

CARVÃO ATIVADO DE BIOMASSA: ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA TRATAMENTO DE ÁGUA NO BRASIL

Elvis Goldas

Suzana Frighetto Ferrarini

RESUMO: Este artigo apresenta uma revisão bibliográfica sobre o uso de biomassas brasileiras na produção de carvão ativado, com foco no tratamento de água para consumo humano, especialmente em comunidades rurais e periféricas. Considerando o potencial adsorvente desses materiais, foram selecionadas biomassas amplamente disponíveis no Brasil, como acácia-negra, cascas de pinhão, coco verde, laranja, banana, babaçu, arroz e pitaia, que possuem componentes como lignina e celulose e são frequentemente descartadas de forma inadequada. A pesquisa buscou investigar a viabilidade dessas biomassas como alternativa ao carvão ativado comercial, cuja produção convencional é baseada principalmente na utilização de madeira e pode gerar impactos ambientais significativos. Embora a substituição da matéria-prima inicial não reduza substancialmente os custos de produção, seu principal benefício está na valorização de resíduos agroindustriais, na redução da pressão sobre recursos florestais e na promoção da economia

circular. A metodologia consistiu em uma revisão de artigos nacionais e internacionais, utilizando bases de dados científicas como Web of Science, Scopus, SciELO e o Portal de Periódicos da CAPES. Foram analisados os processos de pirólise e ativação das biomassas, bem como os resultados da capacidade adsorvente de cada material estudado. Os estudos revisados demonstraram que as biomassas selecionadas apresentam desempenho satisfatório na remoção de contaminantes, incluindo metais, corantes, fármacos e compostos orgânicos, posicionando-se como alternativas promissoras para o tratamento de água. Além de sua eficiência na remoção de poluentes, a adoção dessas biomassas reforça o compromisso com a sustentabilidade e a conservação ambiental, promovendo o reaproveitamento de resíduos agroflorestais e a redução de impactos associados à extração de matéria-prima convencional. Essa abordagem está alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), especialmente os de número 3 – Saúde e bem-estar, 6 – Água potável e saneamento e 12 – Consumo e produção sustentável, que visam à ampliação do acesso à água

tratada e à gestão eficiente de resíduos. Diante dessa revisão sistemática, pode-se afirmar que a produção de carvão ativado a partir de biomassas brasileiras representa uma alternativa ambientalmente viável, capaz de contribuir para a conservação dos recursos hídricos e para a implementação de práticas mais sustentáveis no setor de saneamento. Sua aplicação pode desempenhar um papel relevante na saúde pública, especialmente para populações excluídas dos sistemas convencionais de tratamento de água, ao mesmo tempo em que promove benefícios ambientais e avanços na economia circular.

PALAVRAS-CHAVE: Biomassa brasileira, adsorventes, potabilidade, saneamento rural.

ACTIVATED CARBON FROM BIOMASS: A SUSTAINABLE ALTERNATIVE FOR WATER TREATMENT IN BRAZIL

ABSTRACT: This article presents a literature review on the use of Brazilian biomasses in activated carbon production, focusing on water treatment for human consumption, particularly in rural and peripheral communities. Considering the adsorptive potential of these materials, widely available biomasses in Brazil were selected, including black wattle bark, pine nut shells, green coconut, orange peel, banana peel, babassu, rice husk, and dragon fruit cladode, which contain lignin and cellulose and are often inadequately discarded. The study aimed to investigate the feasibility of these biomasses as an alternative to commercial activated carbon, whose conventional production is mainly based on wood-derived sources, often leading to significant environmental impacts. Although replacing the raw material does not substantially reduce production costs, its primary benefit lies in the valorization of agro-industrial waste, reducing pressure on forest resources, and promoting circular economy principles. The methodology consisted of a review of national and international scientific articles, using databases such as Web of Science, Scopus, SciELO, and the CAPES Journal Portal. The study analyzed the pyrolysis and activation processes of these biomasses, as well as the adsorption efficiency of each material. The reviewed studies demonstrated that the selected biomasses exhibit satisfactory performance in removing contaminants, including metals, dyes, pharmaceuticals, and organic compounds, positioning them as promising alternatives for water treatment. Beyond their efficiency in pollutant removal, adopting these biomasses strengthens sustainability efforts and environmental conservation, promoting the reuse of agroforestry waste and reducing the impacts associated with traditional raw material extraction. This approach aligns with the United Nations (UN) 2030 Agenda for Sustainable Development Goals (SDGs), particularly Goal 3 – Good Health and Well-being, Goal 6 – Clean Water and Sanitation, and Goal 12 – Responsible Consumption and Production, which seek to expand access to safe drinking water and improve waste management practices. Based on this systematic review, it can be concluded that the production of activated carbon from Brazilian biomasses represents an environmentally viable alternative, contributing to water resource conservation and fostering the adoption of more sustainable practices in the sanitation sector. Its application may play a significant role in public health, particularly for populations excluded from conventional water treatment systems, while also promoting environmental benefits and advancements in circular economy practices.

KEYWORDS: Brazilian biomass, adsorbents, potability, rural sanitation.

INTRODUÇÃO

Em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu a Agenda 2030, uma iniciativa global que definiu 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas, visando alcançar o desenvolvimento sustentável em três dimensões fundamentais: econômica, social e ambiental. Entre os compromissos assumidos, destacam-se a gestão sustentável dos recursos naturais e a necessidade de reduzir, reciclar e reutilizar resíduos, especialmente diante do crescimento populacional e do aumento da demanda por insumos naturais (ONU, 2016).

A água, embora essencial para a vida no planeta, enfrenta desafios cada vez mais complexos relacionados à sua disponibilidade e qualidade. A crescente escassez de água, intensificada pelas mudanças climáticas e pela urbanização acelerada, exige uma abordagem mais eficiente e responsável para garantir a segurança hídrica das próximas gerações. Além disso, a falta de saneamento adequado compromete a saúde pública e agrava a desigualdade socioeconômica, tornando urgente a implementação de soluções inovadoras e sustentáveis (Gleick, 2018).

No Brasil, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 85,5% da população recebe água por meio de redes de distribuição, enquanto 11,5% dependem de fontes alternativas, como poços artesianos. No entanto, cerca de 3% da população brasileira (aproximadamente 6 milhões de pessoas) ainda não possui acesso a água tratada, concentrando-se, sobretudo, em áreas rurais e periféricas (IBGE, 2022). Essas comunidades, frequentemente excluídas dos sistemas convencionais de saneamento, enfrentam dificuldades no acesso a tecnologias de tratamento devido ao alto custo das soluções comerciais disponíveis. A Lei 14.026/2020, que revisou o Marco Legal do Saneamento, estabeleceu metas ambiciosas para 2033, incluindo garantir acesso à água potável para 99% da população (ANA, 2024). Entretanto, alcançar esses objetivos representa um desafio técnico, econômico e ambiental significativo.

