

## COMPARAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES DE DOIS TIPOS DE BIOCARVÃO PARA APLICAÇÃO EM SOLO AGRÍCOLA

### COMPARISON BETWEEN THE PROPERTIES OF TWO BIOCHAR, AIMING APPLICATION IN AGRICULTURAL SOIL

Débora Machado de Souza<sup>a</sup>, Karine Cavalheiro de Lima<sup>a</sup>, Genyr Kappler, Regina Célia Espinosa Modolo<sup>a</sup>, Feliciane Andrade Brehm<sup>a</sup>, Carlos Alberto Mendes Moraes<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universidade do Vale do Rio dos Sinos - Unisinos

debosouza@edu.unisinos.br, karine.c.limaa@gmail.com, genyrkappler@gmail.com, reginaem@unisinos.br, felicianeb@unisinos.br, cmoraes@unisinos.br

Submissão: 17 de janeiro de 2023

Aceitação: 20 outubro 2023

#### Resumo

O cenário da economia brasileira apresenta forte influência do setor de agronegócio no PIB do país. Entre os principais cultivos estão a produção de cana-de-açúcar, do café, da laranja, da soja, do cacau, do arroz, do coco verde, entre outros. No entanto, simultâneo ao impacto positivo da economia do país, há o impacto negativo, com a geração crescente das biomassas oriundas dos processos de cultivo, colheita e beneficiamento. O destino dessas biomassas nem sempre é o mais adequado e muitas vezes acabam se tornando passivos para as empresas do setor. O biocarvão vem se tornando uma alternativa viável no sentido de agregar valor a essas biomassas, além de contribuir com os ciclos biogênicos de cada cultivo. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo comparar dois biocarvões produzidos por biomassas de fontes diferentes, nas mesmas condições de operação de pirólise, visando à sua aplicação em solo agrícola. Os biocarvões foram avaliados quanto a sua massa específica, composição química elementar, potencial hidrogeniônico, carbono total e capacidade de troca catiônica. Foi possível concluir que o biocarvão produzido a partir de fibra de coco possui maior pH, o que o torna mais adequado para a incorporação em solos que se encontram com nível de acidez inviável ao cultivo. O biocarvão de fibra de coco também apresentou maior capacidade de troca catiônica importante parâmetro em solos cultiváveis, pois contribui para a retenção de cátions como magnésio, cálcio e potássio, evitando que sejam lixiviados.

**Palavras-chave:** Biomassa; Pirólise; Reciclagem; Ciclo biogênico.

#### Abstract

The Brazilian economic scenario shows a strong influence of the agribusiness sector on the country's GDP. Among the main crops are the production of sugar cane, coffee, oranges, soy, cocoa, rice, green coconut, among others. However, simultaneous to the positive impact on the country's economy, there is a negative impact, with the growing generation of biomass from the cultivation, harvesting and processing processes. The fate of these biomasses is not always the most suitable and they often end up becoming liabilities for companies in the sector. Biochar has become a viable alternative in terms of adding value to these biomasses, in addition to contributing to the biogenic cycles of each crop. In this sense, this research aims to compare two biochars produced by biomass from different sources, under the same operating conditions of pyrolysis, aiming at its application in agricultural soil. The biochars were evaluated for their specific mass, elemental chemical composition, hydrogenion potential, total carbon and cation exchange capacity. It was possible to conclude that the biochar produced from coconut fiber has a higher pH, which makes it more suitable for incorporation in soils with an acidity level that is unfeasible for cultivation. Coconut fiber biochar also showed a greater capacity for cation exchange, an important parameter in arable soils, as it contributes to the retention of cations

such as magnesium, calcium and potassium, preventing them from being leached.

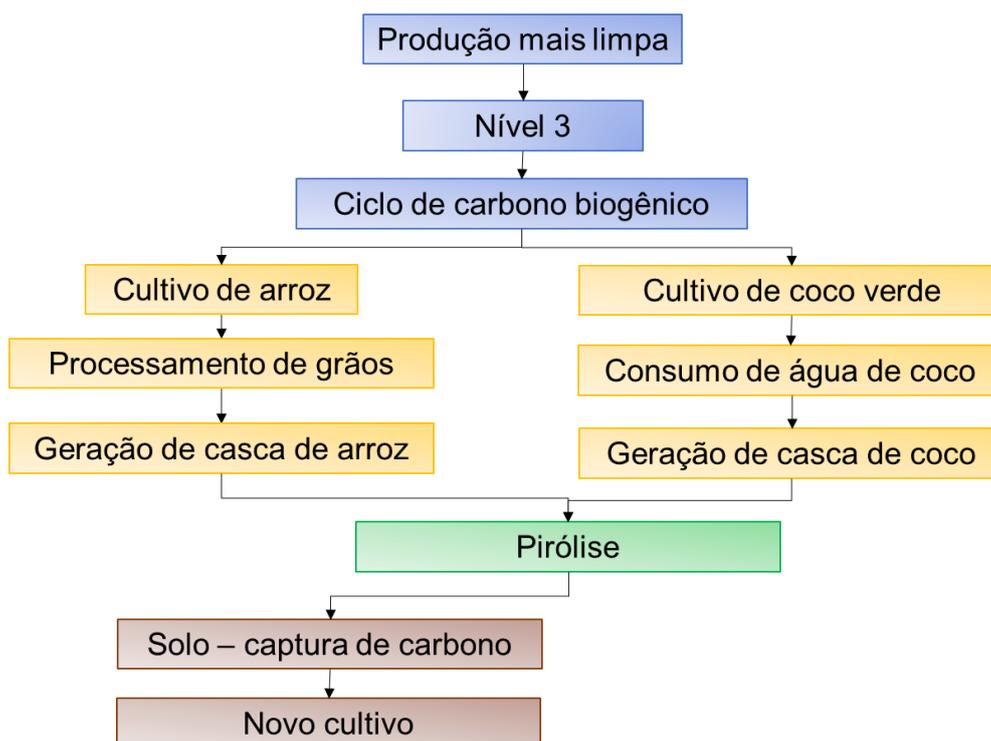
**Keywords:** Biomass; Pyrolysis; Recycling; Biogenic cycle.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o quinto no *ranking* mundial na produção de coco verde e sétimo na produção de arroz, com geração de resíduos pelas respectivas biomassas de 27 % e 57 %. A biomassa residual é um recurso renovável amplamente disponível para diferentes aplicações. O biocarvão, material rico em carbono obtido pela conversão termoquímica da biomassa, ou seja, a pirólise, apresenta algumas características intrínsecas, como alto teor de nutrientes, alto teor de carbono

fixo e grupos químicos recalcitrantes, que são formados no processo (MADARI *et al.*, 2010), que o tornam viável como condicionante do solo (LEHMAN *et al.*, 2011). Nesse contexto, o presente trabalho compara as características do biocarvão obtido através das cascas de arroz com as do biocarvão obtido a partir das cascas de coco verde, visando sua reciclagem, ou seja, devolver material rico em carbono fechando seu ciclo biogênico (nível 3 de produção mais limpa) como solo agrícola condicionador. A Figura 1 mostra um esquema simples de reciclagem de biocarvão.

