

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CAMPUS SOROCABA

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
PLANEJAMENTO E USO DE RECURSOS RENOVÁVEIS

MOISÉS EDEVALDO PEREIRA

**BIOCHAR DE CAMA DE FRANGO: PRODUÇÃO, APLICAÇÃO E ANÁLISE DE  
SUAS PROPRIEDADES NO SOLO E NO CULTIVO DE RABANETES**

Sorocaba  
2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CAMPUS SOROCABA

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
PLANEJAMENTO E USO DE RECURSOS RENOVÁVEIS

MOISÉS EDEVALDO PEREIRA

**BIOCHAR DE CAMA DE FRANGO: PRODUÇÃO, APLICAÇÃO E ANÁLISE DE  
SUAS PROPRIEDADES NO SOLO E NO CULTIVO DE RABANETES**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis para obtenção do título de Doutor em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis.

Orientação: Prof. Dr. Fábio Minoru Yamaji

Sorocaba  
2024

Pereira, Moisés Edevaldo

Biochar de cama de frango: produção, aplicação e análise de suas propriedades no solo e no cultivo de rabanetes / Moisés Edevaldo Pereira -- 2024. 145f.

Tese de Doutorado - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador (a): Fábio Minoru Yamaji

Banca Examinadora: Fábio Minoru Yamaji, Ana Larissa Santiago Hansted, Elias Ricardo Durango Padilla,

Gabriela Tami Nakashima, Robmilson Simões Gundim

Bibliografia

1. Recuperação energética. 2. Biochar de cama de frango. 3. Aplicação no solo. I. Pereira, Moisés Edevaldo. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano - CRB/8 6979

## IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Esta pesquisa apresenta impacto relevante em recuperação energética de resíduos de cama de frango, tais como: *Utilização de resíduos* - a pesquisa demonstra uma forma eficaz de reutilizar resíduos, como a cama de frango, na produção de biochar, isso contribui para a redução de resíduos e para a promoção da economia circular na agricultura; *Melhoria da Fertilidade do Solo* - o estudo evidencia os benefícios do biochar de cama de frango na melhoria da fertilidade do solo, o que pode ser crucial para a sustentabilidade e produtividade dos sistemas agrícolas; *Potencial como Fertilizante Sustentável* - ao mostrar que o biochar de cama de frango possui propriedades satisfatórias para nutrientes de plantas de ciclo curto, a pesquisa destaca o potencial desse material como um fertilizante sustentável e de baixo impacto ambiental; *Estímulo a Novas Pesquisas* - as recomendações para futuras pesquisas, como experimentos com diferentes doses de biochar, comparação com outras matérias-primas e ampliação da aplicabilidade em diferentes tipos de solo e plantas, podem estimular novos estudos e avanços na área de biochar e agricultura sustentável; *Contribuição para a literatura científica* - ao apresentar os resultados e conclusões da pesquisa, o trabalho contribui para a literatura científica sobre biochar, fertilidade do solo e cultivo de plantas, fornecendo informações valiosas para outros pesquisadores e profissionais. A pesquisa, também, apresenta relação a alguns Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU), tais como: *ODS 2 - Fome Zero e Agricultura Sustentável*: a utilização de biochar pode contribuir para aumentar a produtividade agrícola de forma sustentável, melhorando a fertilidade do solo e reduzindo a dependência de fertilizantes químicos, o que está alinhado com o objetivo de garantir a segurança alimentar e promover sistemas agrícolas sustentáveis; *ODS 12 - Consumo e Produção Sustentáveis*: a produção e utilização de biochar de cama de frango podem ser consideradas práticas de consumo e produção sustentáveis, pois promovem o uso eficiente de recursos, a redução do desperdício e a minimização do impacto ambiental associado à produção agrícola; *ODS 13 - Ação Contra a Mudança Global do Clima*: o uso de biochar pode ajudar na mitigação das mudanças climáticas, promovendo o sequestro de carbono no solo e reduzindo as emissões de gases de efeito estufa, o que contribui para a redução do aquecimento global e para a adaptação às mudanças climáticas; *ODS 15 - Vida Terrestre*: a pesquisa sobre o biochar de cama de frango e sua aplicação no solo está relacionada à promoção da gestão sustentável dos ecossistemas terrestres, contribuindo para a conservação da biodiversidade, a restauração de terras degradadas e a promoção de práticas agrícolas sustentáveis.

## POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This research has a relevant impact on the energetic recovery of poultry litter waste, such as: *Utilization of waste* - the research demonstrates an effective way to reuse waste, such as poultry litter, in the production of biochar, this contributes to the reduction of waste and the promotion of the circular economy in agriculture; *Improvement of Soil Fertility* - the study highlights the benefits of poultry litter biochar in improving soil fertility, which can be crucial for the sustainability and productivity of agricultural systems; *Potential as a Sustainable Fertilizer* - by showing that chicken litter biochar has satisfactory properties for short-cycle plant nutrients, the research highlights the potential of this material as a sustainable fertilizer with a low environmental impact; *Stimulus for new research* - the recommendations for future research, such as experiments with different doses of biochar, comparison with other raw materials and expansion of applicability in different types of soil and plants, can stimulate new studies and advances in the area of biochar and sustainable agriculture; *Contribution to scientific literature* - by presenting the results and conclusions of the research, the work contributes to the scientific literature on biochar, soil fertility and plant cultivation, providing valuable information for other researchers and professionals. The research is also related to some of the Sustainable Development Goals (SDGs) established by the United Nations (UN), such as: *SDG 2 - Zero Hunger and Sustainable Agriculture*: the use of biochar can contribute to increasing agricultural productivity in a sustainable way, improving soil fertility and reducing dependence on chemical fertilizers, which is in line with the goal of ensuring food security and promoting sustainable agricultural systems; *SDG 12 - Sustainable Consumption and Production*: the production and use of biochar from chicken litter can be considered sustainable consumption and production practices, as they promote the efficient use of resources, reduce waste and minimize the environmental impact associated with agricultural production; *SDG 13 - Action Against Global Climate Change*: the use of biochar can help mitigate climate change by promoting carbon sequestration in the soil and reducing greenhouse gas emissions, which contributes to reducing global warming and adapting to climate change; *SDG 15 - Terrestrial Life*: research into chicken litter biochar and its application to the soil is related to promoting the sustainable management of terrestrial ecosystems, contributing to the conservation of biodiversity, the restoration of degraded land and the promotion of sustainable agricultural practices.



# UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências e Tecnologias Para a Sustentabilidade  
Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis

---

## Folha de Aprovação

---

Defesa de Tese de Doutorado do candidato Moisés Edevaldo Pereira, realizada em 21/03/2024.

### Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Fábio Minoru Yamaji (UFSCar)

Profa. Dra. Ana Larissa Santiago Hansted (MUN)

Prof. Dr. Elias Ricardo Durango Padilla (Anhanguera)

Profa. Dra. Gabriela Tami Nakashima (CBA)

Prof. Dr. Robmilson Simões Gundim (SENAI)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis.





*Dedico este trabalho ao meu irmão Gerson (in memoriam) que, desde os meus primeiros passos, foi meu primeiro grande mestre; ao meu irmão Arthur que, sempre me incentivou e me apoiou em tudo; aos meus pais, Clóvis e Lucinda que, mesmo em necessidades, sempre me nutriram; à minha esposa, Jéssica, pelo incomparável companheirismo e às minhas filhas Izabelle e Izadora por me mostrarem o amor incondicional e o sentido da vida.*



## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que sempre tem me guiado e iluminado meu caminho.

Agradeço à minha família por fazer parte de quem sou hoje e por todo apoio disponibilizado.

Agradeço à minha esposa (Jéssica) e minhas filhas (Izabelle e Izadora) pela compreensão e incondicional apoio durante a realização desse trabalho.

Agradeço ao professor e amigo Dr. Fábio Minoru Yamaji pela brilhante orientação ao desenvolvimento deste trabalho e a confiança em mim depositada.

Agradeço aos doutores e doutoras, membros das bancas (qualificação e defesa): Fábio Yamaji, Ana Larissa, Elias Padilla, Gabriela Nakashima, João Tomeleri e Robmilson Gundin, pela disponibilidade e pelas valiosíssimas orientações, sugestões e diretrizes nas ocasiões das bancas.

Agradeço aos professores Fábio, Fabrício, Fran, Luiz Carlos, Miguel, Mônica e Yamamoto pelo aprendizado nas disciplinas do curso.

Agradeço à Lú, da secretaria do PPGPUR, por ter me ajudado e me instruído durante todo o curso, desde o início.

Agradeço aos amigos do Lab. pelo companheirismo, aprendizado e disponibilidade, em especial: Ana Larissa, Anna Júlia, Ariane, Diego, Elias, Gabi, Gabizinha, João, Luciano, Natália, Rafaela, Robmilson e Tatuí.

Agradeço aos meus pais (Lucinda e Clóvis) por todo o auxílio durante o experimento em campo, desde à preparação da área experimental até a colheita das plantas para este trabalho.

Agradeço aos meus amigos do IFSP-BTV pela torcida e apoio.

Agradeço à UFSCar e ao PPGPUR pela oportunidade e incentivos disponibilizados para a realização deste trabalho.

Agradeço ao IFSP pelo incentivo para realização deste trabalho.



*“A tontura da fome é pior do que a do álcool. A tontura do álcool nos impele a cantar, mas a da fome nos faz tremer.”*

Carolina Maria de Jesus (1914-1977)

*“O amor cura.”*

Gerson Pereira (1987-2017).



## RESUMO

PEREIRA, Moisés Edevaldo. **Biochar de cama de frango: Produção, aplicação e análise de suas propriedades no solo e no cultivo de rabanetes**. 2024. 145 f. Tese (Doutorado em “Planejamento e Uso de Recursos Renováveis”) – Centro de Ciências e Tecnologias para a Sustentabilidade, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2024.

O Brasil tem destaque na produção de frango de corte e é o maior exportador. Somente em 2022, o Brasil produziu 14,57 milhões de toneladas de carne de frango. No entanto, quantidades consideráveis de cama de frango também são geradas anualmente no Brasil em função da crescente demanda e produção de frango de corte, acarretando preocupações aos avicultores como o descarte inadequado, podendo gerar poluição ambiental. Então o objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de biochar de cama de frango em escala piloto, caracterizar o biochar produzido, aplicar o biochar no solo em experimento em campo e analisar seus efeitos no solo e em rabanetes. Foram coletados cerca de 40 kg de cama de frango após a criação de 2 lotes de frango. Para a produção do biochar, cerca de 23,5 kg do material foi submetido ao processo de pirólise, que foi realizado a 450 °C, taxa de aquecimento de 20 °C min<sup>-1</sup> e tempo de residência de 6h. Os parâmetros estudados do biochar foram: rendimento gravimétrico, análise imediata, microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia por energia dispersiva. O experimento em campo foi delineado em área experimental com sistema de blocos casualizados com 3 repetições e com 5 tratamentos de fertilização cada (testemunha, cama de frango, biochar 20 t ha<sup>-1</sup>, biochar 60 t ha<sup>-1</sup> e NPK comercial). Para o efeito do biochar nas plantas foram analisados parâmetros de desenvolvimento dos rabanetes (diâmetro da raiz, massas frescas da raiz e da parte aérea, altura foliar, número de folhas, massas secas da raiz e parte aérea, percentual de raiz rachada, número de raízes comerciais e produtividade. Para o efeito do biochar no solo, foram realizadas análises de solo em 3 momentos (antes do plantio, após o primeiro ciclo de plantio, após o segundo ciclo de plantio de rabanetes). Os resultados das análises laboratoriais do biochar, mostraram que, com maior equipamento, houve necessidade de maior tempo de residência para a pirólise completa do material. O rendimento gravimétrico apresentou 38,38%, a umidade de 4,49%, teor de voláteis de 24,11%, teor de cinzas de 34,40% e teor de carbono fixo de 41,49%, o que permitiu verificar que a cama de frango é um material adequado para produção de biochars para aplicação no solo. Os resultados do experimento em campo mostraram que o biochar implicou em maior produtividade aos rabanetes (25,17 e 28,55 t ha<sup>-1</sup> para os tratamentos com 20 e 60 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente), além de apresentar melhores

resultados na maioria dos outros parâmetros de desenvolvimento analisados. No solo, os efeitos do biochar foram positivos, implicando em retenção de teores de NPK, diferentemente dos demais tratamentos, apresentando potencial para substituição de adubação mineral e orgânica, tanto para parâmetros de desenvolvimento do rabanete quanto para a fertilidade do solo.

Palavras-chave: Biochar. Cama de aviário. Resíduos. Recuperação de solo. Recuperação energética.



## ABSTRACT

PEREIRA, Moisés Edevaldo. **Poultry Litter Biochar: Production, application and analysis of its properties in soil and in radish cultivation**. 2024. 145 p. Thesis (Doctorate in “Planning and Use of Renewable Resources”) – Center for Sciences and Technologies for Sustainability, Federal University of São Carlos, Sorocaba, 2024.

Brazil stands out in broiler production and is the largest exporter. In 2022 alone, Brazil produced 14.57 million tons of chicken meat. However, considerable amounts of poultry litter are also generated annually in Brazil due to the growing demand and production of broilers, causing concerns for poultry farmers such as improper disposal which can lead to environmental pollution. The aim of this study was to evaluate the production of biochar from chicken litter on a pilot scale, characterize the biochar produced, apply the biochar to the soil in a field experiment and analysis its effects on the soil and on radishes. Around 40 kg of chicken litter was collected after raising two batches of chickens. To produce biochar, around 23.5 kg of the material was subjected to the pyrolysis process, which was carried out at 450 °C, a heating rate of 20 °C min<sup>-1</sup> and a residence time of 6 hours. The biochar parameters studied were: gravimetric yield, immediate analysis, scanning electron microscopy and energy dispersive spectroscopy. The field experiment was set up in a randomized block design with 3 replications and 5 fertilization treatments each (control, chicken litter, biochar 20 t ha<sup>-1</sup>, biochar 60 t ha<sup>-1</sup> and commercial NPK). For the effect of the biochar on the plants, radish development parameters were analyzed (root diameter, fresh masses root and leaf, leaf height, number of leaves, dry masses root and leaf, percentage of cracked roots, number of commercial roots and productivity. For the effect of biochar on the soil, soil analyses were carried out at 3 different times (before planting, after the first planting cycle, after the second cycle radishes planting). The results of the laboratory analysis of the biochar showed that, with the larger equipment, a longer residence time was required for the material to pyrolyze completely. The gravimetric yield was 38.38%, the moisture content 4.49%, the volatile content 24.11%, the ash content 34.40% and the fixed carbon content 41.49%, which showed that chicken litter is a suitable material for producing biochars for application to the soil. The results of the field experiment showed that biochar resulted in higher radish productivity (25.17 and 28.55 t ha<sup>-1</sup> for the 20 and 60 t ha<sup>-1</sup> treatments, respectively), as well as better results in most of the other development parameters analyzed. In the soil, the effects of biochar were positive, implying in retention of

NPK levels, unlike the other treatments, showing potential for replacing mineral and organic fertilization, both for radish development parameters and soil fertility.

.

Keywords: Biochar. Chicken litter. Soil recovery. Waste. Energetic recovery.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Granja de frangos de corte .....	33
Figura 2 - A) Trituração da cama de frango; B) Cama de frango enleirada e coberta com lona para fermentação.....	61
Figura 3 - Cama de frango armazenada no balde .....	62
Figura 4 - Caixa de aço adaptada ao forno mufla.....	63
Figura 5 - Etapas do processo de fabricação do biochar .....	64
Figura 6 - Biochar armazenado no balde.....	64
Figura 7 - A) MEV e EDS do biochar; B) MEV e EDS das cinzas do biochar .....	72
Figura 8 - Croqui da área experimental .....	92
Figura 9 - Canteiros em 15 parcelas .....	93
Figura 10 - Mudanças plantadas .....	93
Figura 11 - A e B) Raízes identificadas; C) Folhas identificadas .....	98
Figura 12 - A) Raízes em bandeja na estufa; B) Folhas em bandeja na estufa .....	99
Figura 13 - Variações nos diâmetro das raízes e na altura foliar.....	106
Figura 14 - Raízes rachadas.....	110
Figura 15 - MEV e EDS das cinzas da parte aérea dos rabanetes do T1-TES .....	112
Figura 16 - MEV e EDS das cinzas da parte aérea dos rabanetes do T2-CDF .....	112
Figura 17 - MEV e EDS das cinzas da parte aérea dos rabanetes do T3-B20.....	112
Figura 18 - MEV e EDS das cinzas da parte aérea dos rabanetes do T4-B60.....	112
Figura 19 - MEV e EDS das cinzas da parte aérea dos rabanetes do T5-NPK.....	113

Figura 20 - MEV e EDS das cinzas das raízes dos rabanetes do T1-TES.....	114
Figura 21 - MEV e EDS das cinzas das raízes dos rabanetes do T2-CDF .....	114
Figura 22 - MEV e EDS das cinzas das raízes dos rabanetes do T3-B20 .....	115
Figura 23 - MEV e EDS das cinzas das raízes dos rabanetes do T4-B60 .....	115
Figura 24 - MEV e EDS das cinzas das raízes dos rabanetes do T5-NPK.....	115
Figura 25 - Raízes apodrecidas (à esq.) e manchas pretas nas raízes (à dir).....	117
Figura 26 - Raízes deformadas e problemas no desenvolvimento .....	118

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Crescimento da produção de carne de frango e a consequente geração de cama de frango no Brasil (2018 a 2022).....	30
Tabela 2 - Rendimento gravimétrico e análise imediata do biochar .....	68
Tabela 3 - Produtos dos diferentes tipos de pirólise.....	69
Tabela 4 - Elementos obtidos por EDS do biochar e das cinzas do biochar .....	73
Tabela 5 - Tipo de fertilização de cada tratamento .....	92
Tabela 6 - Recomendações de adubação mineral de plantio para o rabanete.....	95
Tabela 7 - Propriedades químicas do solo .....	104
Tabela 8 - Parâmetros de desenvolvimento dos rabanetes .....	105
Tabela 9 - EDS das cinzas da parte aérea dos rabanetes .....	113
Tabela 10 - EDS das cinzas das raízes dos rabanetes.....	116
Tabela 11 - 1º momento: propriedades químicas do solo antes do plantio .....	119
Tabela 12 - 2º momento: propriedades químicas do solo após o primeiro ciclo de plantio...	119
Tabela 13 - 3º momento: propriedades químicas do solo após o segundo ciclo de plantio ...	120



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCSEM	Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudanças
ABPA	Associação Brasileira de Proteína Animal
AF	Altura Foliar
ALESP	Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo
ASTM	American Society for Testing and Materials
CPT	Centro de Produções Técnicas
CRA	Capacidade de Retenção de Água
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
DR	Diâmetro da Raiz
EDS	Espectroscopia Eletrônica de Varredura
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
M. O.	Matéria Orgânica
MAPA	Ministério da Agricultura e Pecuária
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MFPA	Massa Fresca da Parte Aérea
MFR	Massa Fresca da Raiz
MSPA	Massa Seca da Parte Aérea
MSR	Massa Seca da Raiz
NF	Número de Folhas
NRC	Número de Raiz Comercial
PRNT	Poder Reativo de Neutralização Total
PRR	Percentual de Raiz Rachada
SB	Soma de Bases Trocáveis
T1-NPK	Tratamento sem fertilização - testemunha, controle

T2-CDF	Tratamento de fertilização com cama de frango, 100 t ha <sup>-1</sup>
T3-B20	Tratamento de fertilização com biochar, 20 t ha <sup>-1</sup>
T4-B60	Tratamento de fertilização com biochar, 60 t ha <sup>-1</sup>
T5-NPK	Tratamento de fertilização com NPK mineral 4-14-8, 1,8 t ha <sup>-1</sup>
TPI	Terra Preta de Índio



## LISTA DE SÍMBOLOS

kg	quilograma
°C	graus celsius
pH	potencial hidrogeniônico
min	minuto
h	hora
t	tonelada
%	por cento, percentual
kg hab <sup>-1</sup>	quilograma por habitante
kg ave <sup>-1</sup>	quilograma por ave
NH <sub>3</sub>	amônia
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	íon amoníaco
K	potássio
P	fósforo
Mn	manganês
Fe	ferro
Cu	cobre
Zn	zinco
CO <sub>2</sub>	gás carbônico
Ca	cálcio
Mg	magnésio
H	hidrogênio
Al	alumínio
V%	saturação da CTC por bases
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	fosfato
K <sub>2</sub> O	óxido de potássio

g	grama
kV	quilovolt
N	nitrogênio
NaCl	cloreto de sódio
NaHCO <sub>3</sub>	bicarbonato de sódio
N <sub>2</sub> O	óxido nitroso
m	metro
Cfa	clima subtropical com verão quente
mm	milímetro
cm	centímetro
CaCl <sub>2</sub>	cloreto de cálcio
kg ha <sup>-1</sup>	quilograma por hectare
t ha <sup>-1</sup>	tonelada por hectare
mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	milimol-carga por decímetro cúbico
g m <sup>-2</sup>	grama por metro quadrado
g dm <sup>-3</sup>	grama por decímetro cúbico
B	boro
DTPA	ácido dietilenotriaminopentacético
m%	saturação da CTC efetiva por alumínio
mg kg <sup>-1</sup>	miligrama por quilograma
mg dm <sup>-3</sup>	miligrama por decímetro cúbico
H+Al	acidez potencial

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	29
1.1 INTRODUÇÃO GERAL .....	29
1.2 OBJETIVOS .....	32
1.2.1 Objetivo Geral .....	32
1.2.2 Objetivos Específicos .....	32
1.3 REVISÃO DE LITERATURA .....	33
1.3.1 A Geração da Cama de Frango no Brasil .....	33
1.3.2 Pirólise da Biomassa.....	34
1.3.3 Biochar .....	36
1.3.4 Aplicação do Biochar no Solo .....	37
1.3.5 Calagem e Adubação .....	39
1.3.6 Cultivo de Rabanetes .....	40
REFERÊNCIAS .....	42
<b>CAPÍTULO 2 – PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO BIOCHAR DA BIOMASSA DE CAMA DE FRANGO</b> .....	57
2.1 INTRODUÇÃO.....	59
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	61
2.2.1 Material.....	61
2.2.2 Coleta e Preparação do Material.....	61
2.2.3 Produção do Biochar .....	62
2.2.4 Rendimento Gravimétrico .....	64
2.2.5 Análise Imediata .....	65
2.2.6 Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectroscopia por Energia Dispersiva.....	67
2.2.7 Análise Estatística .....	67
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	68
2.3.1 Rendimento Gravimétrico e Análise Imediata .....	68
2.3.2 Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectroscopia por Energia Dispersiva.....	72
2.4 CONCLUSÕES .....	76
REFERÊNCIAS .....	77

<b>CAPÍTULO 3 – BIOCHAR DE CAMA DE FRANGO: EFEITOS NO CULTIVO DE RABANETES E NO SOLO EM COMPARAÇÃO COM OUTRAS FONTES DE FERTILIZAÇÃO</b> .....	87
3.1 INTRODUÇÃO.....	89
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	91
3.2.1 Localização do Experimento .....	91
3.2.2 Fontes de Fertilização e Cultivar de Rabanete Utilizadas .....	91
3.2.3 Tratamentos e Delineamento Experimental .....	92
3.2.3.1 Adubação Orgânica .....	93
3.2.3.2 Adubação Mineral .....	94
3.2.3.3 Irrigação.....	97
3.2.4 Colheita e Análise dos Parâmetros de Desenvolvimento dos Rabanetes .....	97
3.2.5 Métodos de Medições dos Parâmetros .....	98
3.2.6 Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectroscopia por Energia Dispersiva.....	101
3.2.7 Efeitos do Biochar no Solo.....	101
3.2.8 Análise Estatística .....	103
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	104
3.3.1 Caracterização do Solo para Fins de Adubação Mineral (T5-NPK) .....	104
3.3.2 Parâmetros de Desenvolvimento dos Rabanetes .....	105
3.3.3 Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectroscopia por Energia Dispersiva.....	111
3.3.4 2º Ciclo de Plantio de Rabanetes .....	116
3.3.5 Efeitos do Biochar no Solo.....	118
3.4 CONCLUSÕES .....	130
REFERÊNCIAS .....	131
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	145

## CAPÍTULO 1

### 1.1 INTRODUÇÃO GERAL

O consumo e produção de frangos de corte vem aumentando nos últimos anos (Avicultura Industrial, 2022). Segundo o relatório da ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal (2023), o consumo de carne de frango foi de 42,84 kg hab<sup>-1</sup> (2019) para 45,56 hab<sup>-1</sup> em 2021.