Nesse cenário, a Portaria GM/MS nº 888/2021 define os parâmetros de potabilidade da água para consumo humano, estabelecendo padrões rigorosos de qualidade (Ministério da Saúde, 2021). Diante dessa necessidade, a busca por alternativas acessíveis e ambientalmente sustentáveis tem incentivado a substituição do carvão ativado comercial por adsorventes produzidos a partir de resíduos de biomassa.

Diferentes biomassas, como casca de laranja (Domingues, 2021), coco de babaçu (Silva, 2022), casca de banana (Souza, 2012), coco verde (Teixeira, 2020), casca de acácia-negra (Bitencourt, 2023), casca de pinhão (Nebes, 2019), casca de arroz (Ries, 2019) e cladódio de pitaia (Carlos, 2022), apresentam propriedades adsorventes comparáveis ao carvão ativado comercial, mas com custos reduzidos. Além de viabilizar o acesso a métodos de tratamento de água de baixo custo, o uso dessas biomassas valoriza resíduos agroindustriais, impulsionando a economia circular e reduzindo a dependência de matérias-primas convencionais.

A reutilização desses resíduos mitiga impactos ambientais associados ao descarte inadequado e fortalece práticas sustentáveis, ao transformar subprodutos negligenciados em insumos estratégicos para o saneamento e a segurança hídrica. Embora a substituição da matéria-prima inicial possa trazer benefícios ambientais significativos, o processo de produção do carvão ativado permanece essencialmente o mesmo, o que significa que os custos associados a etapas como carbonização e ativação não são reduzidos consideravelmente. Assim, o principal diferencial dessa abordagem está na valorização de resíduos agroindustriais e na minimização da pressão sobre recursos florestais, promovendo um modelo mais alinhado aos princípios da economia circular.

Além disso, a substituição do carvão ativado comercial por materiais alternativos pode reduzir impactos ambientais negativos, como aqueles causados pela monocultura de *Pinus spp.*, principal matéria-prima utilizada na produção industrial de carvão ativado. Essa espécie exótica, quando cultivada em larga escala, pode comprometer ecossistemas naturais, agravando o esgotamento hídrico, a acidificação do solo e a dificuldade na regeneração da vegetação nativa.

Dessa forma, a exploração de fontes alternativas para a produção de carvão ativado não apenas favorece a gestão sustentável de resíduos agroindustriais, mas também amplia o acesso a soluções eficientes e economicamente viáveis para o saneamento básico. Com base nessa perspectiva, este trabalho, por meio de uma revisão bibliográfica, analisou o potencial de diferentes biomassas brasileiras para a produção de carvão ativado, reforçando sua aplicabilidade no tratamento de água para consumo humano. A pesquisa contribui, assim, para o avanço das metas globais de sustentabilidade e saúde pública, proporcionando alternativas ecologicamente responsáveis e acessíveis para o setor de saneamento.

JUSTIFICATIVA

Diante da importância do tratamento de água para a qualidade de vida e a saúde pública, este trabalho realizou uma revisão bibliográfica focada no reaproveitamento de resíduos agroflorestais de diversas regiões do Brasil. O objetivo foi investigar alternativas viáveis para o tratamento de água, um recurso essencial para a vida, especialmente em populações afastadas dos grandes centros urbanos e com acesso limitado a tecnologias convencionais. A abordagem adotada nesta revisão é fundamental, pois sistematiza informações sobre a aplicação de biomassas regionais na produção de carvão ativado, oferecendo subsídios para que pesquisadores e gestores públicos possam implementar soluções sustentáveis e ambientalmente responsáveis no tratamento da água para consumo humano.

Essa pesquisa se torna especialmente relevante considerando que uma parcela significativa da população brasileira, especialmente em áreas rurais, ainda não tem acesso a água tratada. Além disso, o Brasil possui uma grande diversidade de biomassas subutilizadas, que podem ser empregadas como matéria-prima alternativa na produção de

adsorventes, reduzindo a dependência da extração de madeira e seus impactos ambientais. A exploração de resíduos agroindustriais para o tratamento de água não apenas promove a economia circular, mas também minimiza os impactos do descarte inadequado e contribui para a preservação dos recursos florestais. Assim, o uso de biomassas regionais se apresenta como uma alternativa sustentável, fortalecendo a gestão eficiente dos resíduos e a conservação ambiental, ao mesmo tempo em que amplia as opções de tratamento de água em comunidades que necessitam de soluções acessíveis e eficazes para a melhoria do saneamento.

OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo principal realizar uma revisão bibliográfica sobre o uso de diferentes biomassas brasileiras na produção de carvão ativado aplicado ao tratamento de água para consumo humano, com foco na valorização de resíduos agroindustriais e nos benefícios ambientais da substituição de matérias-primas convencionais.

Especificamente, buscou-se:

- 1) Investigar alternativas de biomassas brasileiras com potencial para substituir o carvão ativado comercial, tradicionalmente derivado da madeira, como material adsorvente;
- 2) Analisar o desempenho adsorvente dessas biomassas na remoção de diferentes poluentes, com ênfase nos parâmetros de potabilidade estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021, incluindo coliformes, metais e turbidez;
- 3) Avaliar os benefícios ambientais do uso dessas biomassas, considerando sua contribuição para a redução do descarte inadequado de resíduos, a economia circular e a sustentabilidade dos processos de tratamento de água.

METODOLOGIA

Para a realização deste estudo, foi conduzida uma pesquisa bibliográfica exploratória, com foco em resultados obtidos no uso de biomassas alternativas para a produção de carvão ativado aplicado ao tratamento de água para consumo humano. As referências foram selecionadas a partir de consultas a bases de dados científicas reconhecidas, incluindo Web of Science, Scopus, SciELO (Scientific Electronic Library Online) e o Portal de Periódicos da CAPES. Essas fontes foram escolhidas por sua abrangência e relevância na indexação de estudos nacionais e internacionais sobre tecnologias sustentáveis para saneamento e gestão hídrica.

A seleção dos estudos priorizou artigos publicados em periódicos científicos, além de dissertações e teses que abordassem o potencial de diversas biomassas como alternativas ao carvão ativado comercial. Para garantir a relevância e a qualidade das publicações incluídas, foram considerados critérios como adequação ao tema, robustez

metodológica, relevância dos dados apresentados e aplicabilidade dos resultados ao contexto de comunidades rurais e periféricas, onde o acesso a tecnologias convencionais de tratamento de água é limitado.