Figura 1 – Nível 3 de produção mais limpa



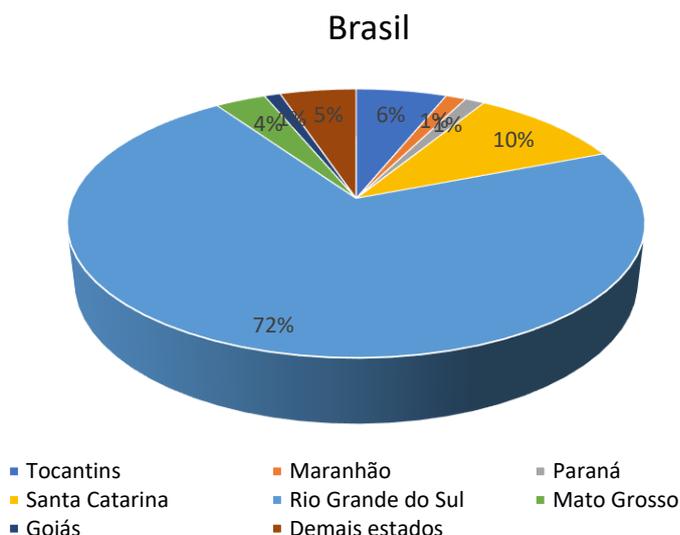
Fonte: Autores (2022).

### 1.1 Biomassa de casca de arroz

Segundo o boletim de resultados da safra 2021 do INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE, 2022a), o Brasil teve uma produção de 11.620.292 toneladas de arroz. A produção é distribuída principalmente

nos estados do Rio Grande do Sul, 72 %, Santa Catarina, 10,3 %, Tocantins, 6,1 % e Mato Grosso, 3,4 % (Figura 2). Como aproximadamente 27 % da produção é transformada em biomassas, no ano de 2021 houve uma geração aproximada de 3.137.478 toneladas.

**Figura 2 – Produção de arroz no Brasil na safra 2021**



Fonte: Autores (2022) dados de IBGE – SIDRA (2022<sup>a</sup>).

A biomassa de casca de arroz é gerada durante o beneficiamento dos grãos de arroz, na etapa de descascamento (Figura 3). A destinação final da biomassa de casca de arroz varia desde utilização no próprio processo de beneficiamento, como combustível em equipamentos de queima, cama de aviário, geração de energia, aterros industriais e muitas vezes disposta irregularmente em campos a céu aberto. A incorporação da biomassa de casca de arroz no solo reflete impactos positivos econômicos, sociais e ambientais. A redução de passivos aos beneficiadores que não possuem destinação adequada para a biomassa, traz impactos econômicos, assim como a valorização das mesmas o que pode ocasionar retorno financeiro à empresa. A redução da destinação a céu aberto além de causar impacto visual pode trazer impactos positivos de saúde à sociedade. Por fim, o retorno da biomassa ao solo auxilia no seu ciclo biogênico além de contribuir com o sequestro de carbono. A presença dos anéis aromáticos nas cascas de arroz de origem da lignina mesmo após a pirólise faz com que o carbono existente se torne recalcitrante no solo (SOUZA, 2019).

### 1.2 Biomassa de fibra de casca de coco verde

Segundo o IBGE (2022b), o Brasil teve uma produção de 1.638.573 mil frutos de coco-da-baía no ano de 2021. A produção é distribuída principalmente nos estados do Ceará, 23,6 %,

Bahia 20,2 %, Pará 10,2 %, Sergipe 10,1 %, Espírito Santo 8,8 %, Pernambuco 8,2 %, Alagoas 6,1 %, Rio Grande do Norte 4,1 % (Figura 4). Como aproximadamente 57 % da produção é transformada em biomassas, é como se 933.986 mil cocos virassem biomassa. Assim como a biomassa de cascas de arroz, as biomassas de cascas de coco quando destinadas de forma irregular causam impactos negativos ao meio ambiente.

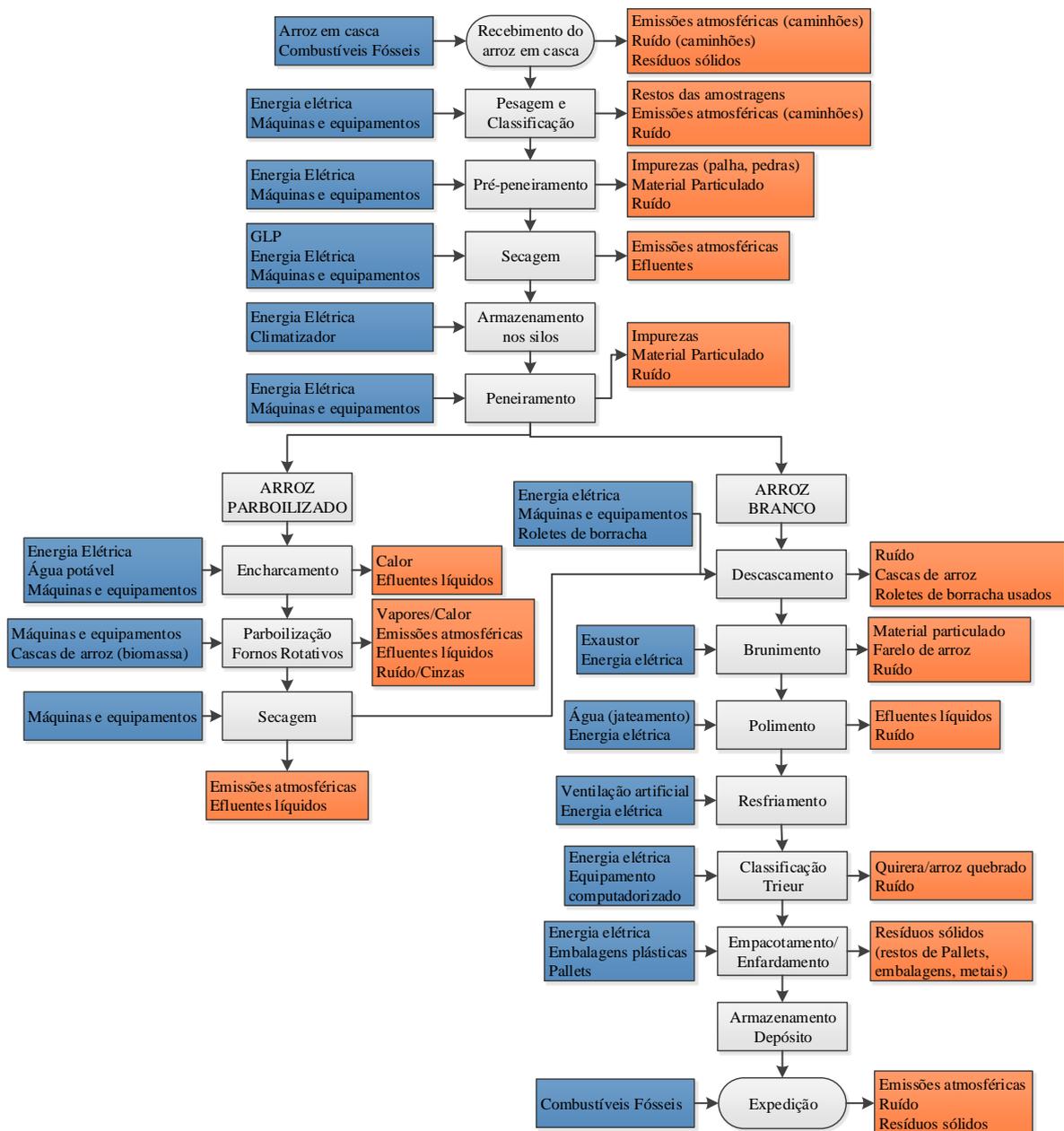
### 1.3 Importância da Produção mais limpa no setor de agronegócio

