa de aquecimento em $10\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$ e o tempo de resistência em 90 min, sendo que as temperaturas de pirólise selecionadas foram de $350\text{ }^{\circ}\text{C}$, $450\text{ }^{\circ}\text{C}$, $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $550\text{ }^{\circ}\text{C}$. Após a produção do BC o material foi removido do forno, resfriado a temperatura ambiente de $25 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, triturado manualmente com a utilização de almofariz e pistilo de porcelana e separado granulo metricamente em peneira com abertura de malha de Mesh 42 ($< 355\text{ }\mu\text{m}$).

4.3 RENDIMENTO

O cálculo do rendimento foi feito pela diferença de massa da casca de mandioca in natura e o produto da pirólise (biochar).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

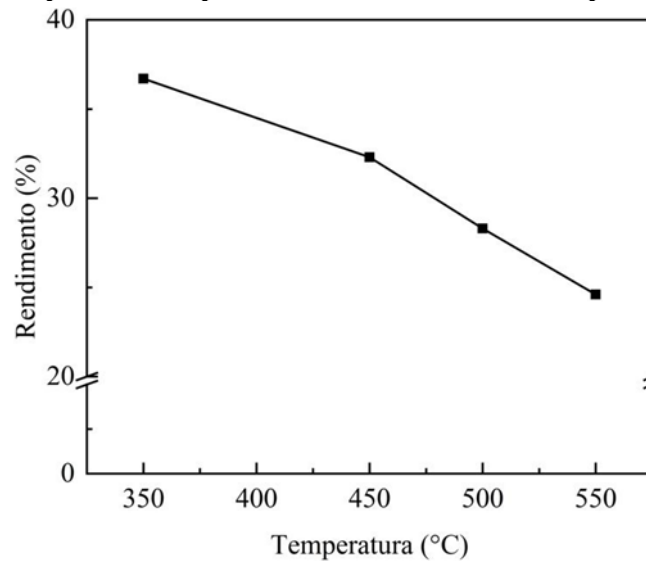
O Brasil destaca-se no cenário mundial como produtor de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Do processamento da mandioca são gerados, além dos produtos de consumo direto para a população e para os animais, resíduos que acabam gerando problemas ambientais, destacando-se a manipueira e a casca da mandioca. Esses resíduos são descartados no ambiente ou destinados a complementação animal, entretanto são escassos dados referentes aos níveis de contaminantes, nutrientes e outras informações essenciais para a aplicação desses resíduos no ambiente, evitando assim a contaminação ambiental (SOUZA *et al.*, 2015).

A casca se destaca pelo seu uso como ração animal. Este resíduo sólido é obtido no processo de descascamento da mandioca para a produção da farinha, é a película que envolve a camada protetora da raiz denominada de entrecasca (BRASIL, 1995). Apesar da aplicação deste resíduo (casca de mandioca) ser amplamente utilizada na alimentação animal, propor novos usos de forma ambientalmente confiáveis e que agreguem funcionalidades à casca de mandioca tem sido objeto de estudo do nosso grupo de pesquisa.

O crescimento populacional e sua correlação direta com os três fatores da taxa de industrialização, uso de energia e geração de resíduos têm sido desafios mundiais de longa data. Sua influência direta no desenvolvimento sustentável tem sido uma importante área de pesquisa levando em consideração o desenvolvimento. A fim de alcançar a sustentabilidade econômica, energética e ambiental, como também, a recuperação do uso de resíduos sólidos tem sido reconhecida como uma solução com potencial para fornecer uma composição energética alternativa e facilitar um ciclo ambiental e econômico para a produção de materiais. Além disso, será de suma importância a quantidade de resíduos coletados para a utilização em centros municipais e agrícolas em todo o mundo.

O rendimento do BC a partir do processo de pirólise é um dos principais fatores para viabilidade de aplicação e atuação desse material nos diversos processos de interações com espécies químicas. A Figura 2 demonstra a influência da temperatura de pirólise nos rendimentos dos BC produzidos a partir de CM, apresentando menos valores com o aumento da temperatura.

Figura 2 - Efeito da temperatura de pirólise no rendimento dos BC produzidos a partir de CM



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

O aumento de temperatura no processo de pirólise das CM levou a uma redução no rendimento do BC (fase sólida). Os rendimentos dos BC1, BC2, BC3 e BC4 foram de 36,7 %, 32,3 %, 28,3 % e 24,6 %, respectivamente. Apresentando redução de aproximadamente 12%, quando se elevou a temperatura de 350 °C para 450 °C; cerca de 22,9 % quando a temperatura máxima de pirólise passou de 350 °C para 500 °C; e ainda, redução de aproximadamente 33 % quando o processo de pirólise passou da temperatura de 350 °C para 550 °C. Essa redução no rendimento da fase sólida pode ser atribuída a composição da biomassa, a qual apresenta em sua composição principalmente hemicelulose, celulose e lignina e deve ser levado em consideração para sua atuação como condicionador de solo (SILVA, 2022).