A pesquisa foi conduzida utilizando as seguintes palavras-chave: “carvão ativado,” “biomassa,” “tratamento de água,” “resíduos agroflorestais” e “desenvolvimento sustentável”. Esses termos foram selecionados para abranger estudos que investigam o reaproveitamento de resíduos de diferentes regiões brasileiras no tratamento de água potável, reforçando a viabilidade técnica, ambiental e econômica dessas alternativas.

REFERENCIAL TEÓRICO

Carvão Ativado

O carvão ativado é classificado como um material poroso com alta concentração de carbono, que passa por um processo de ativação para ampliar sua porosidade interna, formando uma rede de canais que se dividem em macro, meso e microporos (Figura 1). Esse aumento na superfície de contato é o que torna o material altamente eficiente como adsorvente (Claudino, 2003; De Costa 2015).



Figura 1 – Esquema ilustrativo do processo de obtenção do carvão ativado

Fonte: Oliveira, 2016.

A produção de carvão ativado ocorre em duas etapas principais: a carbonização e a ativação. Na carbonização, a biomassa é submetida a um processo de pirólise, que converte o material em carvão por meio de degradação térmica em ambiente com pouco ou nenhum oxigênio. A ativação pode ser química, envolvendo substâncias como ácido fosfórico ou cloreto de zinco, ou física, utilizando gases como H_2O e CO_2 ou mistura de ambos (Almeida, 2024; Heylmann, 2021).

Esse material é amplamente utilizado em processos de tratamento de água devido à sua capacidade de remover contaminantes como pesticidas, metais tóxicos e compostos orgânicos. A sua estrutura porosa permite a interação com grupos funcionais presentes nas moléculas dos poluentes, sendo eficaz na adsorção de substâncias indesejadas e, conseqüentemente, na melhoria da qualidade da água (Rodrigues, 2024).

No entanto, o alto custo de produção do carvão ativado comercial, associado às despesas com energia, infraestrutura e mão de obra, permanece um desafio, independentemente da matéria-prima utilizada. Dessa forma, a principal vantagem do

uso de biomassas alternativas não está necessariamente na redução direta dos custos de produção, mas sim nos ganhos ambientais e na sustentabilidade do processo. O aproveitamento de resíduos agroindustriais, como casca de laranja, coco verde e acácia-negra, contribui para a valorização de subprodutos orgânicos, reduzindo impactos ambientais relacionados ao descarte inadequado e à exploração de recursos florestais. Além disso, o uso dessas biomassas minimiza a pressão sobre a monocultura de espécies como *Pinus spp.*, frequentemente utilizada na produção do carvão ativado convencional, promovendo uma abordagem mais alinhada aos princípios da economia circular e da gestão sustentável dos recursos naturais (Pereira, 2008; Domingues, 2021; Teixeira, 2020).

***Acacia mearnsii* (Ácacia-Negra)**

A *Acacia mearnsii*, conhecida popularmente como acácia-negra, é uma espécie florestal de grande relevância econômica no estado do Rio Grande do Sul (Suyenaga, 2015). Originária da Tasmânia e das regiões sul e sudeste da Austrália (Schneider; Tonini, 2003), foi introduzida no estado em 1918, por Alexandre Bleckman. Em 2012, 100% da produção nacional da casca de acácia-negra ocorreu nesse estado, totalizando cerca de 103 mil toneladas (De Aguiar Linhares, 2016).

O cultivo da acácia-negra está vinculado tanto à extração de madeira quanto ao tanino, substância extraída de sua casca que é usada em diversos setores industriais (De Aguiar Linhares, 2016). Esse processo gera uma quantidade significativa de resíduos sólidos. Como alternativa para o reaproveitamento ambientalmente responsável desses resíduos. Estudos têm explorado seu uso na produção de carvão ativado, pois biomassas ricas em carbono e lignocelulose, como a acácia-negra, apresentam grande potencial para a fabricação de materiais adsorventes (Bitencourt, 2023).

Recentemente, Bitencourt (2023) investigou o uso da casca de acácia-negra para a adsorção de fármacos, especificamente o ibuprofeno, realizando estudos cinéticos para avaliar a eficiência do carvão ativado produzido. Os estudos cinéticos são importantes porque permitem compreender a taxa de adsorção e o tempo necessário para alcançar a máxima remoção de contaminantes, ajudando a otimizar o processo. No experimento, a casca foi coletada no município de Estância Velha/RS, moída, lavada e seca em estufa por 24 horas a 105 °C. A ativação foi realizada com ácido fosfórico (H_3PO_4) a 40% na proporção de 1:1 em massa, e o material foi mantido em repouso em estufa a 105 °C por 72 horas. Em seguida, a pirólise foi conduzida a 500 °C, com neutralização em água e secagem final em estufa.

Os ensaios demonstraram que o carvão ativado produzido atingiu aproximadamente 93 % de eficiência na remoção de ibuprofeno, com um tempo de equilíbrio de adsorção em torno de 35 minutos, indicando um alto potencial para o tratamento de água contaminada com fármacos (Bitencourt, 2023).

***Araucaria angustifolia* (Pinhão)**

A araucária ou pinheiro-brasileiro (*Araucaria angustifolia*) é uma árvore emblemática da paisagem brasileira e a principal espécie conífera nativa das regiões Sul e Sudeste do Brasil, onde cresce naturalmente e complementa a produção de pequenos produtores rurais. Populações indígenas historicamente utilizavam o pinhão, semente da araucária, como alimento sazonal (De Souza, 2021). No início do século XX, a madeira da araucária foi um dos produtos mais exportados pelo Brasil, superado apenas pelo café. Contudo, devido ao seu lento crescimento e intensa exploração, a extração da madeira tornou-se economicamente inviável (De Souza, 2021).

Em 2023, a produção de pinhão no Brasil foi de cerca de 12.120 toneladas, com o Paraná liderando a produção, seguido de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (IBGE, 2023).

Enquanto a polpa do pinhão é consumida, as cascas das sementes são descartadas como resíduos orgânicos sem valor comercial. No entanto, a casca, composta por 40,6 % de lignina, hemicelulose e celulose, apresenta um potencial sustentável e econômico para a produção de carvão ativado (Nebes, 2019). Em seu estudo, Nebes (2019) coletou cascas de pinhão na região de Londrina, Paraná, lavou-as com água corrente e destilada, secou-as em estufa a 105 °C, e padronizou a granulometria para 150 - 300 µm. A ativação do carvão foi feita com hidróxido de potássio (KOH) e água, seguida de 20 minutos em ultrassom para homogeneização. A secagem foi realizada em estufa a 105 °C por 24 horas. Posteriormente, o carvão seco foi aquecido em um reator de aço inoxidável, onde o processo de ativação ocorreu. Após o aquecimento, o carvão passou por lavagens com solução de HCl e água destilada até atingir pH próximo de 6,0, removendo resíduos inorgânicos.