O Brasil produziu, em 2022, 14,57 milhões de toneladas de carne de frango (Avisite, 2023a), e exportou 4,82 milhões de toneladas, que o mantém como maior exportador do produto, seguido dos EUA com 3,30 milhões de toneladas (Avicultura Industrial, 2023; Avisite, 2023b). O mercado de exportação do produto está em ascensão. Destaca-se como o grande importador do produto, a China, com 640.470 toneladas em 2021, seguida do Japão e Emirados Árabes Unidos, com importação de 448.935 e 389.500 toneladas respectivamente (ABPA, 2023).

Com a produção de frango de corte, há também a produção consequente de um subproduto: a cama de frango (Dornelas *et al.*, 2020; Masud *et al.*, 2020). De acordo com Ortolani e Brito (2001), a produção de cama de frango é de, aproximadamente, 1,6 a 1,8 kg ave<sup>-1</sup> considerando a criação de até dois lotes na mesma cama. Segundo Rogeri *et al.* (2016), cada frango produz cerca de 1,8 kg de resíduo e, de acordo com o IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2022), o peso médio do frango no abate é de aproximadamente 2,4 kg ave<sup>-1</sup>, logo, considerando os 14,57 milhões de toneladas de carne de frango produzidas em 2022, a produção do resíduo de cama de frango, foi cerca de 4,86 a 5,46 milhões de toneladas, considerando a troca da cama de frango a cada dois lotes de criação de aves. A produção desse resíduo vem crescendo nos últimos anos em função do aumento da produção de frangos de corte. A Tabela 1 mostra os crescimentos da produção de carne de frango e as respectivas faixas de produção de resíduo de cama de frango.

Tabela 1 - Crescimento da produção de carne de frango e a consequente geração de cama de frango no Brasil (2018 a 2022).

<b>Ano</b>	<b>Carne de frango (milhões de t)</b>	<b>Cama de frango (milhões de t)</b>
2018	13,35	4,45 - 5,01
2019	13,69	4,56 - 5,13
2020	13,88	4,63 - 5,21
2021	14,33	4,78 - 5,37
2022	14,57	4,86 - 5,46

Fonte: Adaptada de Avisite (2023).

Projeções mostram que é um mercado que ainda está em expansão. A Secretaria de Política Agrícola do MAPA – Ministério da Agricultura e Pecuária (2020), projetou a possível evolução da produção de carne de frango no Brasil para, aproximadamente, 28% de crescimento acumulado até 2029/30.

A cama de frango foi largamente utilizada no processo de alimentação de ruminantes, geralmente bovinos, principalmente pela grande produção e baixo custo quando se comparada a outros alimentos para ruminantes (Ortolani; Brito, 2001). No entanto, o MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, com a Instrução Normativa n. 41 de 2009 (MAPA, 2009), e alterada pela Instrução Normativa n. 10 de 2010 (MAPA, 2010), proibiu essa prática em função de associação com algumas doenças nos ruminantes, como a encefalopatia espongiiforme (mal da vaca louca) e o botulismo (ALESP, 2011; Agrodefesa, 2020). Essas doenças podem ser causadas pela ingestão de restos animais (fezes, urina e penas das aves) que compõem a cama de frango (Vilarino, 2012). O mal da vaca louca, pode inclusive, afetar também os humanos (Agrodefesa, 2020; Leme; Boin, 2000). Assim, legalmente, o uso comum da cama de frango é como adubo orgânico para algumas culturas. No entanto, ainda há produtores que utilizam a cama de frango para alimentação do gado (Walendorff, 2018). De acordo com Vilarino (2021), houve casos recentes de flagras do uso da cama de frango para alimentação de bovinos nos estados de Minas Gerais e São Paulo. Prática que, segundo o autor, costuma aumentar quando os custos com alimentação animal estão elevados.

O seu uso como adubo, em função da cama de frango não ser balanceada em todos os nutrientes, para várias culturas, necessita de complementação com outras fontes de adubação (Hahn, 2004). Essas outras fontes em complemento à cama de frango, provém de adubos minerais, formando o adubo organomineral (Mattos *et al.*, 2016; Trani; Trani, 2011). Caso contrário, há a necessidade de usar grande volume de cama de frango por hectare para obter o

condicionamento adequado ao plantio, o que, muitas vezes, não é viável, resultando no descarte inadequado do resíduo e causando problemas ambientais (Pereira *et al.*, 2019).

Segundo Marcelino (2020) e Silva e Marques (2004), os resíduos orgânicos também têm grandes impactos pelos odores gerados, geralmente fortes, tanto no local de geração, transporte e no solo quando aplicados. Neitzke (2010) também aponta que o uso descontrolado e aplicação excessiva de cama de frango como fertilizante, pode gerar poluição do ambiente rural com a liberação de odores e gases como o dióxido de carbono e o metano.

Nesse contexto, faz-se necessário o estudo de formas alternativas para utilização desse resíduo que se mostra cada vez mais abundante. Entre essas alternativas, está o aproveitamento como matéria prima para fabricação do biochar (Pereira *et al.*, 2021).

De acordo com McLaughlin (2009) o biochar é um dos produtos a partir do processo de pirólise e seu uso é principalmente para aplicação no solo. Segundo e Cha *et al.* (2016) e Nakashima (2020), o biochar é um material rico em carbono e recentemente vem recebendo mais atenção e estudos devido suas características.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo foi verificar os efeitos do biochar de cama de frango na produção de rabanete e também seus efeitos no solo.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos foram:

- 1) produzir biochar de cama de frango em escala piloto para aplicação em campo;
- 2) caracterizar o biochar produzido;
- 3) analisar os efeitos do biochar na produção de rabanetes em comparação com diferentes fontes de fertilização (testemunha, cama de frango, biochar em duas concentrações e adubação mineral NPK);
- 4) analisar os efeitos do biochar no 2º ciclo da cultura (novo plantio de rabanetes na mesma área experimental anterior);
- 5) analisar os efeitos do biochar nos parâmetros de fertilidade do solo em três momentos (antes do 1º ciclo, antes do 2º ciclo e após o 2º ciclo de cultura de rabanetes).



## 1.3 REVISÃO DE LITERATURA

### 1.3.1 A Geração da Cama de Frango no Brasil

A avicultura industrial, no Brasil iniciou-se no começo da década de 1950 (Freitas; Bertoglio, 2001), no entanto, de acordo com Belusso e Hespanhol (2010), foi consolidada como um segmento moderno somente a partir dos anos 1970, tendo, inclusive, estímulos por políticas públicas, o que, segundo os autores, alavancou a produção e a partir do início do século XXI teve destaque e expansão para diversas áreas do Brasil.

Os dois principais ramos da avicultura no Brasil é a avicultura de corte e a avicultura de postura (Agroceres, 2022). A Figura 1 mostra uma granja de frangos de corte.

Figura 1 - Granja de frangos de corte.



Fonte: Vilarino (2021).

A avicultura de postura (produção de ovos), possui um processo em que não há necessidade de material de forragem (cama) para as aves, pois geralmente são alocadas em gaiolas suspensas para facilitar a postura de ovos, o manejo e o recolhimento dos ovos (Bibar, 2014; EMBRAPA, 2004). Geralmente, nos dejetos das galinhas poedeiras, são encontrados penas, ovos quebrados e restos de ração e a produção desse resíduo é bem menor se comparado com a geração da cama de frango na produção do frango de corte (Oliveira, 1991).

Segundo Pereira *et al.* (2019), na avicultura de corte (produção de frangos de corte) há a necessidade de forragem do solo, um material absorvente. De acordo com Schnitzer, Monreal e Jandl (2008), a forragem é composta, geralmente, de serragem de madeira, utilizado como substrato para receber e absorver a umidade das excretas, penas, descamações da pele das aves e restos de alimento que caem dos comedouros. O substrato juntamente com esses resíduos, formam a cama de frango ou cama de aviário.

Existe uma grande geração de serragem, principalmente nas regiões sul e sudeste do Brasil e, segundo a ABPA (2023), também são as regiões de maior produção de frangos no país, e essa proximidade favorece o uso da serragem como forragem na criação de frangos de corte.

A cama de frango possui funções importantes no processo de criação das aves relacionadas ao conforto e bem-estar, tais como a absorção da umidade, redução das oscilações de temperatura e na proteção física do atrito das aves com o piso da granja (Silva; Barros, 2020; Vieira, 2011). A cama de frango deve possuir boa qualidade e cobrir o piso da granja de maneira uniforme, com espessura de 5 a 8 cm no verão e 8 a 10 cm no inverno (Goetten *et al.*, 2009). Quando a serragem é obtida úmida, deve ser espalhada na granja com aproximadamente uma semana de antecedência da chegada dos pintinhos para ocorrer a secagem (Ávila; Mazzuco; Figueiredo, 1992).

A cama de frango possui concentrações consideráveis de nitrogênio, fósforo, potássio, além de outros minerais (Migotto, 2020; Pereira *et al.*, 2019). A rápida decomposição dos compostos da cama de frango, dentro e fora dos lugares de produção avícola, gera problemas ambientais e o descarte inadequado dos dejetos de animais acarreta a perda de seu apreciável potencial energético e fertilizante quando reciclados (Tessaro, 2011).

Outro ponto de alerta é a aplicação contínua de cama de frango no solo, pois há uma preocupação com a geração da amônia ( $\text{NH}_3$ ). O íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) que é, geralmente, a forma dominante de nitrogênio na cama de frango, com o aumento do pH e condições favoráveis de umidade, transforma-se em amônia (Oviedo-Rondón, 2008). Com a volatilização de amônia, as maiores perdas de nutrientes e maiores possibilidades de contaminação ambiental ocorrem quando a cama de frango é retirada do aviário e utilizada como fertilizante (Hahn, 2004). É neste aspecto que há motivos suficientes para preocupação com a quantidade aplicada no solo (Hahn, 2004). Além das preocupações com a volatilização da amônia, outro ponto de fundamental importância, com a aplicação excessiva de cama de frango no solo ao longo do tempo, pode ser a lixiviação de nitratos em águas subterrâneas (Sims; Wolf, 1994).

### **1.3.2 Pirólise da Biomassa**

O termo biomassa pode ser definido, de um modo geral, como sendo a matéria orgânica, viva ou morta (vegetal ou animal), tais como: resíduos florestais e agrícolas, resíduos animais, como também a matéria orgânica contida nos resíduos industriais, domésticos e comerciais (Guitarrara, 2022; Scheufele, 2017).

A pirólise é um processo físico-químico no qual ocorre a decomposição da biomassa pela ação do calor, em um processo de degradação térmica, em um ambiente com ausência parcial ou total de oxigênio (Gonçalves, 2007; Santos, 2011). Ou ainda, a pirólise pode ser definida como um processo que ocorre pela decomposição térmica em atmosfera livre de oxigênio, em materiais orgânicos, na faixa que compreende 300 a 900 °C (Cha *et al.*, 2016). A reação mais significativa da pirólise para a produção de biochar ocorre entre 200 e 500 °C (McLaughlin, *et al.*, 2009).

O resultado do processo de pirólise, é a formação de um resíduo sólido rico em carbono (biochar) e uma fração volátil composta de gases e vapores orgânicos condensáveis, conhecidos como licor pirolenhoso (Bridgwater, 2003). A composição heterogênea das proporções produzidas e as possíveis interações e reações que ocorrem durante o processo, tornam a pirólise ainda mais complexa (Pinheiro; Sampaio; Bastos Filho, 2001).

A pirólise da biomassa pode ser realizada considerando três principais processos de degradação térmica: temperatura de pirólise, taxa de aquecimento (também conhecida como rampa de aquecimento) e tempo de residência do material no forno (Soldera, 2016). Essas variáveis podem afetar diretamente o tipo de biochar produzido e definir a proporção das fases sólida, líquida e gasosa (Lei; Ren; Julson, 2009; Nóbrega, 2011).

As reações mais complexas no processo de pirólise da biomassa vegetal e/ou de origem vegetal e animal, ocorrem durante a degradação dos principais componentes da biomassa: as hemiceluloses, celulose e lignina (Pinheiro; Sampaio; Bastos Filho, 2001). A lignina contribui para a formação de cerca de 50% do carbono fixo na fração sólida (Froehlich; Moura, 2014). Então, materiais com alto teor de lignina, como a serragem de madeira, contida na cama de frango, podem auxiliar na concentração de carbono do biochar.

A pirólise da cama de frango para obtenção de biochar também representa o benefício da reciclagem desse resíduo na agricultura, sem as preocupações de sua aplicação *in natura*, além do sequestro de carbono (Soldera, 2016). De acordo com Andrade *et al.* (2015), há forte relação entre incrementos de carbono no solo e solos com tratamento à base de biochar, o que gera benefícios fundamentais à qualidade do solo.

O biochar a partir da biomassa de cama de frango possui fortes indicativos de boa qualidade, pois possui características positivas esperadas em biochar para aplicação no solo (Pereira *et al.*, 2021). Os biochar provenientes de dejetos ou compostos apresentam teores mais elevados de micro e macronutrientes, tais como o fósforo, nitrogênio e cálcio (Chan; Xu, 2009; Chan *et al.*, 2008).

Os valores mais altos de capacidade de troca catiônica (CTC) são provenientes dos biocarvões produzidos a partir de cama de frango e dejetos bovinos, quando comparados aos de biomassa vegetal produzidos pelo mesmo processo e temperatura de pirólise (400 °C) (Singh *et al.*, 2010). A aplicação do biochar (proveniente de cama de frango) em solo, mostrou que a CTC ficou entre 290 e 510 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> variando conforme a temperatura de pirólise (Song; Guo, 2012). A cama de frango pode ser considerada um produto com qualidade aceitável para a fabricação do biochar (Singh; Singh; Cowie, 2010; Song; Guo, 2012; Pereira *et al.*, 2019).

### 1.3.3 Biochar

Os estudos acerca do biochar são relativamente novos se comparados à idade do material que inspirou seu surgimento (Madari; Maia; Novotny, 2011). O termo “biochar” é usado para referir-se ao carvão que é destinado para uso no solo (McLaughlin, 2009).

A proposta da aplicação do biochar no solo foi motivada pela observação e estudo da TPI – Terra Preta de Índio, solo encontrado na Amazônia. Segundo observações de Lehmann *et al.* (2003) e Spokas *et al.* (2011), os aspectos de coloração e composição são resultantes de vários anos de deposição de material orgânico carbonizado por comunidades que habitaram a região há milhares de anos.

Os primeiros relatos sobre a origem do biochar tem relação com a descoberta da TPI e estes solos de despontavam pela alta produtividade (Kern *et al.*, 2009; Pires, 2017). A cor escura, tendendo ao preto, e a fertilidade da TPI, se dava pelas adições de biomassa carbonizada e restos de fósseis misturados em sua composição (Kern *et al.*, 2009).

Estudos das características desse solo, mostraram que o biochar é um dos principais componentes da TPI que é um solo antropogênico e muito fértil nas regiões amazônicas (Lehmann *et al.*, 2009; Marcelino; Loss; Andrade, 2020).

O biochar é um produto da pirólise lenta, realizada em ambiente fechado com muito pouca ou nenhuma presença de oxigênio (Buss *et al.*, 2016; Pires, 2017). O biochar é um produto rico em carbono, obtido de diferentes tipos de resíduos de biomassa, quando aquecidos em ambiente com baixa concentração ou ausência de oxigênio e presença de calor (Lehmann; Joseph, 2009; Sohi *et al.*, 2010).

Demirbas (2004) complementa que os mecanismos de reação da pirólise lenta de biomassas, ocorre em três principais etapas: a primeira consiste na perda de umidade e alguns sólidos voláteis do material; na segunda etapa, ocorre ainda perda de sólidos voláteis e há

formação de um produto sólido; e na terceira etapa, esse material decompõe-se a uma velocidade baixa, dando origem a um material rico em carbono (biochar).

Para favorecer a produção da parte sólida (biochar), o processo de pirólise deve ser em temperatura baixa (até 500 °C) e com um tempo de residência maior, conhecido como pirólise lenta (Azargohar *et al.*, 2014; Hameed *et al.*, 2019). O biochar possui características que dependem de sua matéria prima e do processo de pirólise (Lei; Ren; Julson, 2009).

Quando o biochar é usado como um condicionante do solo, pode aumentar sua fertilidade e melhorar sua qualidade elevando o pH, além de poder aumentar a retenção de umidade e melhorar a CTC, ajudando o solo a manter os nutrientes (Soldera, 2016).

Entre as aplicações do biochar, estão a atuação como condicionador do solo, controlando a umidade e auxiliando na remoção de contaminantes do solo (Buss *et al.*, 2016). Uma das características do biochar é sua lenta decomposição no solo, o que o torna como um ótimo fixador de carbono no solo (Machado, 2005). O biochar pode ser aplicado ao solo como um condicionador, principalmente em solos degradados e de fertilidade natural baixa (Petter; Madari, 2012).

### **1.3.4 Aplicação do Biochar no Solo**

Woolf (2008) e Glaser (2007) apontam que a aplicação do biochar no solo tem sido proposto como um meio para melhorar a fertilidade do solo, evidências benéficas verificadas em solos de TPI que possuem altas concentrações de biochar.

De acordo com Zwieten *et al.* (2010) e Santos (2013), após o processo de pirólise, o biochar possui potencial de neutralização da acidez do solo, em função de apresentar altos teores de carbonato de cálcio e de magnésio. Outros nutrientes essenciais às plantas, também são incrementados no solo, tais como o potássio (K) e o fósforo (P), e micronutrientes como o manganês (Mn), ferro (Fe), cobre (Cu) e zinco (Zn) (Graber *et al.*, 2010; Novak *et al.*, 2009).

O aumento do pH no solo pela adição de biochar, indica reação alcalina do material, o que favorece a imobilização de metais, especialmente em solos ácidos, onde eles são geralmente mais solúveis (Novak *et al.*, 2009).

A capacidade de retenção de água (CRA) é outro fator relacionado à melhoria da qualidade do solo, sendo esse atributo, considerado um dos benefícios agrônômicos inerentes ao biochar (Bibar, 2014). Estudos de Petter e Madari (2012) e de Thies e Rillig (2009) mostram que a CRA do biochar está altamente associada à porosidade do material e a sua estrutura química, que podem reter água através das chamadas “ligações de hidrogênio”.

Além da CRA, o biochar possui a característica de fixar o carbono no solo. O biochar pode atuar como redutor das emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, pois o dióxido de carbono é assimilado pelas plantas através da fotossíntese e aplicando-se o biochar no solo, pode-se considerar fixação de carbono (Lehmann, 2007). Outra característica, é a verificação de aumento de CTC (capacidade de troca catiônica) com adição de biochar no solo, pois o envelhecimento do biochar no solo tende a incrementar a CTC com o tempo (Cheng *et al.*, 2006). A CTC de um solo representa a quantidade total de cátions retidos à superfície desses materiais em condição permutável (Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + K<sup>+</sup> + H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>) (Ronquim, 2010).