Como visto anteriormente, o agronegócio tem um papel fundamental na economia do nosso país. No ano de 2022, somente a soja movimentou um valor de R\$ 345.422.469,00 somados ao milho em grãos R\$ 137.743.946,00, à cana-de-açúcar R\$ 93.478.262, ao café R\$ 51.813.884,00, ao arroz R\$ 15.530.452,00 entre outros (IBGE, 2022c). Justamente pela importância do agronegócio brasileiro na economia do país é que devem existir as mudanças de paradigmas. A minimização de impactos negativos, a redução do desperdício de insumos, as mudanças de processos e as contribuições para uma produção mais limpa e mais sustentável são imprescindíveis. A inserção das biomassas, geradas nos processos de produção e beneficiamento, na forma de biocarvão no solo pode estar associada a mais de um nível de produção mais limpa. No nível 3, no fechamento

do ciclo biogênico do carbono que tem início no plantio, germinação e cultivo da planta. No nível 1, controle na fonte, com mudanças nos insumos. A mudança nos insumos ocorre quando acontece a troca de minerais condicionadores de solos pelo uso do biocarvão. A troca de insumos contribui ainda para a redução de extração dos recursos naturais substituídos por recursos existentes que por vezes são considerados resíduos industriais e

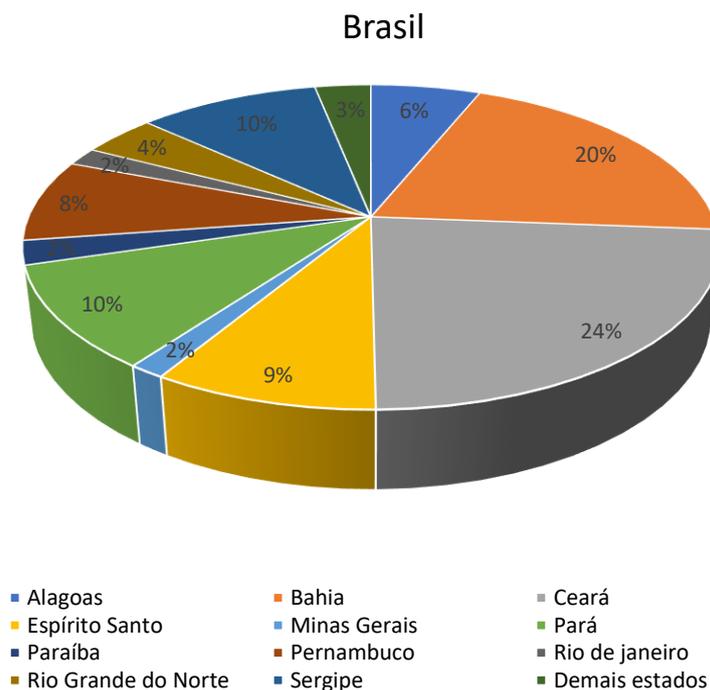
passam a ter valorização econômica e ambiental. A reposição dos nutrientes no solo normalmente é feita com aplicação de fertilizantes químicos minerais, que ao contrário da matéria orgânica apresentam altas concentrações de nutrientes, porém podem ser absorvidos rapidamente pelas plantas e ou lixiviados com facilidade (RONQUIM, 2010).

**Figura 3 – Processo de beneficiamento do arroz – etapa de geração da biomassa de casca de arroz**



Fonte: Souza *et al.* (2015).

**Figura 4 – Produção de coco-da-baía em 2021 no Brasil**



Fonte: Autores (2022) dados de IBGE SIDRA (2022).

#### 1.4 Propriedades do Produtos de biocarvão

O biocarvão é fonte de energia que promove a neutralidade de carbono. Entre suas aplicações estão a melhoria da qualidade do solo e a minimização do acúmulo de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Suas propriedades variam de acordo com a biomassa de origem, assim como parâmetros de operação corrida (está correto?) da pirólise (KAPPLER *et al.*, 2019).

Quanto ao parâmetro pH, Stroher *et al.* (2020) estudaram o comportamento de biocarvão produzido a partir de três biomassas diferentes e com três temperaturas. Biocarvão de biomassas de casca de arroz, fibras da casca de coco verde e bagaço de cana de açúcar, em temperaturas de pirólise de 350° C, 450° C e 550° C foram analisadas quanto ao pH, condutividade e capacidade de troca catiônica. Os biocarvões produzidos a partir de casca de arroz e a partir de casca de coco, seguiram um padrão quanto ao pH, com aumento proporcional do pH em relação ao aumento da temperatura de pirólise. O biocarvão de bagaço de cana de açúcar, porém, variou entre pH 8 e pH 8,7 tendo maior resultado na temperatura de 450° C. Os três tipos de biocarvão apresentaram características de pH básicos.

No que se refere ao carbono e troca catiônica,

durante o processo de formação do biocarvão há um rearranjo dos átomos de carbono, o que faz com que ocorra um aumento em sua porosidade e melhora nas suas propriedades químicas, resultando em aumento da capacidade de troca de cátions (ATKINSON; FITZGERALD; HIPPS, 2010). A composição química elementar orgânica e inorgânica do biocarvão varia de acordo com a biomassa utilizada, mas todos apresentam fonte de carbono.

#### 1.5 Características dos solos brasileiros

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2018) os solos brasileiros estão classificados em: argissolos, cambissolos, chernossolos, espodossolos, latossolos, luvisolos, neossolos, nitossolos, organossolos, planossolos, plintossolos, vertissolos. Os argissolos, representam 24 % da superfície do país tendo uma capacidade de troca catiônica inferior a 27 cmolc Kg<sup>-1</sup>. Os chernossolos são muito férteis, com altos teores de carbono e magnésio. Os gleissolos ocupam 4 % do território brasileiro, identificados em áreas com restrições de drenagem. Cada um dos solos presentes em território brasileiro apresenta características específicas, predominando os latossolos,

argissolos e neossolos em 70 % do território nacional.

Em um estudo realizado por Vasques *et al.* (2020), com dados de solos coletados nas bases de dados do Sistema de Informação de Solos Brasileiros, da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, do Sistema de Proteção da Amazônia, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, identificaram-se os perfis de pH dos solos

brasileiros. Os resultados dos foram publicados no site da Embrapa – Geoinfo. Os autores identificaram que os solos brasileiros têm potencial hidrogeniônico entre pH 3,25 a pH 8,66, sendo na maior parte ácidos. O estado do Rio Grande do Sul, assim como o Brasil, apresenta uma variedade de solos, o que proporciona uma ampla variedade de cultivos, conforme mostra o Quadro 1.