Nos testes de adsorção com azul de metileno, 0,1 g do carvão ativado foi agitado em solução de 50 mL a 1200 mg/L por 60 minutos. Os resultados indicaram que, sob condições ideais de ativação (835 °C, 103,8 minutos, e razão ativante/carvão de 5,79:1), o carvão atingiu uma eficiência de adsorção de 99,97%. Outro teste com ativação a 944 °C e 80 minutos alcançou 99,99% de remoção, demonstrando que o carvão ativado da casca de pinhão é altamente eficaz na adsorção de corantes como o azul de metileno, tornando-se uma alternativa viável para tratamento de efluentes (Nebes, 2019).

***Citrus sinenses* (Laranja)**

A laranja (*Citrus sinenses*) é originária da Ásia e foi introduzida no Brasil durante as primeiras expedições portuguesas no século XVI. No território brasileiro, a fruta encontrou condições climáticas favoráveis, tornando-se amplamente popular e essencial na alimentação, sendo consumida tanto in natura quanto em sucos e ingredientes diversos. Além de suas propriedades nutricionais, a casca da laranja possui óleos essenciais, utilizados em cosméticos e produtos de limpeza (Cavalcante, 2015).

Estimasse que na safra de 2019/20 foram produzidas 46 milhões de toneladas de laranja, o que torna a fruta cítrica a mais cultivada no mundo. Na safra de 2020/21, o Brasil produziu cerca de 32,8% da laranja cultivada mundialmente, consolidando-se como o maior produtor global (Vidal, 2021). A alta produção de laranja gera uma quantidade considerável de resíduos, como sementes, polpas e cascas. Uma alternativa promissora para o aproveitamento desses resíduos é a produção de carvão ativado visando seu uso no tratamento de água para consumo humano (Domingues, 2021).

Domingues (2021) realizou um experimento baseado em trabalhos anteriores, nos quais utilizou a casca de laranja para produzir carvão ativado. No processo experimental, as cascas de quatro laranjas foram trituradas e submetidas a aquecimento em mufla a aproximadamente 380 °C, o que resultou em um material de coloração preta, característico do carvão. Impurezas foram removidas por meio de lavagens com água destilada, seguido de filtração e armazenamento em dessecador.

Para a ativação química, foi usada uma solução de cloreto de cálcio (CaCl_2) a 4 g/L. A amostra de 1 g do carvão foi misturada em 250 mL da solução de CaCl_2 e agitada por 20 minutos. Em seguida, o carvão ativado foi aplicado em amostras de água de poços artesanais contaminados com nitrato. O pH da água foi ajustado para valores entre 5,6 e 5,68 com ácido sulfúrico (H_2SO_4) 1 mol/L. A eficiência do carvão foi testada agitando 1,3 g a 1,42 g do material em 125 mL da amostra durante 20 minutos.

Os resultados indicaram uma redução de 47,13% na concentração de nitrato nas amostras tratadas. Segundo a legislação vigente, o limite máximo de nitrato é 10 mg/L, e o carvão ativado produzido a partir da casca de laranja demonstrou capacidade para tratar amostras com concentrações de até 18,5 mg/L de NO_3^- , mostrando-se uma alternativa eficiente e sustentável para o tratamento de água (Domingues, 2021).

***Cocos nucifera* (Coco verde)**

O cultivo do coqueiro (*Cocos nucifera* L.) é uma das atividades agrícolas mais importantes no mundo (Benassi, 2013). No Brasil, cerca de 200 mil hectares foram destinados ao cultivo dessa palmeira em 2018 (IBGE, 2019). O fruto do coqueiro é consumido in natura e também industrializado para diversos produtos. Contudo, cerca de 80% do peso do coco é casca, que frequentemente é descartada como resíduo orgânico (De Almeida E Silva, 2017). Esse descarte gera um impacto ambiental considerável, especialmente nas regiões litorâneas do Brasil, onde cerca de 70% do lixo é composto por cascas de coco verde (Mattos, 2012).

A casca do coco, composta principalmente por hemicelulose, celulose e lignina, é uma biomassa com potencial para a produção de carvão ativado devido à sua estrutura lignocelulósica, que após a ativação se torna altamente porosa (Teixeira, 2020). Essa característica permite transformar o resíduo em um material de valor agregado, utilizado no tratamento de água e na adsorção de poluentes.

Em um estudo realizado em Porto Alegre, Teixeira (2020) produziu carvão ativado a partir da casca de coco verde coletada em bancas comerciais. As cascas foram

descascadas e fragmentadas, secas em estufa a 110 °C por 24 horas e trituradas até a granulometria adequada. A ativação foi realizada com ácido fosfórico (H_3PO_4) em diferentes concentrações e tempos.

Para os testes de adsorção, foi utilizado o corante azul de metileno. Em cada ensaio, 2 mg do carvão ativado foram misturados com 40 mL de solução de azul de metileno (2 ppm), e as amostras foram mantidas no escuro. Amostras foram coletadas em intervalos regulares até o equilíbrio, que foi alcançado em cerca de 60 minutos, com mais de 50% do corante adsorvido nos primeiros 30 minutos. O uso de ácido fosfórico em concentrações mais elevadas não resultou em um aumento significativo da área superficial específica do carvão, indicando que o aumento da concentração do reagente não melhorou a capacidade de adsorção (Teixeira, 2020).

***Musa spp* (Banana)**

A banana é a fruta in natura mais consumida no Brasil, presente em todas as faixas etárias e classes sociais devido à sua praticidade. Cultivada por agricultores de diferentes portes em todo o território nacional, o Brasil se destaca como o quarto maior produtor mundial, com produção anual acima de 6,6 milhões de toneladas (Embrapa, 2024). A casca de banana representa cerca de metade do peso da fruta madura e, apesar de sua abundância, possui poucas aplicações industriais, sendo utilizada de forma limitada na alimentação humana e animal (Cruz, 2009).

Uma alternativa promissora para o reaproveitamento da casca é seu uso como precursor de carvão ativado, pois é um material de baixo custo e amplamente disponível. A casca de banana possui cerca de 75% de água e 25% de matéria seca, contendo vitaminas A e C, potássio, cálcio, ferro, sódio, magnésio, zinco e cobre. A farinha da casca é rica em material orgânico-mineral, com 35% de amido, 31 % de açúcares totais, 65% de umidade, 13% de cinzas, 10% de lipídios e 8,80% de proteínas, o que confere ao material grupos funcionais capazes de interagir com íons metálicos (Cruz, 2009). Sugumaran et al. (2012) destacam ainda que os resíduos da bananeira são úteis no tratamento de água potável, na adsorção de corantes e na remoção de metais pesados em efluentes industriais.