Estudos de Glaser *et al.* (2001), mostraram que a maior disponibilidade e retenção de nutrientes foi encontrada após a adição de biochar no solo, relacionadas ao incremento de CTC e adição de nutrientes diretos.

O biochar promove benefícios ao sistema agrícola, uma vez que traz melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Schmidt; Skjemstad; Jager, 2002; Lehmann *et al.*, 2003; Steiner *et al.*, 2007). Esses benefícios associados à aplicação do biochar no solo, estão ligados ao aumento da CTC, elevação do pH do solo, retenção de água, adsorção de nutrientes, entre outros efeitos diretos ou indiretos que o biochar pode gerar (Biederman; Harpole, 2013).

A alta CTC dos biochars é diretamente relacionada à área superficial específica de troca de cátions, pois devido à pirólise, a porosidade do material é aumentada consideravelmente, e essa alta densidade de poros faz com que a superfície de trocas do material seja ainda maior (Glaser *et al.*, 2000).

O biochar pode possuir maior quantidade de nutrientes, tais como N (nitrogênio), P (fósforo), K (potássio), Ca (cálcio) e Mg (magnésio) em função da constituição química inicial da matéria prima e apontam para aumento na CTC (Singh; Singh; Cowie, 2010).

A CTC dos biochars podem variar, em função, principalmente, da biomassa utilizada como matéria-prima (Singh; Singh; Cowie, 2010) e da temperatura utilizada na pirólise (Song; Guo, 2012). Em alguns estudos, as temperaturas mais baixas de pirólise ( $\leq 500^{\circ}$  C) refletiram em valores mais altos de CTC (Gaskin *et al.*, 2007; Melo *et al.*, 2013; Mukherjee; Zimmerman; Harris, 2011; Song; Guo, 2012).

### 1.3.5 Calagem e Adubação

A calagem é um processo realizado com a finalidade de elevar o pH do solo. De acordo com Hansted (2020), a correção do pH permite que a cultura consiga promover mais absorção dos nutrientes contidos no solo.

Segundo Lemiska *et al.* (2013), a calagem é a prática mais utilizada para reduzir os efeitos negativos da acidez do solo e fornecer cálcio às plantas. De acordo com Cardoso *et al.* (2015), a calagem é necessária para corrigir os problemas de acidez do solo e níveis baixos de Ca e Mg, possibilitando aumentar a produtividade das culturas. Esses elementos quando em falta ou em quantidade insuficiente, são fatores limitantes ao desenvolvimento da planta (Hansted, 2020).

As práticas de correção da acidez como a calagem e de adubação do solo contribuíram de maneira significativa para a melhoria da fertilidade dos solos (Bernardi; Machado; Silva, 2002). Geralmente a correção do solo se dá com aplicação de corretivos no solo, na maioria das vezes, o calcário (Cardoso *et al.*, 2015). O cálculo para a calagem, se dá após a análise de solo, geralmente pela elevação da saturação por bases (V%) e elevação do teor de magnésio e/ou cálcio (Hansted, 2020; Trani *et al.*, 1997). Esses valores mínimos de elevação, dependem da cultura a ser cultivada (Quaggio; Raij, 1997).

A quantidade necessária de adubação depende do tipo de cultivo. Mesmo que o nível de fertilidade do solo esteja considerado como bom, ainda é comum que os agricultores continuem adubando com quantidades fixas de NPK, por receio da diminuição da produtividade (Lacerda *et al.*, 2015). Segundo Benites, Polidoro e Resende (2010), essa prática tem resultado em adubações desnecessárias ou superdimensionadas, implicando em baixa eficiência do uso dos fertilizantes.

O rabanete necessita de uma elevada quantidade de nutrientes, pois desenvolve uma formação grande de massa, num período de tempo relativamente curto (25 a 35 dias) (Castro *et al.*, 2016; Oliveira *et al.*, 2014). Para ter alta produtividade, é necessário o uso de fertilizantes orgânicos e/ou minerais. No entanto o uso desordenado de fertilizantes, pode tanto resultar em desequilíbrios de nutrientes, quanto também acarretar problemas ambientais, tais como contaminação do solo e água de lençóis freáticos, nascentes, córregos e rios (Batista *et al.*, 2018).

Por isso é importante verificar as recomendações sobre calagem e adubação, principalmente para adubação mineral, onde é necessário seguir orientações de cálculos e análises de solo, além da cultura a ser produzida (Bataglia, 1997; Trani; Trani, 2011).

Conforme Trani e Raij (1997) abordam no Boletim Técnico 100 de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo, geralmente para a adubação mineral em hortaliças, devem ser realizadas adubações de plantio e de cobertura.

As quantidades necessárias de adubação mineral recomendadas para hortaliças (beterraba, cenoura, nabo, rabanete e salsa) são 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, 180 a 360 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 60 a 180 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Essas variações nas quantidades de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, seguem de acordo com a análise de solo (Minami; Tessarioli Neto, 1997; Trani *et al.*, 1997).

Para a adubação orgânica, de acordo com Berton (1997) e Trani e Raij (1997), a quantidade depende muito do resíduo a ser utilizado, sendo muito variável dependendo da região, pois a geração do tipo de resíduos varia de acordo com as produções agrícolas e agropecuárias. A adubação orgânica contribui com o aumento de matéria orgânica, além de proporcionar melhoria nas características física, química e biológica do solo (Benedetti, *et al.*, 2009; Chagas *et al.*, 2011).

Geralmente a definição da quantidade adequada de composto orgânico para adubação é estabelecida após estudos com diferentes dosagens e/ou ainda com diferentes fontes de resíduos orgânicos (Costa *et al.*, 2015; Rodrigues; Reis; Reis, 2013; Souza *et al.*, 2012; Trani *et al.*, 1997). No entanto, na prática, há a adubação em todos os ciclos de plantio com matéria orgânica em abundância incorporada ao solo revolvido.

Segundo Chagas *et al.* (2011) e Silva *et al.* (2015), são poucas as informações sobre a adubação orgânica do rabanete. Orientações de Minami e Tessarioli Neto (1997) e Trani *et al.* (1997) indicam aplicação de 50 t ha<sup>-1</sup> de esterco de curral curtido. No entanto, em estudos de Lopes *et al.* (2019) com esterco bovino e ovino, foram encontrados resultados positivos até a dosagem de 100 t ha<sup>-1</sup>.

Para o composto orgânico de cama de frango, Lopes *et al.* (2019) e Sousa (2017), verificaram que a aplicação de 100 t ha<sup>-1</sup> foi a dosagem que apresentou os melhores resultados no cultivo de rabanetes. Essa dosagem (100 t ha<sup>-1</sup>) também foi considerada como quantidade padrão para estudo de Costa *et al.* (2015).

### 1.3.6 Cultivo de Rabanetes

O rabanete (*Raphanus sativus* L.) pertence à família Brassicaceae e é uma planta herbácea com raízes globulares, geralmente de coloração avermelhada, polpa branca e sabor picante (Castro *et al.*, 2016; Kramer, 2018; Lopes *et al.*, 2019; Maia *et al.*, 2011), sendo consumida, geralmente na forma de saladas e conservas (Castro *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2012).



O rabanete é originário da região do Mediterrânea ao sul da Europa e, segundo Lopes *et al.* (2019) e Maia *et al.* (2011), é uma das hortaliças mais antigas de que se tem registros de cultivo, sendo cultivada há mais de três mil anos.

O rabanete ainda é uma cultura pouco expressiva nas regiões brasileiras (Bonela *et al.*, 2017; Puliti *et al.*, 2009; Souza *et al.*, 2012). A produção brasileira anual de rabanetes vem sendo da ordem de 9 a 10,5 mil toneladas ano<sup>-1</sup> (Bonfin-Silva *et al.*, 2020; Kramer, 2018). Segundo os autores, as regiões sul e sudeste concentram a maior produção de rabanetes. A maior parte dessa produção é de origem das pequenas propriedades rurais (Bonfin-Silva *et al.*, 2020), com o estado de São Paulo sendo o maior produtor (Kramer, 2018).

O rabanete é uma cultura de ciclo muito curto, de aproximadamente 25 a 35 dias (Maia *et al.*, 2011). É uma alternativa muito aceitável e promissora na diversificação de pequenas propriedades, pois possibilita um retorno financeiro mais rápido (Cardoso; Hiraki, 2001; Kramer, 2018; Lopes *et al.*, 2019; Matos *et al.*, 2015; Viciedo *et al.*, 2017), podendo ser cultivadas na rotação de culturas da agricultura familiar (Fernandes *et al.*, 2014).

O rabanete apresenta melhor desenvolvimento na época outono-inverno, com temperaturas mais baixas entre 10 e 20 °C (Kramer, 2018; Steiner *et al.*, 2009). No entanto também apresentam bom desenvolvimento em épocas mais quentes até 35 °C, a partir desta temperatura o desenvolvimento é afetado negativamente (Lopes *et al.*, 2019).

O rabanete é considerado exigente com relação à nutrição e, por ser uma cultura de ciclo curto, pode necessitar de nutrientes em curto período (Islam *et al.*, 2011; Kramer, 2018; Oliveira *et al.*, 2014). Pela mesma razão (ciclo curto), as possíveis deficiências nutricionais dificilmente são corrigidas durante o ciclo de cultivo (Coutinho Neto *et al.*, 2010).

Alguns estudos do cultivo de rabanete com biochar tem mostrado resultados satisfatórios, como por exemplo estudo de Sousa (2015) com biochar de lodo de esgoto, onde obteve resultados que mostraram enriquecimento de nutrientes no solo com a aplicação do biochar e maior concentração de nutrientes foliares e no desenvolvimento do rabanete.

## REFERÊNCIAS

ABPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório anual 2022**. ABPA, 2023. Disponível em: <https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2023/01/abpa-relatorio-anual-2022.pdf>. Acesso em: 26 set. 2023.

AGROCERES. **Avicultura brasileira, passado, presente e futuro**. Agrocerees Multimix, 2022. Disponível em: <https://agrocereesmultimix.com.br/blog/avicultura-brasileira-passado-presente-e-futuro/#:~:text=Antes%20de%20falarmos%20da%20produ%C3%A7%C3%A3o,a%20avicultura%20de%20postura>. Acesso em: 01 jul. 2023.

AGRODEFESA. **Resíduo de origem animal não pode ser usado na alimentação de ruminantes, alerta Agrodefesa**. Agrodefesa, 2020. Disponível em: <https://www.agrodefesa.gov.br/noticias/850-res%C3%ADuo-de-origem-animal-n%C3%A3o-pode-ser-usado-na-alimenta%C3%A7%C3%A3o-de-ruminantes,-alerta-agrodefesa.html>. Acesso em: 16 abr. 2023.

ALESP – ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Proibição do uso da cama de frango**. 2011. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/noticia/?id=279401>. Acesso em 16 abr. 2023.

ANDRADE, C. A.; BIBAR, M. P. S.; COSCIONE, A. R.; PIRES, A. M. M.; SOARES, A. G. Mineralização e efeitos de biocarvão de cama de frango sobre a capacidade de troca catiônica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 50, n. 5, p. 407-416, 2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015000500008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000500008>. Acesso em: 29 out. 2022.

AVICULTURA INDUSTRIAL. **Produção de carne de frango cresce em 2021 mesmo frente a adversidades**. Avicultura Industrial, 2022. Disponível em: <https://www.aviculturaindustrial.com.br/imprensa/producao-de-carne-de-frango-cresce-em-2021-mesmo-frente-a-adversidades/20220504-143012-k170#:~:text=Em%202021%20foram%20produzidas%2014%2C329,maior%20dos%20%C3%BAltimos%20dez%20anos>. Acesso em: 22 set. 2022.

AVICULTURA INDUSTRIAL. **As exportações brasileiras de carnes e produtos de frango em 2022**. Avicultura Industrial, 2023. Disponível em: <https://www.aviculturaindustrial.com.br/imprensa/as-exportacoes-brasileiras-de-carnes-e-produtos-de-frango-em-2022/20230223-093726-u405#:~:text=O%20ano%20de%202022%20foi,61%25%20em%20rela%C3%A7%C3%A3o%20a%202021>. Acesso em: 10 abr. 2023.

AVILA, V. S.; MAZZUCO, H.; FIGUEIREDO, E. A. **Cama de Aviário: materiais, reutilização, uso como alimento e fertilizante.** 1992. 38p. Circular Técnica n. 16 - EMBRAPA. Concórdia, SC, 1992. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/436062/cama-de-aviario-materiais-reutilizacao-uso-como-alimento-e-fertilizante>. Acesso em: 3 jun. 2022.

AVISITE. Projeções de recorde na safra de grãos deve beneficiar produção de aves e suínos em 2023a. **Revista do Avisite**, n. 141, p. 20-25, 2023a. Disponível em: <https://www.avisite.com.br/revistas/revista-do-avisite-edicao-141/>. Acesso em: 08 abr. 2023.

AVISITE. **EUA fecharam 2022 com decréscimo de 1,22% na exportação de carne de frango.** Avisite, 2023b. Disponível em: <https://www.avisite.com.br/eua-fecharam-2022-com-decrescimento-de-122-na-exportacao-de-carne-de-frango/>. Acesso em: 09 abr. 2023.

AZARGOHAR, R.; NANDA, S.; KOSINSKI, J. A.; DALAI, A. K.; SUTARTO, R. Effects of temperature on the physicochemical characteristics of fast pyrolysis bio-chars derived from Canadian waste biomass. **Fuel**, v. 125, p. 90-100, 2014. DOI: 10.1016/j.fuel.2014.01.083. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.01.083>. Acesso em: 13 set. 2022.

BATAGLIA, O. C. Capítulo 12 - Implementação das recomendações. *In*: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo - IAC, p. 37-41, 1997. ISSN: 0100-3100. (Boletim Técnico IAC, 100).

BATISTA, M. A.; INOUE, T. T.; ESPER NETO, M.; MUNIZ, A. S. Capítulo 4 – Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. *In*: BRANDÃO FILHO, J. U. T.; FREITAS, P. S. L.; BERIAN, L. O. S.; GOTO, R. (org.). **Hortaliças-fruto.** Maringá: Eduem, p. 113-162, 2018. ISBN: 978-65-86383-01-0. DOI: 10.1590/S0100-204X2015000900005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000900005>. Acesso em: 10 out. 2022.

BELUSSO, D.; HESPANHOL, A. N. A evolução da avicultura industrial brasileira e seus efeitos territoriais. **Revista Percurso**, v. 2, n.1, p. 25-51, 2010. Disponível em: <http://www2.fct.unesp.br/docentes/geo/nivaldo/Publica%E7%F5es-nivaldo/2010/AVICULTURA-2010.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2023.

BENEDETTI, E. L.; SERRAT, B. M.; SANTIN, D.; BRONDANI, G. E.; REISSMANN, C. B.; BIASI, L. A. Calagem e adubação no crescimento de espinheira-santa [*Maytenus ilicifolia* (Scharad.) Planch.] em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 11, n. 3, p. 213-219, 2009. DOI: 10.1590/S1516-05722009000300007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-05722009000300007>. Acesso em: 31 out. 2022.

BENITES, V. de M.; POLIDORO, J. C.; RESENDE, A. V. Oportunidades para a inovação tecnológica no setor de fertilizantes no Brasil. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 18-21, 2010. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/48087/1/Oportunidades-inovacao.pdf>. Acesso em: 26 out. 2022.

BERNARDI, A. C. de C.; MACHADO, P. L. O. de A.; SILVA, C. A. Fertilidade do solo e demanda por nutrientes no Brasil. *In*: MANZATTO, C. V.; FREITAS JÚNIOR, E. de; PERES, J. R. R. (ed.). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p. 61-77, 2002. ISBN: 85-885864-10-9. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1124243/1/Fertilidade-do-solo-e-demanda-por-nutrientes-no-Brasil-2002.pdf>. Acesso em: 26 out. 2022.

BERTON, R. S. Capítulo 10 - Adubação orgânica. *In*: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico - IAC, p. 30-35, 1997. ISSN: 0100-3100. (Boletim Técnico IAC, 100).

BIBAR, M. P. S. **Potencial agrícola de biocarvões provenientes de biomassas alternativas**. 2014. 115 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico, Campinas, 2014.

BIEDERMAN, L. A.; HARPOLE, W. S. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. **Global Change Biology Bioenergy**, v. 5, n. 2, p. 202-214, 2013. DOI: 10.1111/gcbb.12037. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12037>. Acesso em: 25 out. 2022.

BONELA, G. D.; SANTOS, W. P. dos; ALVES SOBRINHO, E.; GOMES, E. J. da C. Produtividade e qualidade de raízes de rabanete cultivadas sob diferentes fontes residuais de matéria orgânica. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 7, n. 2, p. 66-74, 2017. DOI: 10.21206/rbas.v7i2.413. Disponível em: <https://doi.org/10.21206/rbas.v7i2.413>. Acesso em: 29 out. 2022.

BONFIM-SILVA, E. M.; FERNANDES, G. B.; ALVES, R. D. de S.; CASTAÑON, T. H. F. M.; SILVA, T. J. A. da. Adubação mineral, orgânica e organomineral na cultura do rabanete. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 23300-23318, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n5-037. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/9528/8019>. Acesso em: 26 out. 2022.

BRIDGWATER, A. V. Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass. **Chemical Engineering Journal**, v. 91, n. 2-3, p. 87-102, 2003. DOI: 10.1016/S1385-8947(02)00142-0. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1385-8947\(02\)00142-0](https://doi.org/10.1016/S1385-8947(02)00142-0). Acesso em: 13 out. 2022.

BUSS, W.; GRAHAM, M. C.; SHEPHERD, J. G.; MASEK, O. Suitability of marginal biomass-derived biochars for soil amendment. **Science of the Total Environment**, v. 547, p. 314-322, 2016. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.11.148. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.148>. Acesso em: 25 ago. 2022.

CARDOSO, A. da S.; PEREIRA, E.; DECOCK, C.; RUGGIERI, A. C.; SIX, J. Efeito do biochar sobre o pH de solo tropical e temperado sob diferentes níveis de umidade. *In*: **XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Natal: Centro de Convenções, Natal-RN, 2015. Disponível em: <https://eventosolos.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/2464.pdf>. Acesso em: 28 set. 2022.

- CARDOSO, A. I. I.; HIRAKI, H. Avaliação de doses e épocas de aplicação de nitrato de cálcio em cobertura na cultura do rabanete. **Horticultura Brasileira**, v. 19, n. 3, p. 196-199, 2001. DOI: 10.1590/S0102-05362001000300007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362001000300007>. Acesso em: 13 out. 2022.
- CASTRO, B. F.; SANTOS, L. G. dos; BRITO, C. F. B.; FONSECA, V. A.; BEBÉ, F. V. Produção de rabanete em função da adubação potássica e com diferentes fontes de nitrogênio. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 3, n. 3, p. 341-348, 2016. DOI: 10.19084/RCA15131. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.19084/RCA15131>. Acesso em: 23 out. 2022.
- CHA, J. S.; PARK, S. H.; JUNG, S. C.; RYU, C.; JEON, J. K.; SHIN, M. C.; PARK, Y. K. Production and utilization of biochar: A review. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 40, p. 1-15, 2016. DOI: 10.1016/j.jiec.2016.06.002. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2016.06.002>. Acesso em: 26 out. 2022.
- CHAGAS, J. H.; PINTO, J. E. B. P.; BERTOLUCCCI, S. K. V.; SANTOS, F. M.; BOTREL, P. P.; PINTO, L. B. B. Produção da hortelã-japonesa em função da adubação no plantio em cobertura. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 3, 412-417, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/LZ3C9q8rd8dSHNT9StWYTQy/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 28 out. 2022.
- CHAN, K. Y.; XU, Z. H. Chapter 5 - Biochar: nutrient properties and their enhancement. *In*: LEHMANN J.; JOSEPH, S. (ed.) **Biochar for environmental management: science and technology**. London: Earthscan, p. 67-84, 2009. ISBN: 978-1-84407-65-1.
- CHAN, K. Y.; ZWIETEN, L. van; MESZAROS I.; DOWNIE A., JOSEPH S. Using poultry litter biochars as soil amendments. **Australian Journal of Soil Research**, v. 46, p. 437-444, 2008. DOI: 10.1071/SR08036. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/SR08036>. Acesso em: 25 ago. 2022.
- CHENG, C. H.; LEHMANN, J.; THIES, J. E.; BURTON, S. D.; ENGELHARD, M. H. Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. **Organic Geochemistry**, v. 37, n. 20, p. 1477-1488, 2006. DOI: 10.1016/j.orggeochem.2006.06.022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2006.06.022>. Acesso em: 6 set. 2022.
- COSTA, A. de F. da; BORGES, M. G.; MARANHO, J. M.; VIEIRA E SOUZA, G. de F. M.; GUIMARÃES, B. G.; OLIVEIRA, V. R. de. Desenvolvimento de rabanete (*Raphanus sativus* L.) sob sistema convencional de cultivo em resposta a diferentes fontes de matéria orgânica. *In*: **XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Natal: Centro de Convenções, Natal-RN, 2015. Disponível em: <https://www.sbcs.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/1192.pdf>. Acesso em: 28 set. 2022.
- COUTINHO NETO, A. M.; ORIOLI JÚNIOR, V.; CARDOSO, S. S.; COUTINHO, E. L. M. Produção de matéria seca e estado nutricional do rabanete em função da adubação nitrogenada e potássica. **Nucleus**, v.7, n.2, p.105-114, 2010. DOI: 10.3738/1982.2278-349. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4039043.pdf>. Acesso em: 23 out. 2022.