**Quadro 1 – Descrição e características dos solos do Rio Grande do Sul**

Tipo de solo	Características	Melhores cultivos
Alissolo	Alto teor de alumínio, baixa reserva de nutrientes para as plantas	-
Argissolo	Baixa fertilidade natural	Culturas anuais e campo nativo
Cambissolo	Disponibilidade de nutrientes	Pastagem nativa
Chernossolo	Escuros no horizonte a, devido a presença de material orgânico. Possuem alta fertilidade química	Arroz irrigado
Gleissolos	Cor acinzentada ou preta	Arroz irrigado, milho, soja, e pastagem
Latossolos	Pode apresentar toxidez por alumínio para as plantas	Culturas de inverno e de verão
Luvissolos	Carência de fósforo	
Neossolos	Pouco desenvolvido e normalmente raso	Pastagem permanente, reflorestamento e fruticultura
Vertissolos	Mal drenados e pouco profundos	Pastagem natural e culturas de verão
Plintossolos	Drenagem imperfeita perenes	Limitações para cultivos perenes
Organossolos	Material orgânico em grau variável de decomposição	Baixo uso agrícola
Nitossolos	Ácidos com predomínio de caulinita e óxidos de ferro	Culturas de inverno e de verão
Planossolos	Localizados em áreas de relevo suave, ondulados ou planos e mal drenados	Arroz irrigado, milho, soja, e pastagem

Fonte: Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul (2022)

### 1.6 Incorporação de biocarvão em solos com objetivo de melhorar suas propriedades

Para atender a demanda da população, os meios convencionais de cultivo foram impulsionados a abranger outros meios para garantir que o produto germine e cresça com qualidade. Fertilizantes minerais naturais ou sintéticos, fertilizantes organominerais, condicionadores de solos, entre outros, são alguns

exemplos de produtos usados para atingir a melhoria das condições físicas, químicas ou biológicas do solo. A aplicação dos fertilizantes viabilizou a industrialização da agricultura, inicialmente na Europa e na América do Norte e, mais tarde em países em desenvolvimento. A necessidade de expansão das áreas de plantio no mundo foi abrindo espaço para o aumento do consumo de fertilizantes, expandindo a produção dos insumos agrícolas em larga escala global. Em

2020, o Brasil ocupava o quarto lugar no mundo em consumo de fertilizante, com 8 % do total mundial, atrás apenas de China, Índia e Estados Unidos (SECRETARIA ESPECIAL DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS, 2020). Em 2018, os principais portos de entrada de fertilizantes no Brasil eram os portos de Paranaguá 33 %, Rio Grande 17 %, Santos 14 %, São Luís 6,7 % e São Francisco do Sul 6,6 % (GLOBALFERT, 2019).

O uso de biocarvão como alternativa para aplicação em solos, com objetivo de melhoria nas suas propriedades tem abrangência de impactos muito além dos locais ou regionais, principalmente quando produzido com biomassa da própria região. Os efeitos da substituição ou uso em conjunto do biocarvão com fertilizantes, condicionadores ou substratos, além de valorizar biomassas que muitas vezes são consideradas resíduos industriais, sugerem redução de custos. Custos pagos pelas empresas geradoras das biomassas que não possuem meio de destinação adequado e custos dos agricultores que buscam atender as demandas e manter a qualidade dos solos.

Devido a algumas características intrínsecas do biocarvão, os diferentes tipos podem aumentar a produtividade de algumas culturas, resultando em uma maior liquidez para o agricultor. Estudos têm abordado os efeitos da incorporação do biocarvão ao solo e seus impactos sobre a matéria orgânica e sobre os ciclos biogeoquímicos do carbono, assim como o desempenho agrônomico em culturas anuais (PETTER *et al.* 2016).

Sheng e Zhu (2018) realizaram estudos de incubação de biocarvão produzido com biomassa de palha de arroz, em solos em diferentes proporções, de 0,5 %, 1,0 %, 2,0 % e 5,0 %. O biocarvão foi aplicado em dois tipos de solo: solo ferralsol (pH 5,19) e solo phaeozems (pH 7,81). Os resultados mostraram que o biocarvão pode alterar de forma direta a diversidade bacteriana e, de forma indireta a diversidade microbiana do solo auxiliando nos mecanismos de absorção da planta. Pandit *et al.* (2018) identificaram em estudo, com aplicação de biocarvão em solo, aumento do pH do solo de 5,34 para 5,87, em incorporação de 0,5 % de biocarvão e para 6,58 com 2 % em massa.

Silva *et al.* (2022) estudaram os efeitos do biocarvão, obtido pela biomassa de cascas de arroz e o biocarvão obtido por biomassa de fibra de coco aplicados como substrato para o desenvolvimento de mudas de alface (*Lactuca sativa* L.). Estes tipos de biocarvão foram produzidos nas mesmas condições de operação

de pirólise. Os experimentos foram realizados na Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Campus São Leopoldo, RS. Foram avaliados semeados de alface plantadas em tubetes contendo 95 % de substrato e 5 % de biocarvão de fibra de coco e biocarvão de casca de arroz, assim como tubetes contendo somente o substrato para servir como base. A avaliação do crescimento das mudas foi realizada desde a germinação até a 6ª semana de experimento. Foram realizadas durante o estudo, análise de pH e área superficial das amostras de substrato + biocarvão, assim como acompanhamento das mudas visual das mudas e medição de altura bem como comprimento das folhas. Ao final do experimento os autores puderam observar uma maior altura média de crescimento das hortaliças nos biocarvões produzidos a partir das fibras de cascas de coco verde.

Kappler *et al.* (2018) apresentaram em sua pesquisa observações relatadas em campo, nas quais dois solos, ambos na mesma região, semeados com braquiária, exibiram comportamento diferente. Ambos os solos receberam a mesma quantidade de substrato, um com casca de arroz *in natura*, e outro com substrato e biocarvão. O solo no qual o biocarvão/carbonizado foi incorporado, a braquiária germinou e cresceu, do outro lado, no solo incorporado com cascas de arroz *in natura* não houve o crescimento e pouca germinação das sementes.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Materiais utilizados

Para a produção dos três tipos de biocarvão foram utilizados dois tipos de biomassas: biomassa de casca de arroz, de origem de uma beneficiadora de grãos da cidade de Santo Antônio da Patrulha, RS; e biomassa da casca de coco verde. As amostras de coco verde, tipo anão verde, foram adquiridas na Central de Abastecimento do Rio Grande do Sul (CEASA), localizada na cidade de Porto Alegre.

As amostras de cascas de arroz receberam pré-tratamento, através de lavagem, retirada das impurezas e posterior secagem em estufa a 105 °C durante 24 horas. As amostras de coco verde receberam pré-tratamento, com a retirada total da água de coco, corte em duas partes e remoção da copra. O líquido da casca de coco verde foi retirado

através de prensa mecânica sob o peso de uma tonelada. O processamento da fibra foi realizado em equipamento chamado desfibrador para casca de coco verde (MORAES, 2018).

## 2.2 Condições operacionais de pirólise

A transformação termoquímica da biomassa em biocarvão através de pirólise lenta, foi realizada

em reator de quartzo horizontal de forno mufla bipartido, em atmosfera inerte, N<sub>2</sub> com vazão fixa, marca Sanchis, com temperatura máxima de 1200° C e potência de 6 kW (SANCHIS, 2017), no Laboratório de Caracterização de Materiais (LCVMat), na Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), São Leopoldo, RS. As condições operacionais usadas para produzir as amostras de biocarvão são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1 – Condições de operação durante a carbonização das biomassas por pirólise lenta**

Temperatura	450 °C
Taxa de aquecimento	10 °C min <sup>-1</sup>
Tempo de imersão	30 min
Vazão de nitrogênio	0,2 L min <sup>-1</sup>

Fonte: Autores (2022).

## 2.3 Caracterização das amostras de biocarvões

Os produtos de biocarvão foram caracterizados quanto a sua densidade absoluta, elementos químicos inorgânicos, potencial hidrogeniônico, carbono orgânico total e capacidade de troca catiônica. As análises foram realizadas no LCVMat da Unisinos. A escolha das análises de caracterização foi baseada no *Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos* (BRASIL, 2017), acrescentadas as análises de densidade real e FRX que não estão no manual, mas foram consideradas relevantes para efeito de caracterização, após revisão bibliográfica (GÜNAL *et al.*, 2018; MENDOZA; HORN, 2018; e CORNELISSEN *et al.*, 2018) sobre produção e incorporação de biocarvão em solos.