Em Tangará da Serra, Mato Grosso, Souza (2017) realizou um estudo com bananas coletadas durante os períodos de seca (agosto a outubro) e chuva (dezembro a fevereiro). As amostras foram divididas em três composições para produção de carvão ativado: casca, polpa e casca com polpa. O material foi desidratado e submetido à ativação química com KOH 10% por 60 minutos, seguido de secagem em estufa a 105 °C por 24 horas, carbonização em mufla a 550 °C por 15 minutos, imersão em solução de HCl 10% por 2 horas, lavagem com água destilada e secagem final a 105 °C por 24 horas.

Para a análise de adsorção do corante azul de metileno, utilizou-se 1 g dos carvões ativados em 100 mL de solução de azul de metileno a 50 mg/L. Os experimentos foram realizados à temperatura ambiente, sob agitação de 80 rpm por 2 horas, mantendo o pH

das soluções. Os resultados indicaram que os carvões ativados, especialmente aqueles feitos com casca de banana verde, apresentaram uma eficiência de adsorção entre 88,33% e 94,78%. Os carvões produzidos a partir das bananas verdes, particularmente os compostos apenas pela casca, demonstraram maior eficácia em comparação aos produzidos com as bananas maduras, que atingiram uma eficiência máxima de 77,10%. Embora o desempenho tenha sido satisfatório, não superou o carvão ativado comercial produzido com madeira de Pinus (Souza, 2017).

***Orbignya sp* (Babaçu)**

O babaçu (*Orbignya sp*) é uma planta lignocelulósica nativa do Brasil e considerado o maior recurso oleífero nativo do mundo, distribuído amplamente pelo interior do país, desde o Amazonas até São Paulo (Carvalho, 1998). O Maranhão abriga a maior concentração dessa palmeira, com 93 % das ocorrências localizadas nesse estado (IBGE, 2023). O fruto do babaçu é composto por cinco partes distintas: o epicarpo, camada externa de coloração amarelo-avermelhada e estrutura fibrosa, que representa 12% do fruto; o mesocarpo, uma camada farinhosa rica em amido, que compõe 23%; o endocarpo, casca rígida que protege as amêndoas, representando 58 % do fruto; e as sementes, onde se encontram as amêndoas, fonte de óleo vegetal e que correspondem a 7 % do fruto (Lorenzi, 2004).

Segundo o último censo nacional, o Brasil produziu cerca de 26.475 toneladas de amêndoas de babaçu, o que indica que aproximadamente 351.739 toneladas do fruto foram utilizadas em produções secundárias ou descartadas inadequadamente, causando impacto ambiental negativo (IBGE, 2023).

A casca do babaçu foi utilizada por Silva et al. (2022) para produzir carvão ativado em um estudo realizado na zona rural de Aldeias Altas, no Maranhão. O processo foi feito em uma caieira, com o objetivo de criar alternativas acessíveis de tratamento de água para famílias sem acesso a serviços de saneamento. Após a carbonização, 2 kg do carvão vegetal foram submersos por 24 horas em uma solução com 6 litros de água (H₂O) e 480 g de hidróxido de sódio (NaOH) para ativação química. Em seguida, o líquido foi drenado, e o carvão passou por uma série de 10 lavagens para remoção de resíduos, sendo depois seco em estufa a 100 °C por cerca de uma hora.

O carvão ativado foi então utilizado em um filtro caseiro para tratar amostras de água coletadas de uma torneira local. Foram realizadas duas análises: uma amostra de água diretamente da torneira e outra após a passagem pelo filtro contendo o carvão ativado. Nos resultados, houve uma redução da turbidez, passando de 0,27 uT na água da torneira para 0,17 uT na água filtrada, ambos dentro do limite permitido de 0,5 uT pela legislação. Em relação ao dióxido de carbono (CO₂), a água da torneira apresentou 5,28 mg/L, enquanto a água filtrada apresentou 3,52 mg/L, com uma redução de 1,76 mg/L após a filtração. Níveis elevados de CO₂ dissolvido na água indica decomposição orgânica ou mineral anômala e

são um fator importante na monitorização da acidez e qualidade das águas (Dos Santos Silva, 2020).

***Oryza sativa* (Arroz)**

O arroz (*Oryza sativa*), originário da Ásia, é o cereal de cultivo contínuo mais antigo do mundo, pertencendo à família Poaceae, que inclui também milho, trigo, cana-de-açúcar, bambu e gramíneas (Santos, 2021).

No Brasil, o arroz é amplamente cultivado, principalmente no estado do Rio Grande do Sul, que é o maior produtor nacional (IBGE, 2023). Durante o beneficiamento, a casca do arroz é removida e representa cerca de 23% do peso total do grão (Kieling, 2016).

Segundo o IBGE, a produção de arroz com casca no Brasil em 2023 foi de aproximadamente 10,3 milhões de toneladas, o que indica que cerca de 2,36 milhões de toneladas correspondem à casca de arroz (IBGE, 2023). O aproveitamento desse abundante resíduo agroindustrial para a produção de materiais de interesse tecnológico tem se mostrado promissor, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental, especialmente em países com grandes plantações de arroz, como o Brasil e nações asiáticas (Schettino Jr, 2007).

A casca de arroz, ao ser transformada em cinzas, não apresenta riscos à saúde ou ao meio ambiente, podendo ser reciclada de maneira segura. Composta principalmente por sílica, a casca é uma matéria-prima promissora para diversos setores, incluindo construção civil, cerâmica, química e siderurgia. Essa composição também desperta interesse para seu uso como material adsorvente (Kieling, 2016).

Nesse contexto, Ries (2019) desenvolveu um estudo comparando carvões ativados comerciais de diferentes granulometrias com um carvão vegetal produzido a partir da pirólise da casca de arroz, para a adsorção de cromo Cr (VI). O carvão de casca de arroz foi produzido por pirólise rápida a 600 °C, sem processo adicional de ativação e limpeza de sua superfície.

Para avaliar a adsorção de Cr (VI), foram testadas quantidades de carvão entre 0,005 e 0,35 g em 50 mL de solução aquosa com concentração inicial de 2 mg/L de Cr (VI) e pH ajustado para 3,0. Os sistemas foram mantidos sob agitação orbital a 150 rpm e temperatura de 25 °C por 2 horas. Após a agitação, a solução foi filtrada, e amostras do sobrenadante foram analisadas para determinar a concentração residual de Cr (VI) pelo método espectrofotométrico com 1,5-difenilcarbazida. Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

O carvão em pó apresentou a maior eficiência na remoção de cromo, atingindo 80 % de remoção em apenas 10 minutos e remoção total em 100 minutos, assim como o carvão granular de menor granulometria. O carvão de maior granulometria levou cerca de 180 minutos para alcançar 78,1% de remoção, enquanto o carvão de casca de arroz removeu aproximadamente 85,5% do Cr (VI) no mesmo período, demonstrando resultados promissores e alcançando valores comparáveis aos carvões ativados comerciais (Da Silva Ries, 2019).