DEMIRBAS, A. Effects of temperature and particle size on bio-char yield from pyrolysis of agricultural residues. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 72, n. 2, p. 243-248, 2004. DOI: 10.1016/j.jaap.2004.07.003. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2004.07.003>. Acesso em: 24 out. 2022.

DONI, M. C. **Granja de frangos de corte**. Site: Portal Biossistemas Brasil: Biossistemas na avicultura. 2018. Disponível em: <http://www.usp.br/portaltbiossistemas/?p=8148>. Acesso em: 10 out. 2022.

DORNELAS, K. C.; MASCARENHAS, N. M. H.; RODRIGUES, H. C. S.; NASCIMENTO, R. T. do; BRITO, A. N. S. L. de; FURTADO, D. A.; NASCIMENTO, J. W. B. do. Chicken bed: a review on reuse, treatment and influence on ambience. **Poultry Science**, 2020. DOI: 10.1016/j.psj.2020.09.067. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.09.067>. Acesso em: 21 jul. 2022.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de Segurança e Qualidade para Avicultura de Postura**. 2004. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/18216/1/MANUALSEGURANCAQUALIDADEaviculturadepostura.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2022.

FERNANDES, J. M. B.; MELO, D. R. M. de; GOMES, M. V.; SOUSA, T. P. de; SILVA, E. B. da; LINHARES, P. C. F. Desempenho do rabanete sob diferentes quantidades e períodos de incorporação do mata-pasto (*Senna obtusifolia* L.) ao solo. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, Três Corações, v.12, n.2, p.921-930, 2014. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4901290.pdf>. Acesso em: 1 out. 2022.

FREITAS, L. A. R.; BERTOGLIO, O. A evolução da avicultura de corte brasileira após 1980. **Revista Economia e Desenvolvimento**, n. 13, p. 100-135, 2001. DOI: 10.5902/141465093426. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/141465093426>. Acesso em: 2 maio 2022.

FROEHLICH, P. L.; MOURA, A. B. D. Carvão vegetal: propriedades físico-químicas e principais aplicações. **Tecnologia e Tendências**, v. 9, n. 1, 2014. Disponível em: <https://periodicos.feevale.br/seer/index.php/revistatecnologiaetendencias/article/view/1329/2063#:~:text=A%20lignina%20contribui%20para%20a,et%20al.%2C%201991>. Acesso em: 13 out. 2022.

GASKIN, J.W.; SPEIR, A.; MORRIS, L. M.; OGDEN, L.; HARRIS, K.; LEE, D.; DAS, K. C. Potential for pyrolysis char to affect soil moisture and nutrient status of loamy sand soil. *In: Georgia Water Resources Conference*. University of Georgia, n. 3, p. 3, 2007. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1853/48168>. Acesso em: 6 out. 2022.

GLASER, B. Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 362, n. 1478, p. 187-196, 2007. DOI: 10.1098/rstb.2006.1978. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rstb.2006.1978>. Acesso em: 27 jul. 2022.

GLASER, B.; BALASHOV, E.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region. **Organic Geochemistry**, v. 31, n. 7-8, p. 669-678, 2000. DOI: 10.1016/S0146-6380(00)00044-9. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(00\)00044-9](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(00)00044-9). Acesso em: 20 out. 2022.

GLASER, B.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. The 'Terra Preta' phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. **Naturwissenschaften**, v. 88, n. 1, p. 37-41, 2001. DOI: 10.1007/s001140000193. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s001140000193>. Acesso em: 10 set. 2022.

GOETTEN, W. G.; SCARIOT, M. A.; BAADE, E. A. S.; PICOLI, K. P. Camas de aviário. *In: Anais da X FETEC Feira de Conhecimento Tecnológico e Científico*. Campus Rio do Sul. Campus Rio do Sul-SC: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense, Unidade de Ensino e Produção Zootecnia I (UEP - ZOO I), 2009. Disponível em: <https://publicacoes.ifc.edu.br/index.php/fetec>. Acesso em: 18 jun. 2022.

GONÇALVES, C. K. **Pirólise e combustão de resíduos plásticos**. 2007. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

GRABER, E. R.; HAREL, Y. M.; KOLTON, M.; CYTRYN, E.; SILBER, A.; DAVID, D. R.; TSECHANSKY, L.; BORENSHTEIN, M.; ELAD, Y. Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media. **Plant and Soil**, v. 337, p. 481-496, 2010. DOI: 10.1007/s11104-010-0544-6. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0544-6>. Acesso em: 19 ago. 2022.

GUITARRARA, P. **Biomassa**. Brasil Escola, 2022. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/biomassa.htm>. Acesso em: 13 nov. 2022.

HAHN, L. **Processamento da cama de aviário e suas implicações nos agroecossistemas**. 2004. 130 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

HAMEED, S.; SHARMA, A.; PAREEK, V.; WU, H.; YU, Y. A review on biomass pyrolysis models: Kinetic, network and mechanistic models. **Biomass and Bioenergy**, v. 123, p. 104-122, 2019. DOI: 10.1016/j.biombioe.2019.02.008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.02.008>. Acesso em: 13 set. 2022.

HANSTED, A. L. S. **Aproveitamento de cinzas de caldeira para calagem do solo**. 2020. 82 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2020.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores IBGE: Estatística da Produção Pecuária**, 2022. Disponível em: [https://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Pecuaria/Fasciculo\\_Indicadores\\_IBGE/abate-leite-couro-ovos\\_202201caderno.pdf](https://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Fasciculo_Indicadores_IBGE/abate-leite-couro-ovos_202201caderno.pdf). Acesso em: 22 out. 2022.

ISLAM, M. M.; KARIM, A. J. M. S.; JAIRUDDIN, M.; MAJID, N. M.; MIA, M. G.; AHMED, M. M.; HAKIN M. A. Effects of organic manure and chemical fertilizers on crops in the radish-stem amaranth-Indian spinach cropping pattern in homestead area. **Australian Journal of Crop Science**, vol. 5, n. 11, p. 1370-1378, 2011. Disponível em: [http://www.cropj.com/islam\\_5\\_11\\_2011\\_1370\\_1378.pdf](http://www.cropj.com/islam_5_11_2011_1370_1378.pdf). Acesso em: 15 out. 2022.

KERN, C. K.; KAMPF, N.; WOODS, W. I.; DENEVAN, W. M.; COSTA, M. L. da; FRAZÃO, F. J. L. Parte II - As Terras Pretas de Índio na Amazônia: Evolução do Conhecimento em Terra Preta de Índio. *In*: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. (org.). **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas**. 1. ed. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, p. 72-81, 2009. ISBN: 978-85-89111-06-5. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/>. Acesso em: 13 jul. 2022.

KRAMER, M. **Produção de cultivares de rabanete em função de plantas de cobertura em antecedência à semeadura**. 2018. 47 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Olericultura) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Goiânia, 2018.

LACERDA, J. J. de J.; RESENDE, A. V. de; FURTINI NETO, A. E.; HICKMANN, C.; CONCEIÇÃO, O. P. da. Adubação, produtividade e rentabilidade da rotação entre soja e milho em solo com fertilidade construída. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 9, p. 769-778, 2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015000900005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000900005>. Acesso em: 26 out. 2022.

LEHMANN, J. Bio-energy in the black. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 5, n. 7, p. 381-387, 2007. DOI: 10.1890/1540-9295(2007)5[381:BITB]2.0.CO;2. Disponível em: [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5\[381:BITB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[381:BITB]2.0.CO;2). Acesso em: 6 set. 2022.

LEHMANN, J.; CZIMCZIK, C.; LAIRD, D.; SOIH S. Chapter 11 - Stability of biochar in the soil. *In*: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (ed.). **Biochar for environmental management**. Science and Technology. London: Earthscan, p. 13-205, 2009. ISBN: 978-1-84407-65-1.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Chapter 1 - Biochar for environmental management: An introduction. *In*: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (ed.). **Biochar for environmental management**. Science and Technology. London: Earthscan, p. 1-12, 2009. ISBN: 978-1-84407-65-1.

LEHMANN, J.; SILVA JR, J. P. da; STEINER, C.; NEHLS, T.; ZECH, W.; GLASER, B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant and Soil**, v. 249, p. 343-357, 2003. DOI: 10.1023/A:1022833116184. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1022833116184>. Acesso em: 22 set. 2022.

LEI, H.; REN, S.; JULSON, J. The effects of reaction temperature and time and particle size of corn stover on microwave pyrolysis. **Energy & Fuels**, v. 23, n. 6, p. 3254-3261, 2009. DOI: 10.1021/ef9000264. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ef9000264>. Acesso em: 6 nov. 2022.



LEME, P. R.; BOIN, C. **Utilização da cama de frango na alimentação de bovinos.** Beefpoint, 2000. Disponível em: <https://www.beefpoint.com.br/utilizacao-da-cama-de-frango-na-alimentacao-de-bovinos-parte13-4794/>. Acesso em: 16 abr. 2023.

LEMISKA, A.; PAULETTI, V.; TERNOSKI, G. D.; PIERRI, L. de. Efeito da calagem na saturação por bases, alumínio do solo e na produção de frutas do morangueiro. *In: XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*. Florianópolis: Costão do Santinho Resort, Florianópolis-SC, 2013. Disponível em: <https://eventosolos.org.br/cbcs2013/anais/arquivos/1648.pdf> Acesso em: 28 set. 2022.

LOPES, H. L. S.; SAMPAIO, A. S. de O.; SOUSA, A. C. P. de; LIMA, D. C.; SOUTO, L. S.; SILVA, A. M. da; MARACAJÁ, P. B. Crescimento inicial da cultura do rabanete (*Raphanus sativus* L.) submetida a níveis e fontes de fertilizantes orgânicos. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 19-24, 2019. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RBGA/article/view/6152/6327>. Acesso em: 22 out. 2022.

LUCA, G. **Granja de postura.** Site: O Presente Rural. 2019. Disponível em: <https://opresenterural.com.br/granja-de-postura-de-meio-seculo-aposta-em-bem-estar-anim/>. Acesso em: 10 out. 2022.

MACHADO, P. L. de A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005. DOI: 10.1590/S0100-40422005000200026. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422005000200026>. Acesso em: 3 ago. 2022.

MADARI, B. E.; MAIA, C. M. B. F.; NOVOTNY, E. H. Context and importance of biochar research. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 5, p. 1-2, 2011. DOI: 10.1590/S0100-204X2012000500001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000500001>. Acesso em: 18 set. 2022.

MAIA, P. M. E. de; AROUCHA, E. M. M.; SILVA, M. O. P. da; SILVA, R. C. P. da; OLIVEIRA, F. A. de. Desenvolvimento e qualidade do rabanete sob diferentes fontes de potássio. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.6, n.1, p.148-153, 2011. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/531>. Acesso em: 15 out. 2022.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instrução Normativa nº 41 de 08-10-2009.** Disponível em: <https://www.defesa.agricultura.sp.gov.br/legislacoes/instrucao-normativa-mapa-41-de-08-10-2009,855.html>. Acesso em: 7 ago. 2022.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instrução Normativa nº 10 de 19-03-2010.** Disponível em: <https://www.defesa.agricultura.sp.gov.br/legislacoes/instrucao-normativa-mapa-10-de-19-03-2010,881.html>. Acesso em: 7 ago. 2022.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – SECRETARIA DE POLÍTICA AGRÍCOLA. **Projeções do Agronegócio, Brasil 2019/20 a 2029/30**. Disponível em: [https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio\\_2019\\_20-a-2029\\_30.pdf](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio_2019_20-a-2029_30.pdf). Acesso em: 7 abr. 2023.

MARCELINO, I. P. **Digestato, biocarvão e *Azospirillum brasilense***: Efeitos nos atributos químicos do solo e no crescimento do milho crioulo. 2020. 101 f. Dissertação (Mestrado em Agrossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

MARCELINO, I. P.; LOSS, A.; ANDRADE, M. A. N. de. Potencialidades do uso do biochar para melhoria dos atributos edáficos. *In*: MAGNONI JÚNIOR, L.; FREITAS, C. M. de; LOPES, E. S. S.; CASTRO, G. R. B.; BARBOSA, H. A.; LONDE, L. R.; MAGNONI, M. G. M.; SILVA, R. S.; TEIXEIRA, T.; FIGUEIREDO, W. S. (org.). **Redução do risco de desastres ambientais no meio rural e urbano**. 2. ed. São Paulo: Centro Paula Souza, p. 584-601, 2020. ISBN: 978-65-87877-12-9. Disponível em: [https://www.agbbauru.org.br/publicacoes/Reducao2020/Reducao\\_2ed-2020.pdf](https://www.agbbauru.org.br/publicacoes/Reducao2020/Reducao_2ed-2020.pdf). Acesso em: 26 out. 2022.

MASUD, M. M.; BAQUY, M. A.; AKHTER, S.; SEN, R.; BARMAN, A.; KHATUN, M. R. Liming effects of poultry litter derived biochar on soil acidity amelioration and maize growth. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 202, 110865, 2020. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.110865. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110865>. Acesso em: 03 nov. 2022.

MATOS, R. M. de; SILVA, P. F. da; LIMA, S. C. de; CABRAL, A. de A.; DANTAS NETO, J. Partição de assimilados em plantas de rabanete em função da qualidade da água de irrigação. **Journal of Agronomic Sciences**, Umarama, v.4, n.1, p.151-164, 2015. Disponível em: <https://docplayer.com.br/74787918-Particao-de-assimilados-em-plantas-de-rabanete-em-funcao-da-qualidade-da-agua-de-irrigacao.html>. Acesso em: 2 nov. 2022.

MATTOS, B. B.; RAMOS, P. P. F. R.; de MEDEIROS, V. C. A.; CAMPOS, D. V. B.; STRALLIOTO, R.; TEIXEIRA, P. C. Fertilizante organomineral a base de cama de frango: dinâmica da absorção de água. *In*: **Anais da FertBio, 2016**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Goiânia: Centro de Convenções de Goiânia-GO, 2016. ISBN: 978-85-86504-15-0. Disponível em: <https://sbc.org.br/fertbio2016/anais/home/>. Acesso em: 5 ago. 2022.

MCLAUGHLIN, H.; ANDERSON, P. S.; SIHELDS, F. E.; REED, T. B. All biochar are not created equal, and hot o tell them apart. *In*: **North American Biochar Conference**. Boulder, CO, 2009. Disponível em: <https://terrapreta.bioenergylists.org/content/all-biochars-are-not-created-equal-and-how-tell-them-apart>. Acesso em: 25 set. 2022.

MELO, L. C. A.; COSCIONE, A. R.; ABREU, C. A.; PUGA, A. P.; CAMARGO, O. A. Influence of pyrolysis temperature on cadmium and zinc sorption capacity of sugar cane straw-derived biochar. **Bioresources**. v. 8, n. 4, p. 4992-5004, 2013. Disponível em: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/influence-of-pyrolysis-temperature-on-cadmium-and-zinc-sorption-capacity-of-sugar-cane-straw-derived-biochar/>. Acesso em: 12 out. 2022.

- MIGOTTO, D. L. **Efeito da reutilização da cama de frango no conforto térmico das aves e seu uso como fertilizante para a cultura do milho**. 2020. 117 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Veterinária e Zootecnia, Goiânia, 2020.
- MINAMI, K.; TESSARIOLI NETO, J. **Rabanete: cultura rápida para temperaturas amenas e solos areno-argilosos**. Piracicaba: ESALQ – Divisão de Biblioteca e Documentação, 27 p. 1997. ISSN: 1414-4530. (Série Produtor Rural, 4).
- MUKHERJEE, A.; ZIMMERMAN, A. R.; HARRIS, W. Surface chemistry variations among a series of laboratory-produced biochars. **Geoderma**, v. 163, n. 3-4, p. 247-255, 2011. DOI: 10.1016/j.geoderma.2011.04.021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.04.021>. Acesso em: 8 out. 2022.
- NAKASHIMA, G. T. **Production, soil amendment and sustainability of sugarcane trash biochar**. 2020. 91 f. Tese (Doutorado em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2020.
- NEITZKE, G. **Geração elétrica distribuída a partir da gaseificação de peletes de cama de aviário**. 2010. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Mecânicas) – Universidade de Brasília, Brasília, 2010.
- NÓBREGA, I. P. C. **Efeitos do biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: sequestro de carbono no solo**. 2011. 46 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011.
- NOVAK, J. M.; LIMA, I.; XING, B.; GASKIN, J. W.; STEINER, C.; DAS, K. C.; AHMEDNA, M.; REHRAH, D.; WATTS, D. W.; BUSSCHER, W. J.; SCHOMBERG, H. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. **Annals of Environmental Science**, v. 3, p. 195-206, 2009. Disponível em: <https://openjournals.neu.edu/aes/journal/article/view/v3art5>. Acesso em: 22 ago. 2022.
- OLIVEIRA, G. Q. de; BISCARO, G. A.; MOTOMIYA, A. V. de A.; JESUS, M. P. de; VIEIRA FILHO, P. S. Aspectos produtivos do rabanete em função da adubação nitrogenada com e sem hidrogel. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, vol. 3, n. 1, p. 89-100, 2014. Disponível em: <https://docplayer.com.br/50987124-Aspectos-produtivos-do-rabanete-em-funcao-da-adubacao-nitrogenada-com-e-sem-hidrogel.html>. Acesso em: 1 nov. 2022.
- OLIVEIRA, M. D. L. **Avaliação das fezes de galinhas poedeiras e de sua associação com o bagaço de cana-de-açúcar hidrolisado na alimentação de bovinos**. 1991. 108 f. Tese (Doutorado em Produção Animal) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1991.
- ORTOLANI, E. L.; BRITO, L. A. B. Enfermidades causadas pelo uso inadequado de "cama-de-frango" na alimentação de ruminantes. **Revista do Conselho Federal de Medicina Veterinária**, Brasília, v. 7, n. 22, p. 41-48, 2001. Disponível em: <https://www.cfmv.gov.br/wp-content/uploads/2018/10/Revista-CFMV-Edi%C3%A7%C3%A3o-22-2001.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2022.

OVIEDO-RONDON, E. O. Tecnologias para mitigar o impacto ambiental da produção de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 239-252, 2008. DOI: 10.1590/S1516-35982008001300028. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008001300028>. Acesso em: 15 out. 2022.

PEREIRA, M. E.; VARANDA, L. D.; CARVALHO, N. R. de; SETTE JR, C. R.; PADUA, F. A. de; CONTI, A. C. de; YAMAJI, F. M. Biochar produced from poultry litter waste. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, p. e3511011119704, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i11.19704. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i11.19704>. Acesso em: 12 out. 2022.

PEREIRA, M. E.; VARANDA, L. D.; NAKASHIMA, G. T; HANSTED, A. L. S.; SILVA, D. A.; TOMELERI, J. O. P.; BELINI G. B.; YAMAJI, F. M. Caracterização da biomassa de cama de frango para fabricação de biochar. **Revista Virtual de Química**, v. 11, n. 4, p. 1330-1343, 2019. DOI: 10.21577/1984-6835.20190092. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20190092>. Acesso em: 3 maio 2022.

PETTER, F. A.; MADARI, B. E. Biochar: Agronomic, and environmental potential in Brazilian savannah soils. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V. 16, n. 7, p. 761-768, 2012. DOI: 10.1590/S1415-43662012000700009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000700009>. Acesso em: 24 out. 2022.

PINHEIRO, P. C. C.; SAMPAIO, S. S.; BASTOS FILHO, J. G. **Fundamentos e prática da carbonização de biomassa**. Congresso Internacional de Metais e Geração de Eletricidade, Belo Horizonte: Autores, 2001. Disponível em: <https://scholar.google.com.br/citations?user=e4aOYc4AAAAJ&hl=en>. Acesso em: 13 jul. 2022.

PIRES, I. C. S A. **Produção e caracterização de biochar de palha de cana-de-açúcar (*Saccharun* sp.)**. 2017. 42 f. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2017.

PULITI, J. P. M.; REIS, H. B.; PAULINO, H. D. M.; RIBEIRO, T. C. M.; TEIXEIRA, M. Z.; CHAVES, A. S.; RIBEIRO, B. R.; MACIEIRA, G. A. A.; YURI, J. E. Comportamento da cultura do rabanete em função de fontes e doses de cálcio. **Horticultura Brasileira**, v.27, p.3003-3008, 2009. Disponível em: [http://www.abhorticultura.com.br/EventosX/Trabalhos/EV\\_3/A2137\\_T3918\\_Comp.pdf](http://www.abhorticultura.com.br/EventosX/Trabalhos/EV_3/A2137_T3918_Comp.pdf). Acesso em: 14 out. 2022.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van. Capítulo 6 - Correção da acidez do solo. *In*: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo - IAC, p. 14-19, 1997. ISSN: 0100-3100. (Boletim Técnico IAC, 100).

RODRIGUES, J. F.; REIS, J. M. R.; REIS, M. de A. Utilização de esterco em substituição a adubação mineral na cultura do rabanete. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 7, n. 2, p. 160-168, 2013. DOI: 10.0000/rtcab.v7i2.1110. Disponível em: <https://doi.org/10.0000/rtcab.v7i2.1110>. Acesso em: 3 out. 2022.

ROGERI, D. A.; ERNANI, P. R.; MANTOVANI, A.; LOURENÇO, K. S. Composition of poultry litter in southern Brazil, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, e140697, 2016. DOI: 10.1590/18069657rbcS20140697. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcS20140697>. Acesso em: 04 out. 2022.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 26 p. 2010. ISSN: 1806-3322. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/882598/conceitos-de-fertilidade-do-solo-e-manejo-adequado-para-as-regioes-tropicais>. Acesso em: 22 out. 2022.