Os resultados obtidos nas análises de caracterização foram comparados entre os dois biocarvões. A densidade absoluta foi medida em Picnômetro (gás hélio) modelo Accupyc ii 1340 – ensaio realizado em via seca tendo como substância padrão o gás hélio. Resultado obtido pela razão entre a massa da amostra pelo volume que ela ocupa (RENDEIRO *et al.*, 2008).

A composição química elementar inorgânica qualitativa foi analisada pelo equipamento Espectrômetro de Fluorescência de Raio - X, *by dispersive energy*, EDX 720 HS Mark. O potencial hidrogeniônico foi realizado, em três vias de acordo com a Instrução Normativa do Ministério da

Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Secretaria de Defesa Agropecuária - SDA n° 17.

O carbono total foi analisado no Equipamento LECO SC 144-DR, com temperatura de queima de 1300° C. O método consiste em inserir a amostra em atmosfera de oxigênio puro normalmente a 1350 °C. A combinação entre temperatura e oxigênio provoca a combustão da amostra, o que causa um processo de oxidação-redução (do C para CO<sub>2</sub>) e gera a liberação de carbono que é detectado e medido por células de infravermelho.

A capacidade de troca catiônica foi realizada, em três vias, de acordo com Instrução Normativa do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Secretaria de Defesa Agropecuária - SDA n° 17.

## 3. RESULTADO E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta as comparações para os resultados obtidos na análise. O biocarvão produzido a partir da fibra de coco verde apresentou valores superiores em três dos quatro parâmetros, com diferença de pH na escala de 1,7; carbono total 11 %, capacidade de troca catiônica 24 mmol. kg<sup>-1</sup>. Quanto à densidade absoluta, o biocarvão da casca de arroz apresentou valor de 0,10 g . cm<sup>-3</sup> a mais que a densidade absoluta do biocarvão de fibra de coco.

### 3.1 Densidade absoluta

A densidade absoluta foi analisada com o

objetivo de comparar a estrutura física dos dois tipos de biocarvão. O biocarvão de cascas de arroz apresentou maior densidade absoluta  $1,48 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , quando comparada ao biocarvão de fibra de coco verde,  $1,38 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ . Os dois tipos de biocarvão apresentaram baixa densidade absoluta,

o que sugere que quando incorporados a solos compactos, possam contribuir com a redução da densidade dos mesmos (LIANG *et al.*, 2014). A compactação dos solos é um dos fatores que afetam indiretamente o crescimento radicular das plantas (SÁ, 2005).

**Tabela 2 – Comparações para os resultados obtidos na análise**

Propriedades	Unidade	Biocarvão de casca de arroz	Biocarvão de fibra de coco
Densidade Absoluta	$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	1,48	1,38
pH	Faixa de 0 - 14	7,7	9,4
TC	%	52	73
CTC	$\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$	47	71
FRX	Elementos majoritários (%)	Si, Mg, K, Ca	K, Cl, Mg, Na

Fonte: Autores (2022).

### 3.2 Potencial hidrogeniônico

Nos dois tipos de biocarvão, o pH apresentou características de pH básico (pH de 7 a 14), conforme mostra a Tabela 3. Na presente pesquisa, o pH do biocarvão obtido por fibras de cascas de coco apresentou valor mais elevado do que o pH do biocarvão obtido por cascas de arroz. O parâmetro pH em solos agrícolas deve atender as características do solo da região. Desse modo, valores de pH entre 5,5 a 6,5 são propícios ao desenvolvimento da maior parte das plantas (BRFÉRTIL, 2019). O pH ideal para o plantio de culturas como abacaxizeiro, batata doce e inglesa, melancia é entre 5,0 e 6,0. Para cultivo de alfava, trevo e aspargo, o pH ideal do solo é de 6,5 a 7,0 (CAMARGOS, 2005). De modo geral, a aplicação e escolha do biocarvão em solos cultiváveis vai depender das condições iniciais desse solo.

Em solos que já apresentem valores de pH entre 5,5 e 6,5, a aplicação de biocarvão obtido através de fibras de casca de coco verde exige cautela, para que não exceda os valores. Em contrapartida, solos com pH muito ácidos podem fazer uso de qualquer um dos dois tipos de biocarvão para melhoria das condições químicas, com elevação do pH.

Ao analisarmos, especificamente a soja, maior produção agrícola no Brasil, conforme apresenta o *ranking* da Figura 5, o pH ideal do solo para seu cultivo é de pH 5,5 a pH 6,0 (SOUSA; LOBATO, 1996). O pH dos solos brasileiros varia de 3,25 a 8,66, média de 5,08 (GEOINFO, 2021).

Nas regiões brasileiras nas quais o solo apresenta o pH 3,25, a aplicação do biocarvão de fibra de coco seria uma opção mais relevante quando comparada ao biocarvão de cascas de arroz. Ao considerarmos apenas o parâmetro pH e com objetivo exclusivo de aumento do pH do solo da região, a aplicação do biocarvão de fibra de coco, nesse caso, seria mais indicada, já que o mesmo possui pH de 9,4.

No caso do milho, segundo no *ranking* de produção no Brasil, este se desenvolve em solos com pH entre 5,5 e pH 7,5 (CRIAR E PLANTAR, 2013). Quando cultivado em regiões do Brasil com solos apresentando pH menor que 5,5, a aplicação do biocarvão obtido através de biomassa de casca de arroz pode ser mais indicado.

Em solos com pH 8,0, macronutrientes como cálcio e magnésio tornam-se indisponíveis para a absorção radicular das plantas. Os micronutrientes, ferro, zinco, cobre e manganês também se tornam indisponíveis (SALDANHA *et al.*, 2016).

De forma geral, antes da aplicação do biocarvão, seja obtido por cascas de arroz ou por fibra de coco, sempre há necessidade de avaliação do solo no qual será realizado o cultivo e o pH ideal para a espécie cultivada.

### 3.2 Carbono total

O carbono total do biocarvão varia de acordo com a biomassa, temperatura de pirólise, taxa de

aquecimento e tempo de imersão. Biocarvões produzidos pela mesma biomassa podem apresentar variação em um mesmo parâmetro. O biocarvão de casca de arroz na temperatura de pirólise de 400 °C teve variação de 12 % (Tabela 4) do estudo de Abbas *et al.* (2018) para o de Prakongkep *et al.* (2013).

O biocarvão produzido a partir de fibra de coco apresentou maior teor de carbono, 73 %, e o biocarvão produzido a partir de cascas de arroz, 52 %. O melhor porcentual de teor de carbono encontrado no biocarvão produzido a partir de

fibras de cascas de coco verde, em relação ao biocarvão produzido a partir de cascas de arroz, sugere melhor aplicação em solos com o objetivo de contribuição ao ciclo biogênico do carbono. A pegada de carbono produzida durante o ciclo de vida do coco verde no Brasil (estados do nordeste) está entre 100 kg CO<sub>2</sub> t<sup>-1</sup> a 177 kg CO<sub>2</sub> t<sup>-1</sup> (SAMPAIO, 2019). A incorporação do biocarvão de fibra de casca de coco verde ao solo é uma alternativa viável para a contribuição de captura de CO<sub>2</sub> produzida pelo próprio produto.