***Selenicereus undatus* (Haw.) D.R. Hunt) (pitaia)**

Apontada como uma fruta exótica no Brasil, a pitaia faz parte da família Cactaceae e é também chamada de Dragon Fruit ou Fruta-do-Dragão. Estima-se que exista nas Américas cerca de 100 gêneros e 1500 espécies nativas (Dos Santos, 2021).

Algumas espécies desta fruta são a pitaia-vermelha-de-polpa-branca (*Hylocereus undatus*), pitaia-vermelha-de-polpa-vermelha (*Hylocereus costaricensis*), pitaia-amarela (*Selenicereus megalanthus*) e pitaia-do-cerrado (*Selenicereus setaceus*). Dentre estas espécies, a pitaia-vermelha-de-polpa-branca é, na atualidade, a mais cultivada (Junqueira, 2010). É possível encontrar espécies nativas e naturalizadas no Cerrado brasileiro e também em matas de transição, no entanto a fruta ainda é considerada exótica no país (Faleiro, 2021).

Segundo dados de 2017 do IBGE, o Brasil teve uma produção de 1.459 toneladas distribuída em 536 hectares, os estados de Santa Catarina e Paraná, são os maiores produtores atualmente (IBGE, 2017).

Por integrar a família *cactácea*, a pitaia tem capacidade de produção de mucilagem, que faz parte da fibra alimentar e considerado um carboidrato complexo, que possui grande potencial para ser usado como adsorvente para o tratamento de água (Carlos, 2022). O cladódio da pitaia, é parte da folhagem da planta, substancia abundante e sem descarte definido. Carlos, 2022 utilizou essa matéria prima como coagulante vegetal para tratamento de água. O processo de coagulação é o processo responsável por reduzir a maior parte das impurezas presentes na água bruta. O autor realizou a secagem do cladódio em estufa, trituração em moinho de facas e peneiramento para atingir a granulometria adequada. A comparação da eficácia do cladódio de pitaia foi realizada com o uso de um coagulante vegetal já utilizado extensamente em pesquisas que envolvem o tratamento de água, ou seja, a semente de moringa da espécie *Moringa oleífera* e o coagulante comercial sulfato de alumínio, muito utilizado em estações de tratamento de água convencionais. A avaliação considerou os parâmetros de potabilidade cor verdadeira, cor aparente, turbidez, potencial hidrogeniônico (pH) e Carbono Orgânico Dissolvido (COD). Foram analisadas amostras de água coletadas as margens da lagoa Itapeva, localizada na cidade de Torres, RS.

Resultados deste estudo mostraram que o ajuste do pH afetou diretamente as etapas de coagulação e floculação. A pitaia apresentou melhor condição de atuação em ácido (pH 3), enquanto o sulfato de alumínio foi em pH 6 e a semente de moringa não apresentou especificidade. De maneira geral, o sulfato de alumínio foi quem apresentou melhores resultados para remoção dos parâmetros. A moringa e a pitaia apresentaram resultados semelhantes. O inconveniente do uso da pitaia foi a necessidade de regulagem do pH, mas que também acaba tendo resultados significativos e promissores, principalmente estudando seu uso em tratamentos de efluentes com concentrações ácidas (Carlos, 2022). Apenas outros dois estudos foram encontrados com o uso do cladódio de pitaia no tratamento de água, porém, tais estudos utilizaram uma etapa adicional de extração do coagulante (Shafad et al., (2013), Rayudu et al., 2022).

Não foram encontrados na literatura estudos que apontem para a síntese de carvão ativado utilizando o cladódio de pitaita. Contudo, esse resíduo agroindustrial apresenta características e propriedades adequadas para esse propósito.

A Figura 2 apresenta as diferentes biomassas que foram exploradas no estudo, incluindo casca de laranja, coco verde, banana, cladódio de pitaita, babaçu, arroz, pinhão e acácia-negra.

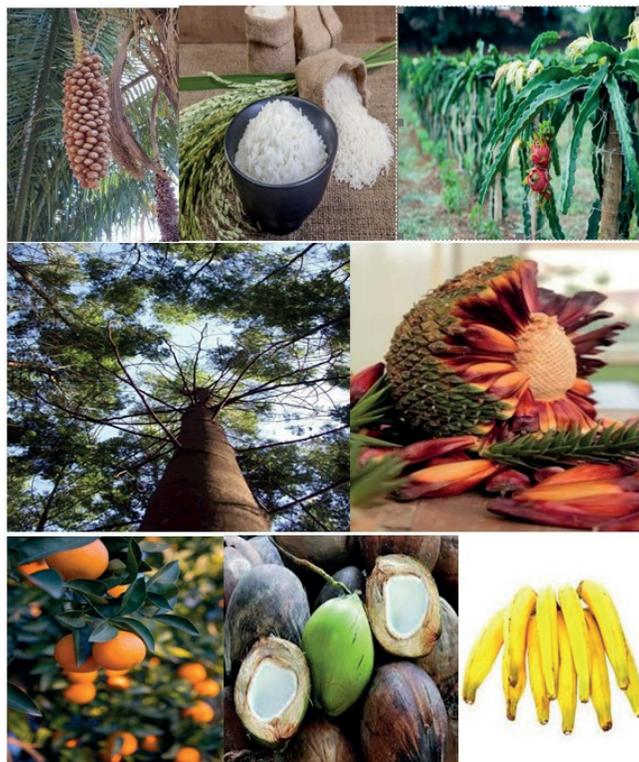


Figura 2 – Biomassas exploradas neste estudo como adsorventes potenciais para produção de carvão ativado.

Fonte: Imagens retiradas de fontes diversas.

Uso das biomassas – Estado da arte

A Tabela 1 apresenta uma revisão de estudos internacionais sobre o uso de biomassas na produção de carvão ativado, identificados por meio das palavras-chave *activated charcoal*, *biomass*, *water treatment*, *adsorbent* e *sustainability*, utilizando o Portal de Periódicos da CAPES.

Os estudos analisados demonstram o potencial das biomassas como matéria-prima para a produção de carvão ativado, destacando sua eficiência na remoção de poluentes relevantes para a potabilidade da água, como corantes, metais e surfactantes. Os resultados

indicam que essas biomassas apresentam altas taxas de remoção de contaminantes, evidenciando seu potencial como alternativa sustentável aos adsorventes convencionais.