SANTOS, J. L. S. **Biocarvão como condicionador da fertilidade e da microbiota de solo de cerrado cultivado com soja**. 2013. 102 f. Tese (Doutorado em Agronomia, área de concentração: solo e água) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

SANTOS, K. G. **Aspectos fundamentais da pirólise de biomassa em leito de jorro: fluidodinâmica e cinética do processo**. 2011. 235 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, 2011.

SCHEUFELE, F. B. **Biomassa**. Palotina: Universidade Federal do Paraná, 56 p, 2017. Disponível em: [https://palotina.ufpr.br/bioenergia/wp-content/uploads/sites/5/2017/05/Fabiano\\_Bisinella\\_Scheufele\\_2017-PPGB-Biomassa.pdf](https://palotina.ufpr.br/bioenergia/wp-content/uploads/sites/5/2017/05/Fabiano_Bisinella_Scheufele_2017-PPGB-Biomassa.pdf). Acesso em: 13 nov. 2022.

SCHMIDT, M. W. I.; SKJEMSTAD, J. O.; JAGER C. Carbon isotope geochemistry and nanomorphology of soil black carbon: Black chernozemic soils in central Europe originate from ancient biomass burning. **Global Biogeochemistry Cycles**, v. 16, n. 4, p. 70(1)-70(8), 2002. DOI: 10.1029/2002GB001939. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2002GB001939>. Acesso em: 12 set. 2022.

SCHNITZER, M.; MONREAL, C. M.; JANDL, G. The conversion of chicken manure to biooil by fast pyrolysis. III. Analyses of chicken manure, biooils and char by Py-FIMS and Py-FDMS. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 43, n. 1, p. 81-95, 2008. DOI: 10.1080/0361230701735185. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/0361230701735185>. Acesso em: 10 maio 2022.

SILVA, E. N.; BARROS, A. L. **Tratamento de cama de frangos de corte**. Cinergis Saúde e Nutrição Animal, 2020. Disponível em: <https://www.cinergis.com.br/publicacoes/tratamento-cama-frangos-corte/>. Acesso em: 25 set. 2023.

SILVA, G. P.; MARQUES, S. M. T. Impacto dos maus odores decorrentes da suinocultura na saúde de moradores rurais no município de Concórdia, Santa Catarina, Brasil. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 3, n. 2, p. 135-141, 2004. Disponível em: <https://revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/5424/3624>. Acesso em: 8 maio 2022.

SILVA, L. F. de O. da; CAMPOS, K. A.; MORAIS, A. R. de; COGO, F. D.; ZAMBON, C. R. Tamanho ótimo de parcela para experimentos com rabanetes. **Revista Ceres**, vol. 59, n. 5, p. 624-629, 2012. DOI: 10.1590/S0034-737X2012000500007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2012000500007>. Acesso em: 21 out. 2022.

SILVA, P. F. da; MATOS, R. M. de; ALENCAR, A. E. V. de; DANTAS JUNIOR, G. J.; DANTAS NETO, J. Respostas de plantas de rabanete a adubação orgânica. *In: Resumos do IX Congresso Brasileiro de Agroecologia*. Belém: Cadernos de Agroecologia, v. 10, n. 3, Belém-PA, 2015. ISSN: 2236-7934. Disponível em: [SIMS J. T.; WOLF, D. C. Poultry waste management: agricultural and environmental issues. \*Advances in Agronomy\*, v. 52, p. 1-83, 1994. DOI: 10.1016/S0065-2113\(08\)60621-5. Disponível em: \[https://doi.org/10.1016/S0065-2113\\(08\\)60621-5\]\(https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60621-5\). Acesso em: 18 jan. 2022.](https://revistas.aba-agroecologia.org.br/cad/article/view/17246#:~:text=O%20h%C3%BAmus%20de%20minhoc a%20proporcionou,em%20substitui%C3%A7%C3%A3o%20aos%20fertilizantes%20minerai s. Acesso em: 28 set. 2022.</a></p>
</div>
<div data-bbox=)

SINGH, B.; SINGH, B. P.; COWIE, A.L. Characterization and evaluation of biochars for their application as soil amendment. *Australian Journal of Soil Research*, v.48, n. 7, p. 516-525, 2010. DOI: 10.1071/SR10058. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1071/SR10058>. Acesso em: 15 set. 2022.

SINGH, B. P.; HATTON, B. J.; BALWANT, S.; COWIE, A. L.; KATHURIA, A. Influence of biochars on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils. *Journal of Environment Quality*, v. 39, n. 4, p. 1224-1235, 2010. DOI: 10.2134/jeq2009.0138. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/jeq2009.0138>. Acesso em: 13 set. 2022.

SOHI, S. P.; KRULL, E.; LOPEZ-CAPEL, E.; BOL, R. Chapter 2 - A review of biochar and its use and function in soil. *Advances in Agronomy*, v. 105, p. 47-82, 2010. DOI: 10.1016/S0065-2113(10)05002-9. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)05002-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)05002-9). Acesso em: 23 out. 2022.

SOLDERA, G. M. C. **Degradação do carbono e efeitos da aplicação de biocarbão de resíduos de aviário em latossolo**. 2016. 50 f. Monografia (Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.

SONG, W.; GUO, M. Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v.94, p.138-145, 2012. DOI: 10.1016/j.jaap.2011.11.018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2011.11.018>. Acesso em: 15 set. 2022.

SOUSA, A. A. T. C. de. **Biochar de lodo de esgoto: efeitos no solo e na planta no cultivo de rabanete**. 2015. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

SOUSA, W. F. de. **Níveis e fontes de fertilização orgânica na cultura do rabanete (*Raphanus sativus* L.)**. 2017. 28 f. Monografia (Bacharel em Agronomia) – Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2017.

SOUZA, M. D. B.; NASCIMENTO, A. D.; RAMOS, A. B.; MARQUES, N. D.; SILVA, R. F. da. Produção orgânica de rabanete sob diferentes fontes de adubos orgânicos. *In: IV Seminário de Agroecologia de Mato Grosso do Sul*. Campo Grande: Cadernos de Agroecologia, v. 7, n. 2, Campo Grande-MS, 2012. ISSN: 2236-7934. Disponível em: <https://revistas.aba-agroecologia.org.br/cad/article/view/13142/8746>. Acesso em: 28 set. 2022.

SPOKAS, K. A.; CANTRELL, K. B.; NOVAK, J. M.; ARCHER, D. W.; IPPOLITO, J. A.; COLLINS, H. P.; BOATENG, A. A.; LIMA, I. M.; LAMB, M. C.; MCALOON, A. J.; LENTZ, R. D.; NICHOLS, K. A. Biochar: a synthesis of its agronomic impact beyond carbon sequestration. *Journal of Environmental Quality*, v. 41, n.4, p. 973-989, 2011. DOI:10.2134/jeq2011.0069. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/jeq2011.0069>. Acesso em: 20 set. 2022.

STEINER, C.; TEIXEIRA, W. G.; LEHMANN, J.; NEHLS, T.; MACÊDO, J. L. V.; BLUM, W. E. H.; ZECH, W. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant and Soil*, v. 291, p. 275-290, 2007. DOI: 10.1007/s11104-007-9193-9. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9193-9>. Acesso em: 30 ago. 2022.

STEINER, F.; PINTO JUNIOR, A. S.; ZOZ, T.; GUIMARÃES, V. F.; DRANSKI, J. A. L.; RHEINHEIMER, A. R. Germinação de sementes de rabanete sob temperaturas adversas. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.4, n.4, p.430-434, 2009. DOI: 10.5039/agraria.v4i4a10. Disponível em: <https://doi.org/10.5039/agraria.v4i4a10>. Acesso em: 13 out. 2022.

TESSARO, A. A. **Potencial Energético da Cama de Aviário Produzida na Região Sudoeste do Paraná Utilizada como Substrato para a Produção de Biogás**. 2011. 79 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Desenvolvimento de Tecnologia), Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC) e Instituto de Engenharia do Paraná (IEP), Curitiba, 2011.

THIES, J. E.; RILLIG, M. C. Chapter 6 - Characteristics of biochar: biological properties. *In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (ed.). Biochar for environmental management: science and technology*. London: Earthscan, p. 85-105, 2009. ISBN: 978-1-4407-65-1.

TRANI, P. E.; PASSOS, F. A.; TAVARES, M.; AZEVEDO FILHO, J. A. de. Capítulo 18.11 - Beterraba, cenoura, nabo, rabanete e salsa. *In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (ed.). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo - IAC, p. 174-174, 1997. ISSN: 0100-3100. (Boletim Técnico IAC, 100).

TRANI, P. E.; RAIJ, B. van. Capítulo 18 - Hortaliças. *In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (ed.). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo - IAC, p. 157-185, 1997. ISSN: 0100-3100. (Boletim Técnico IAC, 100).

TRANI, P. E.; TRANI, A. L. **Fertilizantes: cálculo de fórmulas comerciais**. Campinas: Instituto Agronômico - IAC, 29 p. 2011. ISSN: 1809-7936. (Boletim Técnico IAC, 208). Disponível em: <https://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/arquivos/iacbt208.pdf>. Acesso em: 22 out. 2022.

VICIEDO, D. O.; PRADO, R. de M.; TOLEDO, R. L.; SANTOS, L. C. N. dos; CALZADA, K. P. Response of radish seedlings (*Raphanus sativus* L.) to different concentrations of ammoniacal nitrogen in absence and presence of silicon. **Agronomía Colombiana**, v. 35, n. 2, p. 198–204, 2017. DOI: 10.15446/agron.colomb.v35n2.62772. Disponível em: <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v35n2.62772>. Acesso em: 30 set. 2022.

VIEIRA, M. F. A. **Caracterização e análise da qualidade sanitária de camas de frango de diferentes materiais reutilizados sequencialmente**. 2011. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2011.

VILARINO, C. **Fazenda é flagrada oferecendo “cama de frango” na alimentação de bovinos em MG**. Globo Rural, 2021. Disponível em: <https://globo rural.globo.com/Noticias/Criacao/Boi/noticia/2021/09/fazenda-e-flagrada-oferecendo-esterco-de-galinha-na-alimentacao-de-bovinos-em-mg.html>. Acesso em 15 abr. 2023.

WALENDORFF, R. **SP: fiscalização encontra bovinos alimentados com cama de frango**. Site: Canal Rural, 2018. Disponível em: <https://canalrural.uol.com.br/noticias/pecuaria/boi/sp-fiscalizacao-encontra-bovinos-alimentados-com-cama-de-frango/>. Acesso em: 25 ago. 2022.

WOOLF, D. Biochar as a soil amendment: A review of the environmental implications. **Swansea University, School of the Environment and Society**, p. 1-31, 2008. Disponível em: <http://orgprints.org/13268/>. Acesso em: 13 ago. 2022.

ZWIETEN, L. van; KIMBER, S.; MORRIS, S.; CHAN, K. Y.; DOWNIE, A.; RUST, J.; JOSEPH, S.; COWIE, A. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. **Plant and Soil**, v. 327, p. 235-246, 2010. DOI: 10.1007/s11104-009-0050-x. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0050-x>. Acesso em: 14 ago. 2022.



## **CAPÍTULO 2 – PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO BIOCHAR DA BIOMASSA DE CAMA DE FRANGO**

### **Resumo**

O Brasil é um grande produtor de frango de corte e um dos principais exportadores. No entanto, quantidades consideráveis de cama de frango também são geradas anualmente no Brasil devido à crescente demanda e produção de frangos de corte, causando preocupações para os avicultores, como o descarte inadequado, que pode causar poluição ambiental. O objetivo deste estudo foi avaliar a produção e caracterizar o biochar de da cama de frango em escala piloto, para posterior utilização em experimento de campo com aplicação no solo. Aproximadamente 23,5 kg de resíduos de cama de frango foram usados para a pirólise, que foi realizada a 450 °C, taxa de aquecimento de 20 °C min<sup>-1</sup> e tempo de residência de 6 h. Após produzido o biochar, foi verificado seu rendimento gravimétrico, e foi submetido à análise imediata, microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia por energia dispersiva. Os resultados mostraram que, com maior equipamento, foi necessário um tempo de residência mais longo para a pirólise completa do material. O rendimento gravimétrico foi de 38,38%, teor de umidade de 4,49%, teor de voláteis de 24,11%, teor de cinzas de 34,40% e teor de carbono fixo de 41,49%. A análise de microscopia eletrônica de varredura mostrou que o biochar de cama de frango é um material muito heterogêneo e multiforme, apresentando também características de macroporos. A análise de espectroscopia por energia dispersiva possibilitou estabelecer uma análise semiquantitativa do biochar e das cinzas de biochar, não mostrando metais pesados em sua composição. As análises apresentaram a qualidade do biochar de cama de frango com relação às suas características de rendimento e análise imediata, bem como sua composição, o que permitiu verificar que a cama de frango é um material adequado para a produção de biochars para aplicação no solo.

Palavras-chave: Biochar. Resíduos. Cama de frango. Rendimento. Pirólise

### Abstract

Brazil is a major broiler producer and one of the main exporters. However, considerable amounts of poultry litter are also generated annually in Brazil due to the growing demand and production of broilers, causing concerns for poultry farmers, such as improper disposal, which can cause environmental pollution. The aim of this study was to evaluate the production and characterization of biochar from chicken litter on a pilot scale, for later use in a field experiment with soil application. Approximately 23.5 kg of chicken litter waste was used for the pyrolysis, which was carried out at 450 °C, heating rate of 20 °C min<sup>-1</sup> and a residence time of 6 hours. Once the biochar had been produced, its gravimetric yield was checked and it was subjected to immediate analysis, scanning electron microscopy and energy dispersive spectroscopy. The results showed that, with the larger equipment, a longer residence time was required for complete pyrolysis of the material. The gravimetric yield was 38.38%, moisture content 4.49%, volatile content 24.11%, ash content 34.40% and fixed carbon content 41.49%. Scanning electron microscopy analysis showed that chicken litter biochar is a very heterogeneous and multiform material, also showing characteristics of macro-pores. Energy dispersive spectroscopy analysis made it possible to establish a semi-quantitative analysis of the biochar and biochar ash, showing no heavy metals in their composition. The analyses showed the quality of chicken litter biochar in terms of its yield characteristics and immediate analysis, as well as its composition, which made it possible to verify that chicken litter is a suitable material for producing biochars for application in the soil.

Keywords: Biochar. Waste. Poultry litter. Gravimetric yield. Pyrolysis.

## 2.1 INTRODUÇÃO

A avicultura de corte tem destaque na pecuária brasileira, sendo uma atividade de grande importância na economia do país (Dornelas *et al.*, 2020). A produção foi de 14,33 milhões de toneladas durante o ano de 2021 (ABPA, 2023) e 14,57 milhões de toneladas em 2022 (Avisite, 2023), sendo cerca de 3,76 milhões de toneladas apenas no primeiro trimestre de 2022 (IBGE, 2022). Entretanto, a avicultura de frangos de corte gera uma quantidade substancial de resíduos, como a cama de frango, preocupando os avicultores com relação ao descarte desse material (Dornelas *et al.*, 2020; Masud *et al.*, 2020).

De acordo com Song e Guo (2012) e Vieira (2011), a cama de frango é um resíduo sólido, gerado durante o processo de criação de frango de corte, contendo penas e excretas das aves, rações e água residuais desperdiçados durante a alimentação, além do material absorvente, que geralmente é serragem de madeira. Segundo Grimes, Smith e Williams (2019), Garcês *et al.* (2017) e Rogeri *et al.* (2016), o material absorvente pode conter resíduos agrícolas como cascas de amendoim, cascas de arroz, cascas de café, capim seco e espigas de milho trituradas.

Conforme Voss-Rech *et al.* (2017) e Benevides *et al.* (2016), a produtividade dos frangos de corte pode ser afetada pela qualidade da cama de frango. Segundo os autores, o reaproveitamento da cama para criação de vários lotes de frangos, pode gerar vários problemas de saúde nas aves, incluindo a proliferação de microorganismos, principalmente em função da umidade.

A partir da criação de dois lotes de frangos, a cama de frango pode apresentar teor de umidade de cerca de 22%, considerada alta para iniciar um novo lote de criação de frangos (Pereira *et al.*, 2019; Virtuoso *et al.*, 2015), por esse motivo é considerada resíduo do processo de criação de frangos de corte. Vieira (2011) também observou que níveis considerados inseguros sanitariamente relacionados à cama de frango começaram a ocorrer a partir do final do segundo ciclo de criação de frangos de corte.

Quando não é mais possível o reaproveitamento da cama de frango na produção de frangos de corte, ela é geralmente utilizada como fertilizante orgânico por possuir quantidades significativas de nutrientes, tais como o nitrogênio, fósforo e potássio, entre outros (Andrade *et al.*, 2015; Fukayama, 2008; Virtuoso *et al.*, 2015).

A utilização da biomassa de cama de frango como fertilizante, quando em excesso pode causar vários impactos ambientais, tais como a contaminação do solo e das águas subterrâneas em função da quantidade de matéria orgânica contida na biomassa e a presença de

microorganismos patogênicos (Faridullah *et al.*, 2008; Kyakuwaire *et al.*, 2019; Macklin; Hess; Bilgili, 2008).

Essas preocupações apontam para uma alternativa viável e ambientalmente segura: a pirólise da biomassa, gerando um bioproduto, o biochar (Masud *et al.*, 2020; Sweeten *et al.*, 2003). A geração de bioprodutos a partir de resíduos de biomassa é um caminho para auxiliar na minimização dos efeitos das mudanças climáticas (Usmani *et al.*, 2021; Tripathi *et al.*, 2019; Song; Guo, 2012).

Entre os vários tipos de biomassa, os de origem animal como a cama de frango, têm um potencial significativo para a geração de bioprodutos (Tanczuk *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2008). E a cama de frango apresenta características com potencial para a produção de biochar (Pereira *et al.*, 2019). A pirólise da biomassa de cama de frango para fins de obtenção de biochar também representa o benefício da reciclagem do resíduo na agricultura, além do sequestro de carbono (Andrade *et al.*, 2015).

Biochar, segundo Chan *et al.* (2008), é um termo que se refere ao carvão produzido a partir de biomassa e está associado à aplicação no solo. É um material rico em carbono, gerado através do processo de pirólise da biomassa (Chan *et al.*, 2008; Nakashima, 2020).

A pirólise da biomassa é um processo de degradação térmica com muito pouco ou nenhum oxigênio e pode ser realizada em diferentes condições de temperatura e diferentes tempos de residência (Santos, 2011). Segundo Lei, Ren e Julson (2009) e Nóbrega (2011), são variáveis que afetam diretamente o tipo de biochar produzido e a proporção das fases sólida, líquida e gasosa.

O objetivo deste capítulo foi a produção, em escala piloto, e caracterizar o biochar a partir da biomassa de cama de frango para posterior utilização em experimento em campo.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

A produção do biochar e análises laboratoriais foram realizados nos Laboratórios de Biomassa e Bioenergia da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), *campus* Sorocaba-SP.

### 2.2.1 Material

A biomassa de cama de frango utilizada neste estudo foi coletada após criação de dois lotes de frangos (ciclo compreendido entre 90 e 110 dias). Esse material não é indicado para iniciar um novo lote na avicultura de corte, em função da alta umidade (Pereira *et al.*, 2019; Virtuoso *et al.*, 2015).

### 2.2.2 Coleta e Preparação do Material

Foram coletados cerca de 40 kg de biomassa de cama de frango em uma granja de frangos de corte, localizada no município de Quadra-SP. A biomassa, após o ciclo de criação de dois lotes de frangos, passou por procedimento de trituração, através de trator equipado com triturador modelo BCA-1200 da LUMA (Figura 2A), e de enleiramento, cobertura com lona plástica e fermentação natural por cerca de 14 dias (Figura 2B). O tempo mínimo indicado para fermentação é de 7 a 10 dias (Flores *et al.*, 2009; Silva; Barros, 2020). Após esses processos, o resíduo de cama de frango foi acondicionado em sacos de rafia por aproximadamente 60 dias.

Figura 2 - A) Trituração da cama de frango; B) Cama de frango enleirada e coberta com lona para fermentação.



Fonte: Adaptado de Silva e Barros (2020).

A biomassa foi seca com ventilação natural ao sol conforme Souza e Silva *et al.* (2008) até atingir massa constante. Em seguida, a cama de frango foi submetida a um segundo processo de trituração com o auxílio de uma ensiladeira de cana e milho, modelo GTE-3000M da GARTHEN, reduzindo as partículas para 5 a 10 mm de diâmetro. Depois, a biomassa foi armazenada em baldes (Figura 3) e levada ao laboratório.

Figura 3 - Cama de frango armazenada no balde.



Fonte: Próprio autor.

Após, a biomassa foi triturada com o auxílio de um moinho de rotor vertical com facas móveis e fixas do tipo Willey da MARCONI, modelo MA340 com a utilização de uma peneira de 10 mesh, sendo a malha com abertura de 2 mm. Esse tamanho foi escolhido para melhorar a distribuição granulométrica das partículas, com o intuito de auxiliar no processo de pirólise e posteriores ensaios de caracterização.

### 2.2.3 Produção do Biochar

Após a preparação, aproximadamente 23,5 kg de massa seca da biomassa foi levada para o laboratório para o processo de pirólise para produção de biochar. A pirólise foi realizada num equipamento maior (forno mufla da JUNG, modelo JP04290). A biomassa foi acondicionada numa caixa de aço (comprimento: 30 cm, largura: 20 cm e altura: 30 cm) com tampa e adaptada ao forno mufla (Figura 4). A caixa teve uma capacidade de aproximadamente

6 kg de biomassa de cama de frango. Foram feitas 4 parcelas, produzindo, no total, cerca de 9 kg de biochar.