Como conclusão do processo de carbonização, o peso do material carbonizado foi determinado, resultando em um rendimento de material de 55,13%. Quando se compara com outros pesquisadores que também estudaram a carbonização da casca de mandioca e outros materiais (Fig, observa-se que a obtida pelo nosso grupo de pesquisa foi maior comparação com outros pesquisadores (rendimento máximo de biocarvão de 36,7% para a conversão de toneladas de mandioca em biocarvão e 28 % para a carbonização das folhas de amêndoa após 120 minutos em comparação com estudos que utilizaram configuração de reator semelhante) (SILVA, 2022). Adeniyi *et al.* obtiveram um rendimento de 14% para a carbonização do capim- elefante outros obtiveram um rendimento de 6,9% usando fibras de bananeira após 150 minutos de uso.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção e caracterização de biocarvão a partir de casca de mandioca mostraram que o aumento na temperatura de pirólise possibilitou distintas e importantes características para o biocarvão e redução do rendimento.

Desta forma, a produção de biocarvão a partir de casca de mandioca fornece uma solução sustentável para o descarte de resíduos da agricultura e agroindústria brasileira, com potencial para ser uma estratégia viável para aumentar a produção agrícola e reduzir contaminantes em áreas como o semiárido brasileiro.

A pesquisa desenvolvida mostrou como é possível fazer essa produção de modo que a contaminação seja a mínima possível, diminuindo os impactos ambientais. Ainda, os estudos aqui analisados mostraram excelente percentual de rendimento do produto.

REFERÊNCIAS

- AMONETTE, J. E.; JOSEPH, S. Characteristics of Biochar: Microchemical Properties. *In*: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Eds.). **Biochar for Environmental Management: Science and Technology**. London: Earthscan, 2009. P. 33-52.
- ARAÚJO, B. R.; ROMÃO, L. P. C.; DOUMER, M. E.; MANGRICH, A. S. Evaluation of the interactions between chitosan and humics in media for the controlled release of nitrogen fertilizer. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 190, p. 122-131, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.059>. Acesso em: 12 abr. 2023.
- CUNHA, T. J. F.; NOVOTNY, E. H.; MADARI, B. E.; BENITES, V. M.; MARTIN-NETO, L.; SANTOS, G. A. Carbono Pirogênico. *In*: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, E. N.; WOODS, W. I. **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. 2009. p. 263-284.
- DOUMER, M. E.; ARÍZAGA, G. G. C.; SILVA, D. A.; *et al.* Slow pyrolysis of different Brazilian waste biomasses as sources of soil conditioners and energy, and for environmental protection. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis** [s. l.], v. 113, p. 434-443, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2015.03.006>. Acesso em: 26 abr. 2023.
- GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal: a review. **Biology and Fertility of Soils**, [s. l.], v. 35, n. 4, p. 219-230, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00374-002-0466-4>. Acesso em: 18 abr. 2023.
- LEHMANN, J.; TORN, M.; ABIVEN, S. *et al.* Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. **Nature**, [s. l.], v. 478, p. 49–56, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature10386>. Acesso em: 20 abr. 2023.
- MANGRICH, A. S.; DOUMER, M. E.; MALLMANN, A. S.; WOLF, C. R. Química Verde no Tratamento de Águas: Uso de Coagulante Derivado de Tanino de *Acacia mearnsii*. **Rev. Virtual Quim.**, v. 6, n. 1, p. 2-15, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20140002>. Acesso em: 21 abr. 2023.
- NI, J.; PIGNATELLO, J.; XING, B. Adsorption of aromatic carboxylate ions to black carbon (biochar) is accompanied by proton exchange with water. **Environ. Sci. Technol.**, [s. l.], v. 45, n. 21, p. 9240–9248, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/es201859j>. Acesso em: 29 abr. 2023.
- NOVOTNY, E. H. **Estudos espectroscópicos e cromatográficos de substâncias húmicas de solos sob diferentes sistemas de preparo**. 2002. 231 f. Tese (Doutorado em Físico-química) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 2002. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75131/tde-29032004-182153/pt-br.php>. Acesso em: 30 abr. 2023.
- NOVOTNY, E. H.; HAYES, M. H. B.; MADARI, B. E.; *et al.* Lessons from the Terra Preta de Índios of the Amazon Region for the utilisation of charcoal for soil amendment. **J. Braz.**

Chem. Soc., São Paulo, v. 20, n. 6, p. 1003-1010, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-50532009000600002>. Acesso em: 25 abr. 2023.

ODEYEMI, S. O.; IWUOZOR, K. O.; EMENIKE, E. C.; ODEYEMI, O. T.; ADENIYI, A. G. Valorization of waste cassava peel into biochar: An alternative to electrically-powered process. **Total Environment Research Themes**, [s. l.], v. 6, p. 1-12, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.totert.2023.100029>. Acesso em: 30 abr. 2023.

SILVA, R. R. **Produção e caracterização de biocarvão por pirólise de biomassa de casca de mandioca**: avaliação com nutriente e contaminante. 2022. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Alagoas, 2022.

SOUZA, S. de O.; DA SILVA, A. P. B.; DA SILVA, R. M.; DE OLIVEIRA, L. C.; GOVEIA, D.; BOTERO, W. G. Resíduos de cascas de farinha do agreste alagoano: perspectivas de utilização. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 65–73, 2015. Disponível em: <http://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/view/242>. Acesso em: 24 abr. 2023.

TRAZZI

VALE, H. C. P.; LENZI, L. A. F. (Orgs.). **Manual para normalização de trabalhos acadêmicos da UFAL**. Maceió: UFAL, 2022. Disponível em: https://sibi.ufal.br/portal/wp-content/uploads/2022/09/Manual-para-normaliza%C3%A7%C3%A3o-de-trabalhos-academicos_atualizado-em_22SET_site.pdf. Acesso em: 22 abr. 2023.