Fonte	Local	Biomassa	Indicador	Principais resultados
JJAGWE et al. (2021)	Uganda	Borra de café (<i>Coffea sp.</i>)	Acid orange 7	Eficiência de remoção de 97,4%
VILLABONA et al. (2018)	Colômbia	Palma Africana (<i>Elaeis guineensis</i>)	Azul de metileno	Eficiência de remoção de 99,2%
BARASARATHI et al. (2022)	Índia	Casca de nozes (<i>Juglans regia</i>)	Cádmio (Cd)	Eficiência de remoção de 78%
PESTANA et al. (2024)	Moçambique	Baobá (<i>Adansonia digitata</i>)	Azul de metileno	Eficiência de remoção de 90%
AHMED et al. (2023)	Iraque	Junco Iraquiano (<i>Phragmites australis</i>)	Dodecilbenzeno sulfonato de sódio (SDBS)	Eficiência de remoção de 90,5%

Tabela 1 – Aplicação de biomassas na produção de carvão ativado para remoção de poluentes.

Fonte: Autor, 2024.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo explorou o uso de biomassas brasileiras na produção de carvão ativado, destacando seu potencial adsorvente e sua contribuição para a sustentabilidade e valorização de resíduos agroindustriais. As biomassas analisadas demonstraram eficiência significativa na remoção de poluentes, apresentando resultados comparáveis aos carvões comerciais. A acácia-negra removeu 93% do ibuprofeno, a *Araucaria angustifolia* atingiu 99,98% de remoção do azul de metileno, e a casca de laranja reduziu 47,13% dos nitratos. Já, a casca de coco verde removeu mais de 50% do corante em 30 minutos, enquanto a casca de banana apresentou eficiência entre 88,33% e 94,78% para corantes. O babaçu melhorou a qualidade da água em filtros caseiros, a casca de arroz foi eficaz na remoção de cromo e o cladódio da pitaita mostrou-se promissor como coagulante vegetal.

Os resultados confirmam que resíduos agrícolas e florestais podem ser aproveitados na produção de carvão ativado para remoção de poluentes, incluindo corantes, fármacos e metais tóxicos, contribuindo para a qualidade da água potável. No entanto, desafios persistem, como a variabilidade das biomassas e a necessidade de aprimoramento tecnológico para ampliar sua aplicação em larga escala.

O acesso à água tratada continua sendo um obstáculo, sobretudo em áreas rurais e periféricas, onde a falta de saneamento impacta a qualidade de vida. Investir em pesquisas e tecnologias para o aproveitamento de biomassas no tratamento de água é essencial para fortalecer políticas públicas, promover saúde e segurança hídrica, além de contribuir para a gestão sustentável dos recursos naturais e a economia circular.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Água no Mundo. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/cooperacao-internacional/agua-no-mundo>. Acesso em: 9 out. 2024.

AHMED, T. A.; ABDULHAMEED, A. S.; IBRAHIM, S.; ALOTHMAN, Z. A.; WILSON, Lee D.; JAWAD, A. H. High surface area mesoporous activated carbon produced from Iraqi reed via pyrolysis assisted H_3PO_4 activation: Box-Behnken design for surfactant removal. *Diamond and Related Materials*, v. 133, p. 109756, mar. 2023.

ALMEIDA, B. C.; REZENDE, C. S. A.; PEDROZA, M. M.; LOBO, R. N.; ARRUDA, G. A. Produção de carvão ativado a partir da pirólise da casca de laranja. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica*, p. 451-472, 2024.

ALMEIDA, M. A.; COATTI, L.; GHANI, Y. A.; COLOMBO, R. Desenvolvimento de carvão ativado a partir de bagaço de cana-de-açúcar e sua aplicação na adsorção de ácido orgânico. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 4, n. 3, p. 2955-2965, 2021.

BARASARATHI, J.; ABDULLAH, P. S.; UCHE, E. C. Application of magnetic carbon nanocomposite from agro-waste for the removal of pollutants from water and wastewater. *Chemosphere*, v. 305, p. 135384, 2022.

BENASSI, A. C.; FANTON, C. J.; DE SANTANA, E. N. O cultivo do coqueiro-anão-verde: tecnologias de produção. 2013.

BITENCOURT, D. S. L. Adsorção de ibuprofeno por carvão ativado obtido do resíduo da casca da acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). 2023.

CARLOS, Ê. B. Eficiência dos coagulantes vegetais pitaia (*Selenicereus undatus* (Haw.) Dr Hunt) no tratamento de água para consumo humano. 2022. Dissertação – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, São Francisco de Paula – RS.

CARVALHO, J. H. Programa Nacional de Pesquisa de Babaçu: uma experiência a ser continuada e aplicada. Teresina: Embrapa Meio Norte, 1998. 4 p. (EMBRAPA Doc./32).

CAVALCANTE, V. R. Produção de carvão ativado a partir de resíduos de coco, banana e laranja. 2015. Dissertação – Universidade Católica de Pernambuco, Recife – PE.

CENTRO DE INFORMAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS DO BRASIL. Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. 2016. Disponível em: https://www.mds.gov.br/webarquivos/publicacao/Brasil_Amigo_Pesso_Idosa/Agenda2030.pdf. Acesso em: 8 ago. 2024.

CLAUDINO, A. Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes. 2003. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC.

CRUZ, M. A. R. Utilização da casca de banana como bioissorvente. 2009. Dissertação – Universidade Estadual de Londrina, Londrina – PR.

DA SILVA RIES, L. A.; DA SILVEIRA, J. H. Remoção de Cr (VI) por adsorção empregando carvão ativado comercial e carvão vegetal produzido a partir da casca de arroz. *Brazilian Journal of Development*, v. 5, n. 6, p. 6477-6494, 2019.

DE AGUIAR LINHARES, F.; MARCÍLIO, N. R.; MELO, P. J. Estudo da produção de carvão ativado a partir do resíduo de casca da acácia-negra com e sem ativação química. *Scientia cum Industria*, v. 4, p. 74-79, 2016.

DE ALMEIDA E SILVA, E. S. C.; PINTO, B. C.; LIMA, A. S.; DE OLIVEIRA, M. A.; DA SILVA BEZERRA, A. C.; SOUZA, T. S. F.; RODRIGUES, C. G.; MACHADO, A. R. T. Equilíbrio de adsorção do corante rodamina B em carvão ativado obtido dos resíduos do coco verde. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, v. 3, n. 8, p. 1051-1058, 2017.

DE COSTA, Patrícia D.; FURMANSKI, Luana M.; DOMINGUINI, Lucas. Produção, caracterização e aplicação de carvão ativado de casca de nozes para adsorção de azul de metileno. *Revista virtual de química*, v. 7, n. 4, p. 1272-1285, 2015.

DE SOUSA, V. A.; FRITZSONS, E.; PINTO JUNIOR, J. E.; DE AGUIAR, A. V. Araucária: pesquisa e desenvolvimento no Brasil. EMBRAPA Florestas. Brasília-DF, 2021. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1137523>. Acesso em: 5 nov. 2024.