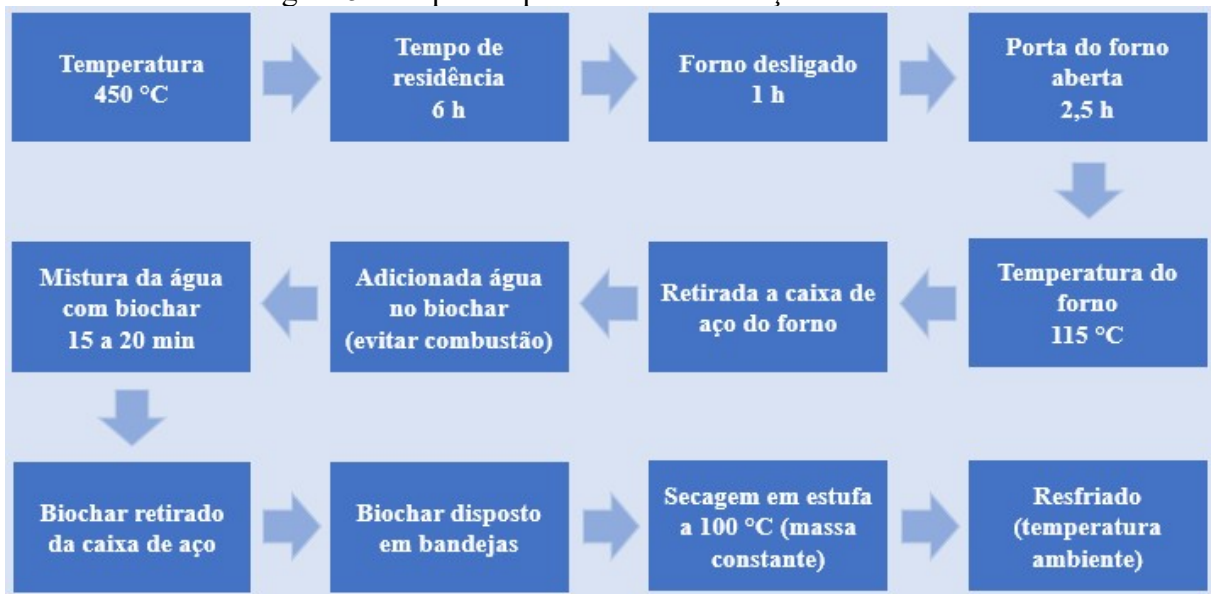
Figura 4 - Caixa de aço adaptada ao forno mufla.



Em destaque: a caixa de aço dentro do forno mufla.  
Fonte: Próprio autor.

O biochar foi produzido com temperatura de 450°C e taxa de aquecimento de 20 °C min<sup>-1</sup>, condições definidas através de estudos prévios com a mesma biomassa (Pereira *et al.*, 2021). O tempo de residência, necessário para garantir a pirólise completa do material, foi de 6 horas (definido em testes preliminares). Os procedimentos foram realizados conforme a Figura 5:

Figura 5 - Etapas do processo de fabricação do biochar.



Fonte: Próprio autor.

Após o processo, o biochar foi armazenado em baldes (Figura 6) para aplicação em experimento em campo (Cap. 3).

Figura 6 - Biochar armazenado no balde.



Fonte: Próprio autor.

#### 2.2.4 Rendimento Gravimétrico

O biochar produzido foi pesado para determinação do rendimento gravimétrico que foi obtido a partir da Equação 1:



$$rg (\%) = \frac{mf}{mi} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

rg = rendimento gravimétrico (%);

mi = massa inicial seca de cama de frango (g);

mf = massa final de biochar (g).

### 2.2.5 Análise Imediata

Foi realizada a análise imediata do biochar (teor de umidade, teor de voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo).

#### *Teor de Umidade*

A determinação do teor de umidade do biochar foi realizada em cada uma das parcelas produzidas com o auxílio de uma balança determinadora de umidade da MARCONI, modelo ID200.

#### *Teor de Voláteis*

As determinações dos teores de voláteis e cinzas, foram adaptadas ao biochar a partir da norma ASTM – American Society for Testing and Materials, D1762-84 (2021). As análises foram realizadas com o auxílio de um forno mufla da JUNG, modelo LF00212, com as amostras secas e em triplicatas. Previamente à análise, os cadinhos e tampas foram calcinados no forno mufla a 750 °C por 20 minutos.

Para a determinação do teor de voláteis foi pesado de 1 a 2 g do material. O forno mufla foi aquecido a 950 °C, onde os cadinhos foram colocados na porta (aberta) por 2 min. Em seguida, os cadinhos foram movidos para dentro do forno, ainda com a porta aberta, por mais 3 min. Após essa etapa, os cadinhos foram movidos para o fundo do forno mufla e ficaram por mais 6 min com a porta fechada.

Após esse procedimento, os cadinhos foram resfriados a 50°C em estufa e inseridos em um dessecador por 1 h e então foram pesados.

O teor de voláteis foi determinado conforme a Equação 2:

$$tv(\%) = \frac{(mi - mf)}{mi} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

tv = teor de voláteis (%);

mi = massa inicial (g);

mf = massa final (g).

#### *Teor de Cinzas*

Para a determinação do teor de cinzas foi utilizado mesmo material da determinação do teor de voláteis. Foram inseridos no forno mufla os cadinhos sem as tampas, com a temperatura de 750 °C por 6 h. Então os cadinhos foram resfriados num dessecador por 1 h e foram pesados. O processo foi repetido com a mesma temperatura, com o tempo de 1 h, foram resfriados em estufa a 50 °C, após foram inseridos em um dessecador por 1 h e novamente pesados. Como a massa final se manteve, então o ciclo foi concluído.

Após esse procedimento, o teor de cinzas foi determinado através da Equação 3:

$$tc(\%) = \frac{mf}{mi} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

tc = teor de cinzas (%);

mi = massa inicial (g);

mf = massa final (g).

#### *Teor de Carbono Fixo*

Para a determinação do teor de carbono fixo foi utilizada a Equação 4:

$$tcf(\%) = 100 - (tc + tv) \quad (4)$$

Onde:

tcf = teor de carbono fixo (%);

tc = teor de cinzas (%);

tv = teor de voláteis (%).

### **2.2.6 Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectroscopia por Energia Dispersiva**

Para as análises de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS), foi utilizado o equipamento da HITACHI, modelo TM3000, com tensão de aceleração igual a 15,0 kV. Foram utilizadas amostras do biochar e amostras das cinzas do biochar. As análises foram realizadas em triplicatas, coletados valores por EDS em três pontos de análise e os valores em percentual dos elementos componentes das amostras foi o resultado da média das análises.

### **2.2.7 Análise Estatística**

Para comparação dos dados de rendimento gravimétrico e análise imediata, foi utilizado o Test t-Student para amostras independentes para a comparação das médias dos dois grupos: presente estudo e de estudo anterior da literatura (Pereira *et al.*, 2021).

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.3.1 Rendimento Gravimétrico e Análise Imediata

Em função do processo de trituração com peneira de 10 mesh (2 mm de abertura), houve homogeneização das partículas no biochar produzido e também o tempo de residência de 6 h permitiu a pirólise completa do material.

A Tabela 2 apresenta o rendimento gravimétrico e análise imediata do biochar produzido no presente estudo e em estudo anterior.

Tabela 2 – Rendimento gravimétrico e análise imediata do biochar.

Características	Biochar	
	Presente estudo	Pereira <i>et al.</i> , 2021
Rendimento Gravimétrico (%)	38,38 (0,06)	37,21 (0,12)
Umidade (%)	4,49 (0,02)	4,30 (0,10)
Voláteis (%)	24,11 (0,02)	23,13 (0,47)
Cinzas (%)	34,40 (0,24)	33,66 (1,44)
Carbono Fixo (%)	41,49 (0,23)	43,19 (0,97)

Biochar (estudo anterior): Adaptado de Pereira *et al.* (2021). Produzido em forno mufla menor (modelo LF00212 da JUNG), com temperatura de 450 °C, com tempo de residência de 0,5 h e com taxa de aquecimento de 20 °C min<sup>-1</sup>.

Os valores resultam da média aritmética das triplicatas das amostras e os valores entre parênteses representam o desvio padrão.

Pelo Test t-Student, com  $p > 0,05$  para todas as características, então não houve diferenças estatisticamente significativas para as médias dos dois grupos para todas as características analisadas.

Fonte: Próprio autor (coluna “Presente estudo”) e Adaptado de Pereira *et al.*, 2021 (segunda coluna).

Os resultados do biochar do presente estudo mostram valores sem diferenças estatisticamente significativas ao biochar produzido em estudo anterior da literatura (Pereira *et al.*, 2021) com a mesma biomassa e mesma temperatura de pirólise (450 °C).

Foi possível observar que, com equipamentos maiores, para maior produção de biochar, é necessário análises e adaptações de procedimentos para que se mantenha a qualidade do biochar com relação a valores das características analisadas.

Para fins de carbonização, com pirólise lenta, o rendimento gravimétrico obteve valor (38,38%) próximo ao estimado em de estudos de Trazi *et al.* (2018), Bridgwater (2006) e de Bridgwater, Czernik e Piskors (2001) (35%), considerando temperatura de 400 a 450 °C, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Produtos dos diferentes tipos de pirólise.

Tipo de pirólise	Condições		Rendimento (%)		
	Temperatura (°C)	Permanência	Líquido	Sólido (biochar)	Gás
Lenta (carvão)	Baixas (400-450)	> 30 min	30	<b>35</b>	35
Intermediária	Moderadas (320-500)	10-20 s	50	20	30
Rápida	Moderadas (450-750)	1-5 s	75	12	13
Gaseificação	Altas (750-900)	longo	5	10	85

Fonte: Adaptada de Bridgwater, Czernik e Piskors (2001); Bridgwater (2006); Trazi *et al.* (2018).

#### *Rendimento gravimétrico*

O rendimento gravimétrico do biochar de cama de frango (38,38%) foi maior quando comparado ao biochar de cama de frango composto com bagaço de cana, onde Fernandes *et al.* (2022) encontraram aproximadamente 28 e 33% de rendimento gravimétrico com biochar pirolisado a 450 e 350 °C, respectivamente.

O rendimento gravimétrico do biochar de cama de frango, também foi maior em comparação com biochars produzidos de outras fontes de biomassa, como em estudos de Róz *et al.* (2015). Os autores utilizaram *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, cujo rendimento gravimétrico foi de aproximadamente 25% em condições de temperatura e tempo de residência de 450 °C e 4 h. Estudos com biochar de biomassa de palha de cana-de-açúcar, apontaram rendimento gravimétrico menor em comparação ao de cama de frango. Nakashima (2020) encontrou rendimentos gravimétricos, para biochar produzido com palha de cana-de-açúcar, de aproximadamente 28 e 22% com a temperatura de pirólise de 450 °C e com tempos de residência de 2 e 4 h. O alto rendimento gravimétrico é um bom resultado e, possivelmente, está relacionado com o alto teor de cinzas do material.

#### *Teor de umidade*

O teor de umidade apresentou valor relativamente baixo (4,49%), se comparado com a biomassa *in natura*, de aproximadamente 22% (Pereira *et al.*, 2019). O valor de 4,49% de teor de umidade é próximo aos valores encontrados nos biochars de várias fontes de biomassa (palha de cana-de-açúcar, casca de arroz, dejetos de galinha e serragem) e em temperaturas de 350, 450, 550 e 650 °C, em estudos de Conz (2015) que afirma que o teor de umidade não atingiu valores maiores que 4,5%.

### *Teor de voláteis*

O teor de voláteis é a parcela da biomassa que se perde em altas temperaturas (950 °C) durante a análise do teor de voláteis e parte dessa perda ocorre durante o processo de pirólise, com temperaturas em torno de 450 °C (Fernandes *et al.*, 2022; Soldera, 2016). O teor de voláteis também pode ser definido como uma medida da reatividade do material, pois quanto maior o teor de voláteis, maior a reatividade e mais rápida é a ignição (Klautau, 2008; Lewandowski; Kicherer, 1997).

O teor de voláteis de 24,11% ficou próximo se comparado com biochar de dejetos de galinha, onde Conz (2015) encontrou teor de voláteis de aproximadamente 27%. Veiga (2016) encontrou valor de 26,19% para biochar de resíduos de *E. urophylla*, com temperatura de pirólise de 450 °C. No entanto, o teor de voláteis (24,11%) pode ser considerado baixo se comparado com biochar de cama de frango composto com bagaço de cana, onde Fernandes *et al.* (2022) encontraram valores em torno de 37% e 40% com biochars pirolisados a 450 e 350 °C respectivamente. Os autores apontam que essas variações são comuns, pois o teor de voláteis depende, principalmente, da fonte da biomassa utilizada para pirólise. Mas, por ser uma medida de reatividade do material, para aplicação no solo, o teor de voláteis do biochar não é uma característica limitante. Logo o teor de voláteis de 24,11% é adequado ao biochar para aplicação no solo.

### *Teor de cinzas*

O teor de cinzas está relacionado ao conteúdo de nutrientes contidos no material (Conz, 2015; Fernandes *et al.*, 2022; Soldera, 2016). O teor de cinzas é determinado após a completa combustão do material, quando todos os elementos orgânicos são volatilizados (Devens *et al.*, 2018; Enders *et al.*, 2012). O teor de cinzas (34,40%) ficou entre os valores encontrados em biochar de cama de frango composto com bagaço de cana (36,5%) encontrado por Fernandes *et al.* (2022) e biochar de palha de cana, encontrado em estudo de Nakashima (2020), pirolisados a 450 °C. No entanto pode ser considerado alto se comparado com o teor de cinzas de biochars de serragem, onde Conz (2015) encontrou valores em torno de 1% e Veiga (2016) encontrou, para madeira de *E. urophylla* e *C. citriadora*, teores de cinzas de 0,85 e 0,86% respectivamente, ambos com pirólise a 450 °C.

O alto teor de cinzas pode estar relacionado com a elevada quantidade de nutrientes presentes no material (Mukome *et al.*, 2013; Zhao *et al.*, 2013). No caso da cama de frango, esses nutrientes, principalmente os inorgânicos são provenientes dos componentes da ração e também dos dejetos das aves, que são relevantes para efeito de fertilização. Ainda o teor de

cinzas, também pode estar relacionado com impurezas contidas no material (Padilla *et al.*, 2019). Essas impurezas são resultantes dos processos de manejo a que o material foi submetido na granja, como a trituração e a raspagem para o enleiramento e coleta, agregando partículas do solo que são arrastadas durante estes processos (Pereira *et al.*, 2021). O alto teor de cinzas encontrado (34,4%) pode não ser um problema relacionado à composição do material, mas sim em função de impurezas (Padilla *et al.*, 2019). Essas impurezas são agregadas nos processos de manejo e coleta (Pereira *et al.*, 2019). O alto teor de cinzas pode ser um complicador para fins energéticos. Entretanto, não é um fator limitante para aplicações do biochar no solo (Pereira *et al.*, 2019). Essa característica é particularmente útil para solos com baixo pH, sendo uma importante fonte de calagem (Shakya; Agarwal, 2017). O alto teor de cinzas (34,04%) foi um dos principais fatores para o maior rendimento gravimétrico do biochar de cama de frango (38,38%).

#### *Teor de carbono fixo*

O teor de carbono fixo é determinado pela parcela do material que não constitui a umidade, material volátil e cinzas, sendo a parte mais resistente que permanece no biochar após o processo de pirólise (Conz, 2015; Soldera, 2016). O teor de carbono fixo (41,49%) ficou acima do valor encontrado em estudos de Fernandes *et al.* (2022), onde encontraram valor de 26,6% para biochar de cama de frango composto com bagaço de cana. No entanto pode ser considerado relativamente baixo se comparado com o biochar produzido a partir da palha de cana de açúcar. Pires (2017) encontrou valor de 64,78% com temperatura de pirólise a 400 °C e tempo de residência de 3 h e Nakashima (2020) encontrou valores de 60,1 e 56,2% aos tratamentos com tempos de residência de 2 e 4 h respectivamente, ambos a 450 °C de temperatura de pirólise.

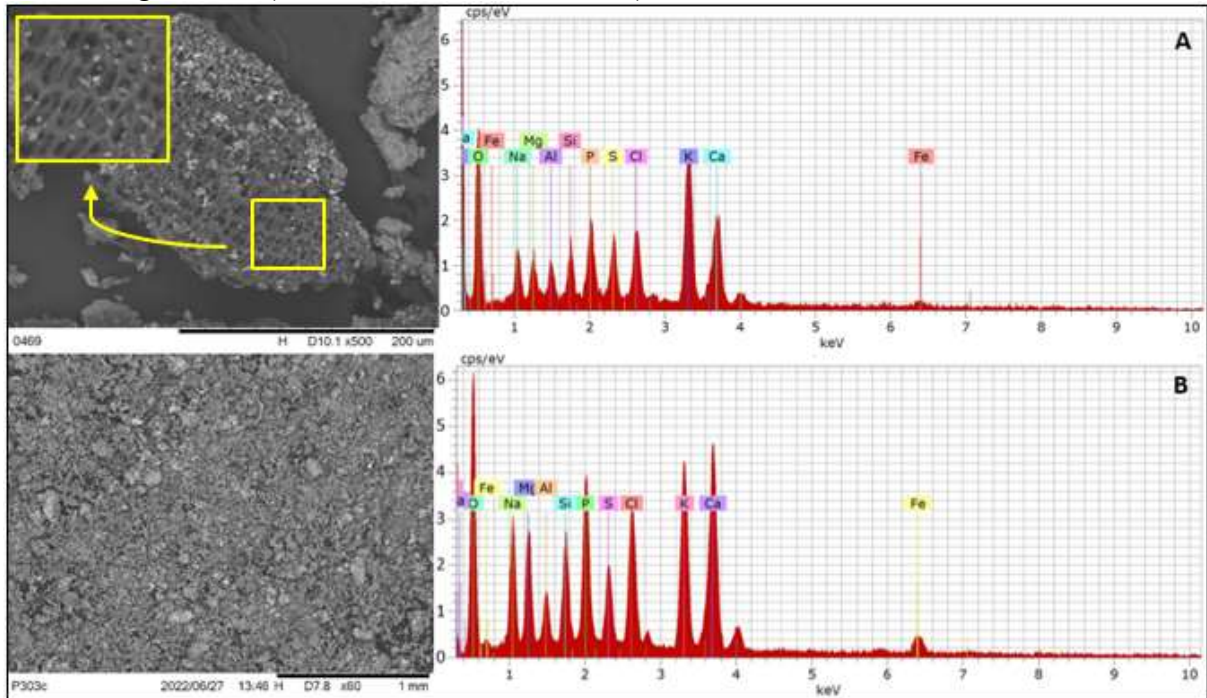
Os resultados do alto rendimento gravimétrico e do baixo teor de carbono fixo, possivelmente estão relacionados ao alto teor de cinzas do material (Pereira *et al.*, 2019). De acordo com Yaashika *et al.* (2020), os resíduos sólidos de animais apresentam maior rendimento de biochar produzido, quando comparado à biomassa puramente florestal e agrícola.

Com resultados próximos aos obtidos em estudos anteriores (Tabela 2), com biochar produzido também da biomassa de cama de frango, conforme Pereira *et al.*, (2021), as características do biochar a partir da biomassa de cama de frango possibilitam a aplicação do biochar no solo.

### 2.3.2 Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectroscopia por Energia Dispersiva

A Figura 7 mostra a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) (à esquerda) e, à direita, o gráfico da análise de Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS) mostra os elementos contidos nas amostras do biochar e das cinzas do biochar.

Figura 7 – A) MEV e EDS do biochar; B) MEV e EDS das cinzas do biochar.



Fonte: Próprio autor.

A caracterização do biochar através de análises estruturais e elementares, usando técnicas como o MEV e o EDS, ajudam a prever o comportamento do biochar em várias aplicações, como adsorção e remoção de poluentes do solo (Brewer *et al.*, 2014; Pariyar *et al.*, 2020; Yaashika *et al.*, 2020), além de disponibilidade de nutrientes para as plantas (Lin *et al.*, 2013).

O MEV do biochar (Figura 7A) mostra um material com características heterogêneas e a imagem ampliada (com destaque em amarelo) mostra, na partícula, estruturas que possivelmente são macroporos, conforme observado em estudo anterior (Pereira *et al.*, 2021). O MEV das cinzas do biochar (Figura 7B), também mostra que o material possui características morfológicas heterogêneas e multiformes, possivelmente relacionado ao material de origem, a cama de frango, que é heterogênea, formada por componentes de diversas origens, como serragem de madeira, impurezas incorporada durante o processo de manejo, elementos da



alimentação dos frangos, além de excretas, penas e descamações das aves (Guitarrara, 2022; Lacombe, 2015; Migotto, 2020; Oviedo-Rondón, 2008; Scheufele, 2017; Schnitzer *et al.*, 2008).

A Tabela 4 apresenta os elementos contidos nas amostras do biochar e nas amostras das cinzas do biochar. Os valores são resultantes das médias dos valores obtidos em triplicatas das análises de EDS.

Tabela 4 - Elementos obtidos por EDS do biochar e das cinzas do biochar.

Elemento	Biochar	Cinzas do Biochar
	norm. C [wt. %]	
Potássio	36,90 (0,84)	21,53 (0,35)
Cálcio	20,71 (0,44)	34,48 (1,00)
Cloro	12,04 (0,05)	7,56 (0,19)
Sódio	7,58 (0,02)	5,39 (0,24)
Fósforo	6,84 (0,12)	12,94 (0,72)
Enxofre	5,03 (0,10)	2,96 (0,09)
Silício	3,16 (0,14)	3,30 (0,15)
Magnésio	2,84 (0,07)	8,10 (0,25)
Alumínio	2,66 (0,16)	1,52 (0,32)
Ferro	2,23 (0,18)	2,22 (0,22)
	100,00	100,00

A indicação “norm. C [wt. %]”, significa que os valores são referentes à concentração normalizada no percentual de massa do elemento.