**Tabela 3 – Potencial hidrogeniônico dos dois tipos de biocarvão em temperaturas de pirólise de 300 °C, 400 °C e 450°C**

Biocarvão de biomassa de origem	Temperatura pirólise (°C)	pH	Referência
Casca de arroz	450	7,7	Autores (2022)
Casca de arroz	450	8,5	Stroher <i>et al.</i> (2020)
Casca de arroz	400	9,7	Prakongkep <i>et al.</i> (2013)
Fibra de coco	450	9,4	Autores (2022)
Fibra de coco	450	10,0	Stroher <i>et al.</i> (2020)
Fibra de coco	300	7,4	Wu <i>et al.</i> (2016)

Fonte: Autores (2022)

**Tabela 4 – Carbono total dos biocarvões em temperaturas de pirólise de 400° C e 450° C**

Biocarvão de Biomassa de origem	Temperatura pirólise (°C)	Total carbon (%)	Referência
Casca de arroz	450	52	Autores 2022)
Casca de arroz	400	63	Abbas <i>et al.</i> (2018)
Casca de arroz	400	51	Prakongkep <i>et al.</i> (2013)
Fibra de coco	450	73	Autores (2022)

Fonte: Autores (2022).

Indiferentemente do valor do teor de carbono, a sua aplicação em solos contribui para as transformações do seu Sistema, remetendo ao estado inicial e com isso fechando o ciclo biogênico do carbono que esteve contido e acumulado durante o crescimento da planta (WILOSO *et al.*, 2016) de arroz, da planta de coqueiro ou da planta de origem de outra biomassa. O carbono total acumulado na casca de arroz *in natura* é de 28,1 % (SOUZA, 2019) e o da fibra de casca de coco *in natura* é de 22,79 % (LIMA, 2019). O carbono retido na planta e posterior biomassa, ao ser destinado de forma imprópria tem seu ciclo biogênico interrompido. De forma geral, ambos os

produtos de biocarvão, quando incorporados aos solos contribuem para a continuação do ciclo.

### 3.3 Capacidade de troca catiônica

O biocarvão produzido a partir de fibra de coco apresentou maior capacidade de troca catiônica do que o biocarvão obtido a partir de cascas de arroz (Tabela 5). Em solos, a capacidade de troca catiônica representa a capacidade de liberação de vários nutrientes que favorecem a manutenção da fertilidade. Um solo considerado bom para nutrição das plantas é aquele que apresenta maior parte da CTC ocupada por cátions como Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup>. Por

outro lado, um solo no qual grande parte da CTC está ocupada por cátions como  $H^+$  e  $Al^{3+}$  é um solo pobre (RONQUIM, 2010).

A Instrução Normativa, SDA nº 23 (BRASIL, 2005), especifica o limite mínimo de 80 mmol  $kg^{-1}$  para capacidade de troca catiônica de fertilizantes organominerais, que são utilizados como alternativa de fertilizantes em solos agrícolas. O biocarvão produzido a partir de fibras de casca de coco apresentou valor de capacidade de troca catiônica bem próximo ao estabelecido pela instrução normativa para uso como fertilizantes, ficando abaixo em 9 mmol  $kg^{-1}$ . Os resultados sugerem que o biocarvão de fibras de casca de coco verde seja mais adequado, no quesito de

troca de cátions, que o biocarvão produzido por cascas de arroz.

Para o uso de produtos considerados condicionadores de solo, esse valor é de no mínimo 200 mmol  $kg^{-1}$ . Tanto o biocarvão de cascas de arroz como o biocarvão de fibras de cascas de coco ficaram abaixo no parâmetro de capacidade catiônica, para aplicação como condicionadores de solo.

Não há uma regra de valor ideal para capacidade de troca catiônica, depende das condições do solo e região. Uma das empresas de vendas de fertilizantes no Brasil tem como valores de referência os valores apresentados na Tabela 6.

**Tabela 5 - Carbono total dos produtos de biocarvão em temperatura de pirólise de 450° C**

Biocarvão de Biomassa de origem	Temperatura pirólise (°C)	CTC (80 mmol $kg^{-1}$ )	Referência
Casca de arroz	450	47	Autores (2022)
Casca de arroz	450	48	Stroher <i>et al.</i>
Fibra de coco	450	71	Autores (2022)
Fibra de coco	450	87	Stroher <i>et al.</i>

Fonte: Autores (2022).

**Tabela 6 – Valores de referência de CTC no solo segundo indústria de fertilizantes brasileira – Terra de cultivo fertilizante**

CTC	Classificação de acordo com Terra de cultivo fertilizantes
< 50 mmolc $dm^{-3}$	CTC baixa
50 – 100 mmolc $dm^{-3}$	CTC média
> 100 mmolc $dm^{-3}$	CTC alta

Fonte: Civitereza (2021).

### 3.4 Composição elementar química dos dois biocarvões através de FRX

A absorção dos elementos químicos para as plantas é realizada por meio das raízes através da solução do solo, porém nem todos os macronutrientes encontram-se como cátions, alguns apresentam-se na forma de ânions ortofosfatos. Dos macronutrientes identificados na análise de fluorescência de raios X, três apresentam-se como cátions: o potássio ( $K^+$ ), o manganês ( $Mg^{2+}$ ) e o cálcio ( $Ca^{2+}$ ). De acordo com Rajj (1983), o fósforo encontra-se como  $H_2PO_4^-$  ou,  $HPO_4^{2-}$ .

O potássio encontrado no biocarvão produzido a partir de cascas de arroz também é um

importante macronutriente que a planta obtém do solo (TAÍZ *et al.*, 2017). Ele afeta a maioria dos processos bioquímicos e fisiológicos das células vegetais e desenvolve um papel crítico em resposta ao estresse das plantas (WANG *et al.*, 2013).

Quanto ao silício, é um elemento benéfico para as plantas, com média essencialidade. É captado do solo pelas raízes e translocado para as partes aéreas por meio de fluxos de transpiração (BAKHAT *et al.*, 2018). O cultivo intensivo pode levar à redução da concentração do elemento no solo, impactando de forma significativa a produtividade final de algumas culturas, em especial as gramíneas acumuladoras. A influência do elemento à resistência ao ataque de insetos e

microrganismos, bem como maior resistência à seca e a contribuição para a melhoria no estado nutricional, de transpiração e em alguns aspectos da eficiência fotossintética das plantas. A presença desse elemento de forma majoritária no biocarvão, produzido a partir de cascas de arroz, pode indicar benefícios quando aplicado como fonte de liberação lenta de silício em solos.

O cloro e o sódio, elementos identificados no biocarvão produzido a partir de fibra de coco, podem potencializar o processo de salinização dos solos e, por sua vez, a salinização do solo é um limitante para o cultivo de espécies agrícolas (XIE *et al.*, 2022). Os solos afetados por sais, ocorrem geralmente nas regiões semiáridas e áridas. As plantas têm comportamento diferente em relação à salinidade do solo, algumas toleram mais do que as outras. O milho, por exemplo, tem nível de tolerância moderado, assim como os cereais. O feijão, a maçã, e o pêssego possuem nível de tolerância baixo. (INSTITUTO DA POTASSA E FOSFATO, 1998). A presença dos elementos cloro e sódio no biocarvão, produzido a partir de fibras da casca de coco verde, sinaliza para atenção na escolha do tipo de solo para aplicação desse biocarvão. Não foram identificados esses dois elementos no biocarvão produzido a partir de cascas de arroz.