DOMINGUES, L. F.; et al. Produção de carvão a partir da casca de laranja ativado com cloreto de cálcio (CaCl_2) e sua aplicação em tratamento de água contaminada com nitrato (NO_3^-). *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 1, p. 404-413, 2021.

DOS SANTOS SILVA, J.; CRUZ, L. O.; BARROS, R. S.; ANI, F. N.; SALGADO, M. F.; CRUZ, L. O. Produção de carvão ativado da casca do babaçu e sua eficiência no tratamento de água para o consumo humano. *Engenharia Florestal: Desafios, Limites e Potencialidade*, p. 654-685, 2020.

DOS SANTOS, D. N.; PIO, L. A. S.; FALEIRO, F. G. Pitaya: uma alternativa frutífera. EMBRAPA, Brasília-DF, 2021.

EMBRAPA. Banana. Disponível em: <https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/banana>. Acesso em: 10 ago. 2024.

FALEIRO, F. G.; OLIVEIRA, J. S.; JUNQUEIRA, N. T. V. (Eds.). Aplicação de descritores morfoagronômicos utilizados em ensaios de DHE de cultivares de pitaya: manual prático. Planaltina-DF: Embrapa Cerrados, 2021. 58 p.

GLEICK, Peter H. et al. *The World's Water Volume 8. The Biennial Report on Freshwater Resources*, v. 9, 2018.

HEYLMANN, K. K. Produção, caracterização e aplicação de carvão ativado de caroço de pêssego no tratamento de efluente têxtil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 26, n. 3, p. 485-494, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa Nacional de Saneamento Básico; Arroz; Babaçu; Pinhão; Pitaya. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisa-nacional-de-saneamento-basico.html>;

<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/arroz/br>;

<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/babacu/br>;

<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/pinhao/br>;

<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/pitaiia/br>. Acesso em: 2 nov. 2024.

JJAGWE, Joseph et al. Synthesis and application of granular activated carbon from biomass waste materials for water treatment: A review. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, v. 6, n. 4, p. 292-322, 2021.

JUNQUEIRA, K. P.; FALEIRO, F. G.; BELLON, G.; JUNQUEIRA, N. T. V.; FONSECA, K. G.; LIMA, C. A.; SANTOS, E. C. Variabilidade genética de acessos de pitaya com diferentes níveis de produção por meio de marcadores RAPD. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 32, n. 3, p. 840-846, 2010.

KIELING, A. G. Adsorção de BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno) em cinza de casca de arroz e carvão ativado. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS.

LORENZI, H. Palmeiras brasileiras e exóticas cultivadas. Nova Odessa-SP: Instituto Plantarum de Estudos de Flora, 2004.

MATTOS, A. L. A. Relatório de avaliação dos impactos das tecnologias geradas pela EMBRAPA. 2012. Disponível em: https://bs.sede.embrapa.br/2012/relatorios/agroindustriatropical_2012_cascacocoverde.pdf. Acesso em: 5 nov. 2024.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em: 18 set. 2024.

NEBES, E. M. Produção de carvão ativado a partir da casca de sementes de pinhão da *Araucaria angustifolia*. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina.

OLIVEIRA, G. F. Produção de carvão ativado a partir do pecíolo do babaçu. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal da Grande Dourados. Dourados – MS, 2016.

PESTANA, Isabel da Paixão; GERALDO, Pedro Francisco; MOURÃO, Paulo Alexandre Mira; CASTANHEIRO, José Eduardo; CARREIRO, Elisabete Palma; SUHAS. Utilization of Biomass Waste at Water Treatment. *Resources*, v. 13, n. 3, p. 37, 2024.

RAYUDU, E. S.; LIKHITHA, A.; REDDY, K. S.; KUMAR, G. N. A study on dragon fruit foliage as natural coagulant and coagulant aid for water treatment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, v. 982, p. 012040, 2022.

RODRIGUES, F. V. Remoção de dipirona por adsorção em carvão ativado. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória – ES.

SANTANA, I.; DA SILVA, T. T.; MULDER, A. P. Coqueiro (*Cocos nucifera* L.) e produtos alimentícios derivados: uma revisão sobre aspectos de produção, tecnológicos e nutricionais. *Tecnologia de Alimentos: Tópicos Físicos, Químicos e Biológicos*, v. 2, p. 80-101, 2020.

SANTOS, A. A história do arroz. 2021. Disponível em: <https://www.escoladebotanica.com.br/post/arroz#:~:text=O%20arroz%20C3%A9%20um%20dos,domesticada%20C3%A9%20a%20Oryza%20sativa>. Acesso em: 1 out. 2024.

SCHETTINO JR, M. A. Preparação e caracterização de carvão ativado quimicamente a partir da casca de arroz. *Química Nova*, v. 30, p. 1663-1668, 2007.

SCHNEIDER, P. R.; TONINI, H. Utilização de variáveis dummy em equações de volume para *Acacia mearnsii* De Wild. *Ciência Florestal*, v. 13, n. 2, p. 121-129, 2003.

SEBRAE. O cultivo e o mercado do coco verde. 2016. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-cultivo-e-o-mercado-do-coco-verde,3aba9e665b182410VgnVCM100000b272010aRCRD>. Acesso em: 1 out. 2024.

SHAFAD, M. R.; AHAMAD, I. S.; IDRIS, A.; ABIDIN, Z. Z. A preliminary study on dragon fruit foliage as natural coagulant for water treatment. *International Journal of Engineering Research & Technology*, v. 2, n. 12, p. 1057-1063, 2013.

SOUZA, P. G. Carvão adsorvente produzido a partir de bananas aplicado na retenção de impurezas da água. 2017. Dissertação – Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Tangará da Serra.

SUGUMARAN, P.; PRIYA SUSAN, V.; RAVICHANDRAN, P.; SESHADRI, S. Production and characterization of activated carbon from banana empty fruit bunch and *Delonix regia* fruit pod. *Journal of Sustainable Energy & Environment*, v. 3, n. 3, p. 125-132, 2012.

SUYENAGA, E. S. Acácia-negra: potenciais usos de reaproveitamento. *Revista Conhecimento Online*, v. 1, p. 2-7, 2015.

TEIXEIRA, J. L. Obtenção e caracterização de carvão ativado a partir da casca de coco verde. 2020. Dissertação – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS.

VIDAL, M. F. Produção de laranja na área de atuação do BNB. *Caderno Setorial ETENE*, ano 6, n. 198, dez. 2021.

VILLABONA ORTÍZ, A.; TEJADA-TOVAR, C.; ACEVEDO, D.; MENDOZA, Z.; BARRIOS PÉREZ, L. Low-temperature activated carbon from mixed biomass oil palm residuals (fibrilla and cuesco) for use in the treatment of oily water. *International Journal of ChemTech Research*, v. 11, n. 5, p. 60-72, 2018.