Os valores representam as médias das triplicatas seguidas do desvio padrão (valores entre parênteses).

Fonte: Próprio autor.

A obtenção dos elementos contidos no biochar e nas cinzas do biochar, através da análise de EDS, mesmo sendo uma análise semiquantitativa, permitiu estabelecer uma análise comparativa dos elementos. Os elementos e percentuais destes, presentes na amostra do biochar (escala piloto), apresentaram valores bem próximos aos encontrados em estudo anterior (escala laboratorial) com biochar a partir da mesma biomassa (cama de frango) (Pereira *et al.*, 2021).

A análise não apresentou concentração de metais pesados em sua composição, tanto no biochar, quanto nas cinzas, o que segundo Hansted (2020), é um fator importante que pode expandir as possibilidades de utilização do material. Também foi possível observar que o N não está presente na tabela, possivelmente pela sua concentração ponderada não ser expressiva se comparada aos demais elementos, o que corrobora a afirmação de Tan *et al.* (2014) que parte dos elementos como o N e o H são perdidos juntamente com os materiais voláteis na pirólise. Ademais, Conz (2015) afirma que o N é volatilizado em temperaturas mais elevadas. Além

disso, a concentração do elemento na biomassa *in natura* é de cerca de 3% (Pereira *et al.*, 2019), então com a volatilização durante o processo de pirólise e de cinzas, a concentração do elemento em comparação com os demais não permitiu sua presença pela análise de EDS.

Outros elementos como o carbono e o oxigênio também não aparecem na tabela, pois pela sua abundância em relação aos demais elementos podem não ser quantificados adequadamente pelo detector EDS (Lucon, 2019), além da fita utilizada para depósito do material para análise ser a base de carbono, portanto esses elementos foram desconsiderados na composição da tabela.

A presença dos elementos como o potássio, cálcio, cloro, sódio, fósforo, enxofre, magnésio e ferro em ambas as análises, possivelmente está relacionada com a alimentação das aves e são minerais que comumente são encontrados em produtos gerados da biomassa de cama de frango. Segundo Araújo *et al.* (2008), esses elementos, considerados como macrominerais, participam em quantidades significativas na alimentação dos frangos de corte e ocupam cerca de 2 a 3% do conteúdo das rações.

Nas amostras do biochar, o potássio foi o elemento mais abundante, o que pode ser justificado em função de ser, depois do nitrogênio, o elemento mais absorvido pelo milho (Barzan *et al.*, 2021; Parente *et al.*, 2016) e o milho é o principal ingrediente utilizado na ração destinada à alimentação dos frangos de corte (Pereira *et al.*, 2021).

Em complemento, as concentrações em expressividade de fósforo e de potássio nas cinzas, provavelmente, segundo Souza *et al.* (2004) estão relacionados à adição desses nutrientes como suplementos contidos na ração. Esses elementos fazem parte dos macronutrientes (N, P e K) essenciais para o desenvolvimento das plantas (Pereira *et al.*, 2019).

Os elementos em maior concentração na amostra das cinzas do biochar são cálcio, potássio, fósforo e magnésio com percentual de massa de 34,48; 21,53; 12,94 e 8,10, respectivamente. Essa característica corrobora com a afirmação de Domingues *et al.* (2017) que apontam que o teor de cinzas está fortemente relacionado com a considerável concentração de elementos inorgânicos, principalmente K, P, Ca e Mg presentes na cama de frango que são acumulados após a volatilização de grande parte do carbono, oxigênio e hidrogênio. O cálcio, elemento em abundância em ambas as amostras (biochar e cinzas do biochar) é vital para o desenvolvimento das plantas, agindo na parede celular e é crucial para a germinação de sementes, além de auxiliar na redução da acidez do solo (Liu *et al.*, 2011).

O cloro e o potássio presentes nas análises de EDS do biochar, também aparecem em grande parte, em forma de cloreto de potássio (Pereira *et al.*, 2021). O cloro presente nas amostras do biochar e nas cinzas do biochar, também pode estar relacionado à adição de cloreto

de sódio na alimentação, pois segundo Assunção *et al.* (2019), o sódio, geralmente, é suplementado nas rações a base de milho e soja (que são as mais comumente utilizadas para frangos de corte), pois possuem baixas concentrações de sódio. Essa suplementação de sódio, provém de inúmeras fontes, no entanto destacam-se o cloreto de sódio (NaCl) e o Bicarbonato de sódio (NaHCO<sub>3</sub>), ambas de fonte inorgânica (Assunção *et al.*, 2019), o que justifica a presença do sódio nas análises. A presença do sódio no biochar auxilia na manutenção do pH do solo, deixando-o mais alcalino (Pereira *et al.*, 2021), além de ser muito importante para as plantas, pois controlam a pressão osmótica nas células que auxiliam no uso eficiente da água (Katsuhara *et al.*, 2011).

Vieites *et al.* (2015) apontam que o ferro e o sódio são largamente utilizados em suplementação na ração dos frangos de corte, o que pode corroborar com afirmações anteriores e justificar a presença desses elementos nas amostras do biochar e nas amostras das cinzas do biochar.

O silício presente nas amostras, possivelmente é impureza com partículas do solo agregadas à cama de frango nos processos de manejo, como a trituração e a raspagem para o enleiramento e coleta (Pereira *et al.*, 2021). O silício também pode ser oriundo dos aluminossilicatos que são comumente utilizados como aditivos tecnológicos na avicultura industrial, como aglutinantes de rações (Reis *et al.*, 2020), o que também pode explicar a presença do alumínio nas amostras, mesmo que com pouca expressividade se comparado com os demais elementos.

## 2.4 CONCLUSÕES

A produção do biochar de cama de frango, em maior quantidade (escala piloto) exigiu novos métodos para a pirólise (controle do tempo de residência e resfriamento).

A produção foi satisfatória, pois o objetivo foi alcançado em quantidade e em qualidade.

A caracterização do biochar produzido mostrou a qualidade esperada com relação ao teor de umidade, rendimento gravimétrico, teores de voláteis, cinzas e carbono fixo.

A cama de frango é um material adequado para produção de biochar para aplicação no solo.

## REFERÊNCIAS

- ABPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório anual 2022**. ABPA, 2023. Disponível em: <https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2023/01/abpa-relatorio-anual-2022.pdf>. Acesso em: 26 set. 2023.
- ANDRADE, C. A.; BIBAR, M. P. S.; COSCIONE, A. R.; PIRES, A. M. M.; SOARES, A. G. Mineralização e efeitos de biocarvão de cama de frango sobre a capacidade de troca catiônica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 50, n. 5, p. 407-416, 2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015000500008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000500008>. Acesso em: 29 out. 2022.
- ARAÚJO, J. A. de; SILVA, J. H. V. da; AMÂNCIO, A. L. de L.; LIMA, C. B.; OLIVEIRA, E. R. A. de. Fontes de minerais para poedeiras. **Acta Veterinária Brasileira**, v. 2, n. 3, p. 53-60, 2008. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4686462/mod\\_resource/content/1/fontes%20de%20minerais%20para%20poedeiras.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4686462/mod_resource/content/1/fontes%20de%20minerais%20para%20poedeiras.pdf). Acesso em: 13 nov. 2022.
- ASSUNÇÃO, A. S. de A.; MARTINS, R. A.; OLIVEIRA, G. F. de; MARCON, A. V. A importância do sódio na alimentação de frangos de corte. **Veterinária Notícias**, v. 25, n. 1, p. 26-48, 2019. DOI: 10.14393/VTN-v25n1-2019.3. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/VTN-v25n1-2019.3>. Acesso em: 10 nov. 2022.
- ASTM D1762-84R21. **Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal**. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2021. DOI: 10.1520/D1762-84R21. Disponível em: <http://www.astm.org/standards/d1762>. Acesso em: 21 set. 2022.
- AVISITE. Projeções de recorde na safra de grãos deve beneficiar produção de aves e suínos em 2023. **Revista do Avisite**, n. 141, p. 20-25, 2023a. Disponível em: <https://www.avisite.com.br/revistas/revista-do-avisite-edicao-141/>. Acesso em: 08 abr. 2023.
- BARZAN, R. R.; JORDÃO, L. T.; FIRMANO, R. F.; SECATO, T. R.; LIMA, F.; BARZAN, L. R.; OLIVEIRA JR., A. de; CASTRO, C.; CRUSCIOL, C. A. C.; ZUCARELI, C. Soil chemical attributes and nutritional status of soybean and maize intercropped with *Urochloa* under nitrogen rates. **Agronomy Journal**, v. 113, n. 4, p. 3628-363, 2021. DOI: 10.1002/agj2.20744. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/agj2.20744>. Acesso em: 18 out. 2022.
- BENEVIDES, W. S.; DÍAZ, M. P.; GUANO, L. E.; PINHEIRO, A. R. A.; FROTA, L. de O.; CAMPOS, W. de O.; PINTO, P. W. C. Study of animal welfare through analysis and comparison of the presence of foot pad dermatitis in broilers raised in controlled environments in Brazil and Spain. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v. 10, n. 3, p. 330-350, 2016. DOI: 10.5935/1981-2965.20160028. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.5935/1981-2965.20160028>. Acesso em: 03 nov. 2022.

BREWER, C. E.; CHUANG, V. J.; MASIELLO, C. A.; GONNERMANN, H.; GAO, X.; DUGAN, B.; DRIVER, L. E.; PANZACCHI, P.; ZYGOURAKIS, K.; DAVIES, C. A. New approaches to measuring biochar density and porosity. **Biomass and Bioenergy**, v. 66, p. 176-185, 2014. DOI: 10.1016/j.biombioe.2014.03.059. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.03.059>. Acesso em: 17 nov. 2022.

BRIDGWATER, A. V.; CZERNIK, S. PISKORZ, J. Chapter 80 - An overview of fast pyrolysis. *In*: BRIDGWATER, A. V. (ed.) **Progress in thermochemical biomass conversion**. London: Blackwell Science, v. 2, p. 977-997, 2001. DOI: 10.1002/9780470694954.ch80. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9780470694954.ch80>. Acesso em: 13 jun. 2022.

BRIDGWATER, T. Biomass Pyrolysis. *In*: TUSTIN, J. (ed.) **IEA Bioenergy Annual Report 2006**. Paris. Disponível em: <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/10/IEA-Bioenergy-2006-Annual-Report.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2023.

CHAN, K. Y.; ZWIETEN, L. van; MESZAROS I.; DOWNIE A., JOSEPH S. Using poultry litter biochars as soil amendments. **Australian Journal of Soil Research**, v. 46, p. 437-444, 2008. DOI: 10.1071/SR08036. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/SR08036>. Acesso em: 25 ago. 2022.

CONZ, R. F. **Caracterização de matérias-primas e biochars para aplicação na agricultura**. 2015. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ciências, Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2015.

DEVENS, K. U.; PEREIRA NETO, S.; OLIVEIRA, D. L. do A.; GONÇALVES, M. S. Characterization of biochar from green coconut shell and orange peel wastes. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 2, p. 288-294, 2018. DOI: 10.21577/1984-6835.20180022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20180022>. Acesso em: 16 nov. 2022.

DOMINGUES, R. R.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, C. A.; MELO, I. C. N. A. de; MELO, L. C. A.; MAGRIOTIS, Z. M.; SANCHEZ-MONEDERO, M. A. Properties of biochar derived from wood and high-nutrient biomasses with the aim of agronomic and environmental benefits. **Plos One**, v. 15, n. 5, e0176884, 2017. DOI: 10.1371/journal.pone.0176884. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176884>. Acesso em: 16 nov. 2022.

DORNELAS, K. C.; MASCARENHAS, N. M. H.; RODRIGUES, H. C. S.; NASCIMENTO, R. T. do; BRITO, A. N. S. L. de; FURTADO, D. A.; NASCIMENTO, J. W. B. do. Chicken bed: a review on reuse, treatment and influence on ambiente. **Poultry Science**, 2020. DOI: 10.1016/j.psj.2020.09.067. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.09.067>. Acesso em: 21 jul. 2022.

ENDERS, A.; HANLEY, K.; WHITMAN, T.; JOSEPH, S.; LEHMANN J. Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. **Bioresource Technology**, v. 114, p. 644-653, 2012. DOI: 10.1016/j.biortech.2012.03.022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.03.022>. Acesso em: 13 out. 2022.

FARIDULLAH, F.; YAMAMOTO, S.; IRSHAD, M.; UCHIYAMA, T.; TOSHIMASA, H. Phosphorus fractionation in chicken and duck litter burned at different temperatures. **Soil Science**, v. 173, n. 4, p. 287-295, 2008. DOI: 10.1097/SS.0b013e31816d1e5b. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1097/SS.0b013e31816d1e5b>. Acesso em: 05 ago. 2022.

FERNANDES, J. D.; CHAVES, L. H. G.; DANTAS, E. R. B.; LAURENTINO, L. G. de S.; CAVALCANTE, A. R.; KUBO, G. T. M. Thermal treatment of poultry litter: Part I. Characterization by immediate analysis and gravimetric yield. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 9, p. 633-639, 2022. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v26n9p633-639. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n9p633-639>. Acesso em: 16 nov. 2022.

FLORES, F.; FLORES, M. L.; BOUFLEUR, R.; GAZONI, F. L.; BAMPI, R. **Avaliação do método fermentativo da cama de aviário**. Engormix, Avicultura, Artigos Técnicos, 2009. Disponível em: <https://pt.engormix.com/avicultura/artigos/metodo-fermentativo-cama-aviario-t36741.htm>. Acesso em: 07 nov. 2022.

FUKAYAMA, E. H. **Características quantitativas e qualitativas da cama de frango sob diferentes reutilizações**: efeitos na produção de biogás e biofertilizante. 2008. 99 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP, Campus de Jaboticabal, 2008.

GARCÊS, A. P. J. T.; AFONSO, S. M. S.; CHILUNDO, A.; JAIROCE, C. T. S. Evaluation of different litter materials for broiler production in a hot and humid environment: 2. Productive performance and carcass characteristics. **Tropical Animal Health and Production**, v. 49, p. 369-374, 2017. DOI: 10.1007/s11250-016-1202-7. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11250-016-1202-7>. Acesso em: 5 nov. 2022.

GRIMES, J. L.; SMITH, J.; WILLIAMS, C. M. Some alternative litter materials used for growing broilers and turkeys. **World's Poultry Science Journal**, v. 58, n. 4, p. 515-526, 2019. DOI: 10.1079/WPS20020037. Disponível em: <https://doi.org/10.1079/WPS20020037>. Acesso em: 5 nov. 2022.

GUITARRARA, P. **Biomassa**. Brasil Escola, 2022. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/biomassa.htm>. Acesso em: 13 nov. 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores IBGE**: Estatística da Produção Pecuária, 2022. Disponível em: [https://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Pecuaria/Fasciculo\\_Indicadores\\_IBGE/abate-leite-couro-ovos\\_202201caderno.pdf](https://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Fasciculo_Indicadores_IBGE/abate-leite-couro-ovos_202201caderno.pdf). Acesso em: 22 out. 2022.

HANSTED, A. L. S. **Aproveitamento de cinzas de caldeira para calagem do solo**. 2020. 82 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2020.

KATSUHARA, M.; REE, J. Y.; SUGIMOTO, G.; CHUNG, G. C. Early response in water relations influenced by NaCl reflects tolerance or sensitivity of barley plants to salinity stress via aquaporins. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 57, n. 1, p. 50-60, 2011. DOI: 10.1080/00380768.2010.541870. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00380768.2010.541870>. Acesso em: 02 nov. 2022.

KLAUTAU, J. V. P. **Análise experimental de uma fornalha a lenha de fluxo co-corrente para secagem de grãos**. 2008. 132 f. Dissertação (Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

KYAKUWAIRE, M.; OLUPOT, G.; AMODING, A.; NKEDI-KIZZA, P.; BASAMBA, T. A. How safe is chicken litter for land application as an organic fertilizer?: A review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 19, p. 3521, 2019. DOI: 10.3390/ijerph16193521. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph16193521>. Acesso em: 23 out. 2022.

LACOMBE, J. E. A. **Painéis de madeira aglomerada produzidos com resíduos de serragem e poliestireno expandido para aplicações na construção civil**. 2015. 193 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

LEI, H.; REN, S.; JULSON, J. The effects of reaction temperature and time and particle size of corn stover on microwave pyrolysis. **Energy & Fuels**, v. 23, n. 6, p. 3254-3261, 2009. DOI: 10.1021/ef9000264. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ef9000264>. Acesso em: 6 nov. 2022.

LEWANDOWSKI, I; KICHERER, A. Combustion quality of biomass: practical relevance and experiments to modify the biomass quality of *Miscanthus x giganteus*. **European Journal of Agronomy**, v. 6, n. 3-4, p. 163-177, 1997. DOI: 10.1016/S1161-0301(96)02044-8. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(96\)02044-8](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(96)02044-8). Acesso em: 13 nov. 2022.

LI, S.; WU, A.; DENG, S.; PAN, W. Effect of co-combustion of chicken litter and coal on emissions in a laboratory-scale fluidized bed combustor. **Fuel Processing Technology**, v. 89, n. 1, p. 7-12, 2008. DOI: 10.1016/j.fuproc.2007.06.003. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2007.06.003>. Acesso em: 14 out. 2022.

LIN, Y.; MUNROE, P.; JOSEPH, S.; ZIOLKOWSKI, A.; ZWIETEN, L. van; KIMBER, S.; RUST, J. Chemical and structural analysis of enhanced biochars: Thermally treated mixtures of biochar, chicken litter, clay and minerals. **Chemosphere**, v. 91, n. 1, p. 35-40, 2013. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2012.11.063. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.11.063>. Acesso em: 31 out. 2022.

LIU, T.; WU, F.; WANG, W.; CHEN, J.; LI, Z.; DONG, X.; PATTON, J.; PEI, Z.; ZHENG, H. Effects of calcium on seed germination, seedling growth and photosynthesis of six forest tree species under simulated acid rain. **Tree Physiology**, v. 31, n. 4, p. 402-413, 2011. DOI: 10.1093/treephys/tpr019. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpr019>. Acesso em: 10 nov. 2022.

LUCON, I. M. **Biocarvão nos atributos físicos, químicos e produtividade do milho em solo sob clima tropical**. 2019. 92 f. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico de Pós-graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Campinas, 2019.



- MACKLIN, K. S.; HESS, J. B.; BILGILI, S. F. In-house windrow composting and its effects on foodborne pathogens. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 17, n. 1, p. 121-127, 2008. DOI: 10.3382/japr.2007-00051. Disponível em: <https://doi.org/10.3382/japr.2007-00051>. Acesso em: 31 out. 2022.
- MASUD, M. M.; BAQUY, M. A.; AKHTER, S.; SEN, R.; BARMAN, A.; KHATUN, M. R. Liming effects of poultry litter derived biochar on soil acidity amelioration and maize growth. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 202, 110865, 2020. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.110865. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110865>. Acesso em: 3 nov. 2022.
- MIGOTTO, D. L. **Efeito da reutilização da cama de frango no conforto térmico das aves e seu uso como fertilizante para a cultura do milho**. 2020. 117 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Veterinária e Zootecnia, Goiânia, 2020.
- MUKOME, F. N. D.; ZHANG, X.; SILVA, L. C. R.; SIX, J.; PARIKH, S. J. Use of chemical and physical characteristics to investigate trends in biochar feedstocks. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 9, p. 2196-2204, 2013. DOI: 10.1021/jf3049142. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jf3049142>. Acesso em: 12 nov. 2022.
- NAKASHIMA, G. T. **Production, soil amendment and sustainability of sugarcane trash biochar**. 2020. 91 f. Tese (Doutorado em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2020.
- NÓBREGA, I. P. C. **Efeitos do biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: sequestro de carbono no solo**. 2011. 46 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011.
- OVIEDO-RONDON, E. O. Tecnologias para mitigar o impacto ambiental da produção de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 239-252, 2008. DOI: 10.1590/S1516-35982008001300028. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008001300028>. Acesso em: 15 out. 2022.
- PADILLA, E. R. D.; SANTOS, L. R. O.; SILVA, D. A. da; BARROS, J. L.; BELINI, G. B.; YAMAJI, F. M.; SOUZA, T. M. de; CAMPOS, C. I. de. Eucalyptus bark charcoal: the influence of carbonization temperature in thermal behavior. **Materials Research**, v. 22, n. 1, p. e20190371, 2019. DOI: 10.1590/1980-5373-MR-2019-0371. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2019-0371>. Acesso em: 13 ago. 2022.
- PARENTE, T. L.; LAZARINI, E.; CAIONI, S.; SOUZA, L. G. M. de; PIVETTA, R. S.; BOSSOLANI, J. W. Potássio em cobertura no milho e efeito residual na soja em sucessão. **Revista Agroambiente On-line**, v. 10, n. 3, p. 193-200, 2016. DOI: 10.18227/1982-8470ragro.v10i3.3258. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v10i3.3258>. Acesso em: 15 nov. 2022.

PARIYAR, P.; KUMARI, K.; JAIN, M. K.; JADHAO, P. S. Evaluation of change in biochar properties derived from different feedstocks and pyrolysis temperature for environmental and agricultural application. **Science of The Total Environment**, v. 713, p. 136433, 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.136433. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136433>. Acesso em: 18 nov. 2022.