Dos quatro elementos majoritários identificados em cada um dos tipos de biocarvão, dois deles são comuns, o cálcio e o magnésio. Esses dois elementos são macronutrientes considerados essenciais requeridos pelas plantas através do solo. A ausência na planta desses elementos, pode causar anormalidades severas no crescimento e no desenvolvimento ou até mesmo impedir a planta de completar seu ciclo de vida (TAÍZ *et al.*, 2017). O cálcio, presente no biocarvão produzido a partir de cascas de arroz, é um macronutriente absorvido pelas plantas na forma de  $Ca^{2+}$ . Em solos ácidos pode ocorrer a deficiência desse macronutriente. O uso de calcários é uma das principais fontes de fertilizantes de cálcio. A identificação do cálcio como elemento majoritário no biocarvão de cascas de arroz poderá contribuir com a redução de fertilizantes inorgânicos e a valorização da biomassa de cascas de arroz. No biocarvão produzido a partir de fibra das cascas de coco não foi identificada a presença de cálcio. O cálcio identificado na análise de Fluorescência de Raios X, como elemento majoritário no biocarvão produzido a partir de cascas de arroz, é outro

exemplo de fechamento de ciclo biogênico, o qual tem início no cultivo da planta (exemplo do arroz) beneficiamento dos grãos, geração de cascas, pirólise – obtenção do biocarvão, incorporação novamente ao solo.

O magnésio, elemento majoritário, identificado nos dois tipos de biocarvão é um dos nutrientes essenciais para o desenvolvimento entre as culturas. Nas folhas das plantas, o teor oscila entre 0,2 % e 0,4 %. Exerce papel fundamental como elemento central da molécula de clorofila no processo da fotossíntese (MENDONÇA, 2006). Fertilizantes comerciais são usados na agricultura para suprir a necessidade de magnésio do solo, o que sugere o uso e aplicação dos dois tipos de biocarvão como fonte de magnésio para solos contendo déficit do elemento.

Analisando somente a composição elementar química dos dois tipos de biocarvão, podemos sugerir que o biocarvão mais indicado para a incorporação em solos agrícolas seja o produzido a partir de cascas de arroz, pois o mesmo apresenta somente nutrientes benéficos ao mecanismo solo planta. O uso dos micronutrientes Si, Mg, K, Ca, contribui para o nível 1 da produção mais limpa, visando a substituição de insumos minerais extraídos com a finalidade exclusiva de agregar benefícios ao solo pelo biocarvão.

#### 4. CONCLUSÃO

O pH básico, identificado no biocarvão produzido a partir da fibra de coco, sugere que ele pode contribuir para a redução da alcalinidade do solo, em que a redução do pH e a variação da acidez em solos agrícolas podem interferir na disponibilidade de nutrientes para as plantas. Os elementos potássio e magnésio presentes nos dois tipos de biocarvão são macronutrientes, fundamentais no solo para o crescimento das plantas.

Os resultados obtidos apresentam, algumas propriedades predisponentes à aplicação em solo como condicionador, nos dois tipos de biocarvão, sendo mais expressivas no biocarvão produzido a partir da fibra de coco verde. Avaliando apenas as propriedades analisadas neste estudo, o maior teor de pH, obtido no biocarvão de fibra de coco em relação ao obtido no biocarvão de casca de arroz, sugere que o mesmo tenha maior potencial de correção de acidez quando aplicado em solos. A característica de alcalinidade do biocarvão de fibra de coco, sugere que quando aplicado, o

mesmo poderá reagir com o solo em um processo de liberação de formas de óxidos, que contribuem para a neutralização dos íons H<sup>+</sup>.

Nos dois produtos de biocarvão foram identificadas uma ou duas características benéficas quanto a incorporação nos solos: como fonte de nutrientes; predisposição para aumento de potencial hidrogeniônico em solos ácidos; propensão ao uso como fertilizante organomineral; contribuição ao ciclo biogênico dos elementos carbono e cálcio; compensação da pegada de carbono do cultivo da espécie.

## REFERÊNCIAS

- ABBAS, Q. *et al.* Contrasting effects of operating conditions and biomass particle size on bulk characteristics and surface chemistry of rice husk derived-biochars. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, n 134, p. 281–292, 2018.
- ATKINSON, C. J.; FITZGERALD, J. D.; HIPPS, N. A. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. **Plant and Soil**, [s. l.], v. 337, n. 1–2, p. 1–18, 2010. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0464-5>
- BAKHAT, H. F. *et al.* Silicon mitigates biotic stresses in crop plants: A review. **Crop Protection**, 104 21–34, 2018.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Produção Agrária (MAPA). Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA). Instrução Normativa nº 23, de 31 de agosto de 2005. Define e dá especificações das garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. Portal MAPA, 2005.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Produção Agrária (MAPA). Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA). Instrução Normativa nº 17, de 21 de maio de 2007. Aprova os métodos analíticos oficiais para análises de substratos e condicionadores de solo. Portal MAPA, 2007.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA). **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos**. Brasília, DF: MAPA, 2017. 240 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Produção Agrária (MAPA). Decreto nº 4954, de 14 de janeiro de 2004. Dispõe sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura. Portal MAPA, 2020.
- BRASIL. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. **Produção nacional de Fertilizantes**. Estudo estratégico. Brasília, DF, 2020.
- BRFÉRTIL. Empresa de fertilizantes para agricultura. **A influência do pH do solo sobre a agricultura**. 2019. Disponível em: <https://brfertil.com.br/a-influencia-do-ph-do-solo-sobre-a-agricultura/>. Acesso em: 08 de dezembro de 2022.
- CAMARGOS, L. S. **De modo geral a aplicação e escolha do biochar em solos cultiváveis vai depender das condições iniciais desse solo**. Apostila da disciplina Solos II, Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Cuiabá, MT, 2005.
- CIVITEREZA, G. **CTC do solo: por que é tão importante para a produção agrícola?** Terra de cultivo fertilizantes. Brasil, 8/7/2021. Disponível em: <https://www.terradecultivo.com.br/ctc-do-solo-por-que-e-tao-importante-para-a-producao-agricola/#:~:text=De%20modo%20geral%2C%20os%20referenciais,%3A%20%3E%20100%20mmolc%20dm%2D3>. Acesso em: 20 de maio de 2023.
- CRIAR E PLANTAR. **Plantio**. 2013. Disponível em: <http://www.criareplantar.com.br/agricultura/lerTexto.php?categoria=46&id=672>. Acesso em: 16 jan. 2023.
- CORNELISSEN *et al.* Fading positive effect of biocarvão on crop yield and soil acidity during five growth seasons in an Indonesian Ultisol. **Science of the Total Environment**, n 634, p. 561–568, 2018.
- GLOBALFERT. Boletins. **Conheça os principais portos de entrada de Fertilizantes no Brasil em**

2018. Brasil, 23/6/2019. Disponível em: <https://globalfert.com.br/boletins/conheca-os-principais-portos-de-entrada-de-fertilizantes-no-brasil-em-2018/>. Acesso em: 08 de dezembro de 2022.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Mapa de pH (acidez) do solo a 0-30 cm do Brasil na resolução espacial de 1 km**. Disponível em: [http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Abra\\_phmap030](http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Abra_phmap030). Acesso em: 17 de janeiro de 2023.

KAPPLER, G. *et al.* Carbonized rice husk characterization for soil substrate application. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING FOR WASTE AND BIOMASS VALORISATION (WasteEng2018) 7*, 2018, Praga, República Tcheca. France: IMT Mines Albi, 2018, p. 218-228. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/327106669\\_CARBONIZED\\_RICE\\_HUSK\\_CHARACTERIZATION\\_FOR\\_SOIL\\_SUBSTRATE\\_APPLICATION](https://www.researchgate.net/publication/327106669_CARBONIZED_RICE_HUSK_CHARACTERIZATION_FOR_SOIL_SUBSTRATE_APPLICATION). Acesso em: 08 de dezembro de 2022.

KAPPLER, G. *et al.* Conversion of Lignocellulosic Biomass Through Pyrolysis to Promote a Sustainable Value Chain for Brazilian Agribusiness. *In: INGLE, A. P.; CHANDEL, A. K.; SILVA, S. S. da. Lignocellulosic Biorefining Technologies*. Publisher: John Wiley & Sons, Chapter 12, jan. 2020, p. 265-284.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Levantamento sistemático de produção agrícola**. Banco de dados estatísticos. Brasil, 2022a. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/5457#resultado>. Acesso em: 17 de janeiro de 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produção de coco-da-baía. Brasil, 2022b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/coco-da-baia/br>. Acesso em: 17 de janeiro de 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção agropecuária**. Brasil, 2022c. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/br>.

Acesso em: 21 de setembro de 2023.

INSTITUTO DA POTASSA E FOSFATO. **Manual Internacional de fertilidade do solo**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1998.

GÜNAL, E. *et al.* Effects of three different biochars amendment on water retention of silty loam and loamy soils. **Agricultural Water Management**, n 208, p. 232–244, 2018. Disponível em: [https://econpapers.repec.org/article/eeeagiwat/v\\_3a208\\_3ay\\_3a2018\\_3ai\\_3ac\\_3ap\\_3a232-244.htm](https://econpapers.repec.org/article/eeeagiwat/v_3a208_3ay_3a2018_3ai_3ac_3ap_3a232-244.htm). Acesso em: 08 de janeiro de 2019.

LEHMAN, J. *et al.* Biochar effects on soil biota – A review. **Soil Biology and Biochemistry**, n 43, 2011; p. 1812-1836.

LIANG, F. *et al.* Crop yield and soil properties in the first 3 years after biochar application to a calcareous soil. **Journal of Integrative Agriculture**, Beijing, v. 13, 2014, p. 525-532.

LIMA, K. C. Caracterização da fibra de coco verde carbonizada visando a obtenção de biochar. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2019.

MADARI, B. E. *et al.* Biomassa carbonizada como condicionante de solo para a cultura do arroz de terras altas, em solo arenoso, no Cerrado: efeito imediato para a fertilidade do solo e produtividade das plantas. **Comunicado Técnico**, Santo Antônio de Goiás, n. 197, dez 2010.

MENDONÇA, J. F. B. **Solo: substrato da vida**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2006.

MENDOZA, K. V.; HORNB, R. Effect of biochar addition on hydraulic functions of two textural soils. **Geoderma**, n 326, 2018, p. 88–95.

MORAES, C. A. M. **Desenvolvimento de um óculo a base de fibra de coco**. Relatório do Projeto. Edital Sebrae Inovação, São Leopoldo, 2018.

NEVES, D. *et al.* Characterization and prediction of biomass pyrolysis products. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 37, 2011, p. 611-630.

PANDIT, N. R. *et al.* Biochar improves maize growth by alleviation of nutrient stress in a moderately acidic low-input Nepalese soil. **Science of the Total Environment**, n 625, 1 jun. 2018, p. 1380-1389.

PETTER, F. A. *et al.* **Biocarvão no solo**: aspectos agronômicos e ambientais. Embrapa, 2016. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/149714/1/2016-Marina-SIMBRAS-BiocarvaoSolo.pdf>. Acesso em: 03 de dezembro de 2019.

PRAKONGKEP, N. *et al.* The Effects of Pyrolysis Conditions on the Chemical and Physical Properties of Rice Husk Biochar. **International Journal of Material Science (IJMSCI)**, [s. l.], v. 3, n. 3, p. 97–103, 2013.

RAIJ, B. V. *et al.* **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1983.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão. **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul**. 7. ed. Porto Alegre, 2022.

RENDEIRO, G. *et al.* **Combustão e gasificação de Biomassa sólida**. Soluções energéticas para a Amazônia. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 2008.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Campinas, n 8, Embrapa Monitoramento por Satélite, nov. 2010.

SÁ, M. A. C. de. Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal. **Documentos**, Planaltina, DF, n 8, Embrapa Cerrados, abr. 2005.

SALDANHA, C. B. *et al.* **Ciência do solo**: fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2016.

SAMPAIO, A. P. C. **Pegada de carbono e hídrica do cultivo de coco em sistemas de produção convencional no nordeste brasileiro**. 2019. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e

Meio Ambiente) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

SANCHIS. Fornos eletrônicos. Forno mufla e tubular bipartido, 2017.

SANTOS, H. G. dos *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SILVA, T. R. *et al.* Determinação do potencial hidrogeniônico de biocarvões produzidos a partir de diferentes fontes de biomassa vegetal. Anais do 10º Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão – SIEPE Universidade Federal do Pampa Santana do Livramento, 6 a 8 de novembro de 2018. Disponível em: <https://periodicos.unipampa.edu.br/index.php/SIEPE/article/view/86669/10774>. Acesso em: 25 de fevereiro de 2022.

SILVA, J. da S. *et al.* Uso de biocarvão como substrato na produção de mudas a partir de duas biomassas diferentes. **Revista Tecnologia e Sociedade**, Curitiba, v 18, n 53, 2022.

SHENG, Y.; ZHU, L. Biochar alters microbial community and carbon sequestration potential across different soil pH. **Science of the Total Environment**, v 622–623, 1 may. 2018, p. 1391–1399.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. **Correção de solo e adubação da cultura da soja**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1996. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/99081/1/cirtec-33.pdf>. Acesso em: 16 de janeiro de 2023.

SOUZA, D. M. **Avaliação das propriedades do biochar obtido por carbonização a partir de cascas de arroz, visando sua aplicação em solos agrícolas**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2019.

SOUZA, D. M. *et al.* Avaliação de aspectos e impactos ambientais: estudo de caso em uma indústria de beneficiamento de arroz no RS. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 28, Rio de Janeiro, RJ, out. 2015.

STROHER, B. *et al.* Influência da temperatura de pirólise no pH, condutividade e ctc nos produtos da pirólise de agro-resíduos. *In: FÓRUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS*, 11, 2020, Porto Alegre. **Anais [...]** Porto Alegre, 2020.

TAÍZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

VASQUES, G. M. *et al.* Soil pH at 0-30 cm Map for Brazil at 1-km Spatial Resolution. Technical Report. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2020.

WANG, M. *et al.* The critical role of potassium in plant stress response. **International Journal of Molecular Sciences**, 14(4), apr. 2013, p. 7370–7390.

WILOSO, E. I. *et al.* Effect of biogenic carbon inventory on the life cycle assessment of bioenergy: challenges to the neutrality assumption. **Journal of Cleaner Production**, v 125, 1 jul. 2016, p. 78-85.

WU, W. *et al.* Influence of pyrolysis temperature on lead immobilization by chemically modified coconut fiber-derived biochars in aqueous environments. **Environ Science Pollution Research**, n 23(22), 29 aug. 2016, p. 22890-22896.

XIE, W. *et al.* The Effect and Influence Mechanism of Soil Salinity on Phosphorus Availability in Coastal Salt-Affected Soils. **Water**, 14(18), 9 sept. 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/18/2804>.