PEREIRA, M. E.; VARANDA, L. D.; CARVALHO, N. R. de; SETTE JR, C. R.; PADUA, F. A. de; CONTI, A. C. de; YAMAJI, F. M. Biochar produced from poultry litter waste. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, p. e3511011119704, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i11.19704. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i11.19704>. Acesso em: 12 out. 2022.

PEREIRA, M. E.; VARANDA, L. D.; NAKASHIMA, G. T.; HANSTED, A. L. S.; SILVA, D. A.; TOMELERI, J. O. P.; BELINI G. B.; YAMAJI, F. M. Caracterização da biomassa de cama de frango para fabricação de biochar. **Revista Virtual de Química**, v. 11, n. 4, p. 1330-1343, 2019. DOI: 10.21577/1984-6835.20190092. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20190092>. Acesso em: 3 maio 2022.

PIRES, I. C. S. A. **Produção e caracterização de biochar de palha de cana-de-açúcar (*Saccharun sp.*)**. 2017. 42 f. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2017.

REIS, T. L.; DILELIS, F.; FASSANI, E. J.; CALIXTO, L. F. L. Aluminossilicatos na alimentação de aves: revisão de literatura. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. e380985562, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i8.5562. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5562>. Acesso em: 16 nov. 2022.

ROGERI, D. A.; ERNANI, P. R.; MANTOVANI, A.; LOURENÇO, K. S. Composition of poultry litter in southern Brazil, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, e140697, 2016. DOI: 10.1590/18069657rbc20140697. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20140697>. Acesso em: 04 out. 2022.

RÓZ, A. L.; RICARDO, J. F. C.; NAKASHIMA, G. T.; SANTOS, L. R. O.; YAMAJI, F. M. Maximização do teor de carbono fixo em biochar aplicado ao sequestro de carbono. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 8, p. 810-814, 2015. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v19n8p810-814. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n8p810-814>. Acesso em: 13 out. 2022.

SANTOS, K. G. **Aspectos fundamentais da pirólise de biomassa em leito de jorro**: fluidodinâmica e cinética do processo. 2011. 235 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, 2011.

SCHEUFELE, F. B. **Biomassa**. Palotina: Universidade Federal do Paraná, 56 p, 2017. Disponível em: [https://palotina.ufpr.br/bioenergia/wp-content/uploads/sites/5/2017/05/Fabiano\\_Bisinella\\_Scheufele\\_2017-PPGB-Biomassa.pdf](https://palotina.ufpr.br/bioenergia/wp-content/uploads/sites/5/2017/05/Fabiano_Bisinella_Scheufele_2017-PPGB-Biomassa.pdf). Acesso em: 13 nov. 2022.

SCHNITZER, M.; MONREAL, C. M.; JANDL, G. The conversion of chicken manure to biooil by fast pyrolysis. III. Analyses of chicken manure, biooils and char by Py-FIMS and Py-FDMS. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 43, n. 1, p. 81-95, 2008. DOI: 10.1080/0361230701735185. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/0361230701735185>. Acesso em: 10 maio 2022.

SHAKYA, A. AGARWAL, T. Poultry litter biochar: an approach towards poultry litter management – a review. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 6, n. 10, p. 2657-2668, 2017. DOI: 10.20546/ijcmas.2017.610.314. Disponível em: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.610.314>. Acesso em: 15 nov. 2022.

SILVA, E. N.; BARROS, A. L. **Tratamento de cama de frangos de corte**. Cinergis Saúde e Nutrição Animal, 2020. Disponível em: <https://www.cinergis.com.br/publicacoes/tratamento-cama-frangos-corte/>. Acesso em: 25 set. 2023.

SOLDERA, G. M. C. **Degradação do carbono e efeitos da aplicação de biocarvão de resíduos de aviário em latossolo**. 2016. 50 f. Monografia (Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.

SONG, W.; GUO, M. Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v.94, p.138-145, 2012. DOI: 10.1016/j.jaap.2011.11.018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2011.11.018>. Acesso em: 15 set. 2022.

SOUZA, B. B. de; BERTECHINI, A. G.; SANTOS, C. D. dos; LIMA, J. A. de F.; TEIXEIRA, A. S.; FREITAS, R. T. F. de. Balanço de potássio e desempenho de frangos de corte suplementados com KCl no verão. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 5, p 1160-1168, 2004. DOI: 10.1590/S1413-70542004000500026. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542004000500026>. Acesso em: 15 nov. 2022.

SOUZA E SILVA, J. de; AFONSO, A. D. L.; DONZELLES, S. M. L.; NOGUEIRA, R. M. Secagem e secadores. In: SOUZA E SILVA, J. de (ed.). **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. 2. ed. Viçosa: Editora Aprenda Fácil, 2008.

SWEETEN, J. M.; ANNAMALAI, K.; TIHEN, B.; MCDONALD, L. A. Co-firing of coal and cattle feedlot biomass (FB) fuels. Part I. Feedlot biomass (cattle manure) fuel quality and characteristics. **Fuel**, v. 82, n. 10, p. 1167-1182, 2003. DOI: 10.1016/S0016-2361(03)00007-3. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(03\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(03)00007-3). Acesso em: 2 nov. 2022.

TAN, C.; YAXIN, Z.; HONGTAO, W.; WENJING, L.; ZEYU, Z.; YUANCHENG, Z.; LULU, R. Influence of pyrolysis temperature on characteristics and heavy metal adsorptive performance of biochar derived from municipal sewage sludge. **Bioresource Technology**, v. 164, p. 47-54, 2014. DOI: 10.1016/j.biortech.2014.04.048. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.04.048>. Acesso em: 18 out. 2022.

TAŃCZUK, M.; JUNGA, R.; WERLE, S.; CHABIŃSKI, M.; ZIÓŁKOWSKI, Ł. Experimental analysis of the fixed bed gasification process of the mixtures of the chicken manure with biomass. **Renewable Energy**, v. 136, 1055-1063, 2019. DOI: 10.1016/j.renene.2017.05.074. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.05.074>. Acesso em: 25 set. 2022.

TRAZI, P. A.; HIGA, A. R.; DIECKOW, J.; MANGRICH, A. S.; HIGA, R. C. V. Biocarvão: realidade e potencial de uso no meio florestal. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 875-887, 2018. DOI: 10.5902/1980509832128. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/32128/pdf>. Acesso em: 13 set. 2022.

TRIPATHI, N.; HILLS, C. D.; SINGH, R. S.; ATKINSON, C. J. Biomass waste utilisation in low-carbon products: harnessing a major potential resource. **Climate and Atmospheric Science**, v. 2, n. 35, 2019. DOI: 10.1038/s41612-019-0093-5. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41612-019-0093-5>. Acesso em: 5 nov. 2022.

USMANI, Z.; SHARMA, M.; AWASTHI, A. K.; SIVAKUMAR, N.; LUKK, T.; PECORARO, L.; TAKUR, V. K.; ROBERTS, D.; NEWBOLD, J.; GUPTA, V. K. Bioprocessing of waste biomass for sustainable product development and minimizing environmental impact. **Bioresource Technology**, v. 322, 124548, 2021. DOI: 10.1016/j.biortech.2020.124548. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124548>. Acesso em: 13 ago. 2022.

VEIGA, T. R. L. A. **Síntese e caracterização de biocarvões de biomassa de casca de café e de madeiras de eucalipto**. 2016. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2016.

VIEIRA, M. F. A. **Caracterização e análise da qualidade sanitária de camas de frango de diferentes materiais reutilizados sequencialmente**. 2011. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2011.

VIEITES, F. M., ARAÚJO, G. M.; VALE, P. A. C. B. de; SOUZA, C. S.; NÉVOA, M. L.; VARGAS JÚNIOR, J. G. de; NUNES, R. V.; ARRUDA, N. V. M. de. Balanço de minerais e desempenho em frangos de corte aos 21 dias de idade alimentados com rações contendo *Solanum malacoxylon*. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 16, n. 3, p. 535-543, 2015. DOI: 10.1590/S1519-99402015000300006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1519-99402015000300006>. Acesso em: 28 out. 2022.

VIRTUOSO, M. C. da S.; OLIVEIRA, D. G. de; DIAS, L. N. de S.; FAGUNDES, P. S. de F.; LEITE, P. R. de S. da C. Reutilização da cama de frango. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 12, n. 2, p. 3964-3979, 2015. Disponível em: <https://nutritime.com.br/wp-content/uploads/2020/02/Artigo-296.pdf>. Acesso em: 13 out. 2023.

VOSS-RECH, D.; TREVISOL, I. M.; BRENTANO, L.; SILVA, V. S.; REBELATTO, R.; JAENISCH, F. R. F.; OKINO, C. H.; MORES, M. A. Z.; COLDEBELLA, A.; BOTTON, S. de A.; VAZ, C. S. L. Impact of treatments for recycled broiler litter on the viability and infectivity of microorganisms. **Veterinary Microbiology**, v. 203, p. 308-314, 2017. DOI: 10.1016/j.vetmic.2017.03.020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2017.03.020>. Acesso em: 15 out. 2022.

YAASHIKA, P. R.; KUNAR, P. S.; VARJANI, S.; SARAVANAN, A. A critical review on the biochar production techniques, characterization, stability and applications for circular bioeconomy. **Biotechnology Reports**, v. 28, p. e00570, 2020. DOI: 10.1016/j.btre.2020.e00570. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00570>. Acesso em: 13 nov. 2022.

ZHAO, L.; CAO, X.; MASEK, O.; ZIMMERMAN, A. Heterogeneity of biochar properties as a function of feedstock sources and production temperatures. **Journal of Hazardous Materials**, v. 256-257, p. 1-9, 2013. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2013.04.015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.04.015>. Acesso em: 14 nov. 2022.



### **CAPÍTULO 3 – BIOCHAR DE CAMA DE FRANGO: EFEITOS NO CULTIVO DE RABANETES E NO SOLO EM COMPARAÇÃO COM OUTRAS FONTES DE FERTILIZAÇÃO**

#### **Resumo**

A grande quantidade de cama de frango gerada no Brasil e seu destino é motivo de grande preocupação para os produtores de carne de frango. A produção do biochar de cama de frango é uma alternativa sustentável e ambientalmente segura. A aplicação do biochar no solo pode ter efeitos positivos, implicando em fonte de nutrientes para o solo e para as plantas. Assim, o objetivo deste estudo, foi verificar o efeito do biochar de cama de frango nas características de desenvolvimento das plantas (rabanetes) e no solo em comparação com outras fontes de fertilização (mineral e orgânica). O experimento em campo foi delineado em área experimental com sistema de blocos casualizados com 3 repetições e com 5 tratamentos de fertilização cada (testemunha, cama de frango, biochar 20 t ha<sup>-1</sup>, biochar 60 t ha<sup>-1</sup> e NPK comercial). Para o efeito do biochar nas plantas foram analisados parâmetros de desenvolvimento dos rabanetes (diâmetro da raiz, massas frescas da raiz e da parte aérea, altura foliar, número de folhas, massas secas da raiz e parte aérea, percentual de raiz rachada, número de raízes comerciais e produtividade. Para o efeito do biochar no solo, foram realizadas análises de solo em 3 momentos (antes do plantio, após o primeiro ciclo de plantio, após o segundo ciclo de plantio de rabanetes). Os resultados do experimento em campo mostraram que o biochar implicou em maior produtividade aos rabanetes (25,17 e 28,55 t ha<sup>-1</sup> para os tratamentos com 20 e 60 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente), além de apresentar melhores resultados na maioria dos outros parâmetros de desenvolvimento analisados. No solo, os efeitos do biochar foram positivos, implicando em retenção de teores de NPK, diferentemente dos demais tratamentos. O biochar de cama de frango apresenta potencial para substituição de adubação mineral e orgânica, tanto para parâmetros de desenvolvimento do rabanete quanto para a fertilidade do solo.

Palavras-chave: Biochar. Cama de aviário. Resíduos. Recuperação de solo. Recuperação energética.

### Abstract

The large amount of poultry litter generated in Brazil and its destination is a cause of great concern for broiler producers. The production of biochar from poultry litter is a sustainable and environmentally safe alternative. The application of biochar to the soil can have positive effects, implying a source of nutrients for the soil and plants. The aim of this study was to verify the effect of chicken litter biochar on the development characteristics of radishes and the soil in comparison with other sources of fertilization (mineral and organic). The field experiment was designed in a randomized block design with 3 replications and 5 fertilization treatments each (control, chicken litter, biochar 20 t<sup>ha-1</sup>, biochar 60 t<sup>ha-1</sup> and commercial NPK). For the effect of the biochar on the plants, radish development parameters were analyzed (root diameter, fresh masses root and leaf, leaf height, number of leaves, dry masses root and leaf, percentage of cracked roots, number of commercial roots and productivity). For the effect of biochar on the soil, soil analyses were carried out at 3 different times (before planting, after the first planting cycle, after the second cycle radishes planting). The results of the field experiment showed that biochar resulted in higher radish productivity (25.17 and 28.55 t<sup>ha-1</sup> for the 20 and 60 t<sup>ha-1</sup> treatments, respectively), as well as better results in most of the other development parameters analyzed. In the soil, the effects of biochar were positive, implying in retention of NPK levels, unlike the other treatments. Chicken litter biochar has the potential to replace mineral and organic fertilizers, both in terms of radish development parameters and soil fertility.

Keywords: Biochar. Chicken litter. Soil recovery. Waste. Energy recovery.



### 3.1 INTRODUÇÃO

A cama de frango é um resíduo sólido que, segundo Grimes, Smith e Williams (2019), Song e Guo (2012), Vieira (2011) e Schnitzer, Monreal e Jandl (2008), é composto por um material absorvente, geralmente serragem de madeira, cascas de arroz e de café, juntamente com penas, descamações e excretas dos frangos, além da ração e água derrubados durante a alimentação.

A grande quantidade de resíduo gerado de cama de frango traz preocupações para os produtores de frango de corte (Orrico Jr; Orrico; Lucas Jr, 2010). Quando não é mais possível a sua utilização na criação de frangos, ela é utilizada como fertilizante (Avicultura Industrial, 2016).

Na utilização da cama de frango como fertilizante, a preocupação é a alta concentração e uso frequente, pois pode causar problemas decorrentes do acúmulo no solo, como por exemplo, a geração da amônia ( $\text{NH}_3$ ). Com o aumento do pH e condições favoráveis de umidade, o íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) que é a forma dominante de nitrogênio na cama de frango, transforma-se em amônia. Outra preocupação com a aplicação excessiva de cama de frango no solo é a lixiviação de nitratos em águas subterrâneas (Hahn, 2004; Oviedo-Rondón, 2008; Sims; Wolf, 1994; Soldera, 2016).

Pereira *et al.* (2019) observaram que a cama de frango pode ser considerada uma biomassa de boa qualidade para o processo de pirólise para a fabricação de biochar. A pirólise da biomassa, segundo Santos (2013), pode ser definida como um processo de degradação térmica com muito pouco ou nenhum oxigênio.

A produção do biochar da cama de frango pode ser um importante benefício da reciclagem dessa biomassa na agricultura, e evita os possíveis problemas que a aplicação em excesso *in natura* pode causar (Hahn, 2004; Oviedo-Rondón, 2008; Sims; Wolf, 1994; Soldera, 2016). Pereira *et al.* (2021), mostraram que o biochar produzido a partir da biomassa de cama de frango possui características de bons indicativos para aplicação no solo.

Biochar é um carvão que pode ser produzido a partir de diferentes biomassas, vegetal ou animal (Sousa, 2015), com a finalidade de aplicação no solo (Nakashima, 2020). De acordo com Cha *et al.* (2016), Chan *et al.* (2008) e Bridgwater (2003), o biochar é um material rico em carbono, gerado através do processo de pirólise da biomassa.

Estudos vêm sendo realizados com aplicação do biochar no solo e mostram que os efeitos do biochar no solo são positivos como condicionador de solo e como fonte de nutrição para as plantas, além de auxiliar na redução do efeito estufa (Shenbagavalli; Mahimairaja, 2012;

Sousa, 2015). Foi demonstrado que a cama de frango pirolisada possibilita 50% de redução nas emissões de N<sub>2</sub>O (óxido nitroso) em comparação com a cama de frango *in natura* (Zwieten *et al.*, 2013). Em geral, as características do biochar variam de acordo com a fonte da biomassa. Entretanto, Agrafioti *et al.* (2013), Masek *et al.* (2013) e Jeffery *et al.* (2011) observaram que independente da fonte de biomassa usada, houve aumento na capacidade de troca catiônica (CTC), nos teores de macro e micronutrientes e elevação do pH utilizando o biochar no solo. Também foram observadas melhorias nos parâmetros de fertilidade do solo com aplicação do biochar (Graber *et al.*, 2010; Novak *et al.*, 2009; Santos, 2013; Zwieten *et al.* 2010).

O rabanete (*Raphanus Sativus* L.) é uma hortaliça que produz raízes globulares, de coloração avermelhada, de ciclo curto, de 25 a 35 dias (Kramer, 2018). O rabanete é uma planta cuja raiz se desenvolve em camadas mais superiores do solo, de menor profundidade, a produção fica mais sensível à influência das características físicas e hídricas do solo (Kramer, 2018; Silva *et al.*, 2012). O rabanete é uma cultura muito exigente em nutrientes (Sousa, 2015) e o seu desenvolvimento depende da qualidade da matéria orgânica e fertilidade do solo (Filgueira, 2008).

O bom desenvolvimento dos rabanetes pode ser uma forma para avaliar o biochar como fertilizante (Uzoma *et al.*, 2011). De acordo com Sousa (2015), o biochar pode ser utilizado como fertilizante, inclusive em cultura de ciclo muito curto, como é o caso do rabanete. Ainda, segundo o autor, o biochar eleva os indicadores de fertilidade do solo, representados pela Capacidade de Troca Catiônica (CTC) e pela soma de bases (SB). Assim, espera-se que o biochar de cama de frango viabilize o uso dessa biomassa de forma sustentável como um melhorador da fertilidade do solo e que seus efeitos sejam positivos na produção de rabanete.

O objetivo deste capítulo foi avaliar o efeito do biochar de cama de frango nas características de desenvolvimento das plantas de rabanete e no solo em comparação com outras fontes de fertilização (mineral e orgânica).

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 Localização do Experimento

O Experimento foi conduzido em campo, localizado no Sítio 3 Irmãos, no município de Quadra, São Paulo. A localização geográfica está compreendida pelas coordenadas: latitude 23° 25' 24,32" sul e longitude 47° 99' 47,06" oeste, estando a aproximadamente 638 m de altitude. O clima local é considerado subtropical Cfa, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger (Peel; Finlayson; McMahon, 2007; Quadra-SP, 2010). O clima local é úmido, com verão quente, com temperaturas superiores a 22 °C (EMBRAPA, 2022). Ainda, segundo Quadra-SP (2022) apresenta mais de 73 mm de chuva no mês mais seco. O solo da região apresenta variações, sendo de maior predominância o solo classificado como Argissolo Vermelho-amarelo (Santos *et al.*, 2011, 2018).

As análises laboratoriais foram realizadas nos Laboratórios de Biomassa e Bioenergia da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), *campus* Sorocaba-SP e nos Laboratórios de Análises Químicas e Análises Especiais do Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (ESALQ-USP) em Piracicaba-SP.

O primeiro ciclo de plantio de rabanetes compreendeu o período de 22 de julho e 19 de agosto de 2022. O segundo ciclo de plantio foi de 27 de janeiro a 24 de fevereiro de 2023.

### 3.2.2 Fontes de Fertilização e Cultivar de Rabanete Utilizadas

Como fonte de fertilização foi utilizado o NPK (comercial), cama de frango (adubação orgânica) e o biochar produzido. As mudas de rabanete foram adquiridas de um produtor comercial.

A coleta e a preparação da biomassa de cama de frango utilizada neste experimento, foram descritas no Capítulo 2. O biochar utilizado no experimento foi produzido conforme descrito no Capítulo 2. O adubo mineral utilizado no experimento foi a formulação NPK 4-14-8 e o calcário foi com poder reativo de neutralização total (PRNT) de 85,6%.

A escolha do rabanete foi em função da resposta rápida (cultura de ciclo curto), por ser uma hortaliça resistente ao manejo e à incidência de pragas e também pela possibilidade de análise dos parâmetros radiculares. A cultivar de rabanete utilizada no estudo foi a *Raphanus sativus* L. Híbrida n. 19.

### 3.2.3 Tratamentos e Delineamento Experimental

O experimento foi realizado com 5 tratamentos e em triplicatas. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, onde os tratamentos foram designados à área experimental de forma casualizada por de sorteio por bloco, garantindo que cada um dos 3 blocos recebeu os 5 tratamentos (Kramer, 2018; Lopes *et al.*, 2019; Sousa, 2015), conforme croqui mostrado na Figura 8.

Figura 8 - Croqui da área experimental.

Bloco 1	T3-B20	T2-CDF	T5-NPK	T1-TES	T4-B60
Bloco 2	T2-CDF	T5-NPK	T4-B60	T3-B20	T1-TES
Bloco 3	T5-NPK	T4-B60	T3-B20	T1-TES	T2-CDF

Fonte: Próprio autor.

Na Tabela 5 estão descritos os 5 tratamentos e suas respectivas dosagens. Para cada tratamento foram realizadas 3 repetições, resultando na formação de 15 parcelas. As dosagens foram definidas conforme descritas nos itens 3.2.3.1 e 3.2.3.2.

Tabela 5 - Tipo de fertilização de cada tratamento.

Tratamentos	Tipo de fertilização	Dosagem (t ha <sup>-1</sup> )
T1-TES	testemunha (sem fertilização)	-
T2-CDF	orgânica (cama de frango)	100
T3-B20	Biochar	20
T4-B60	Biochar	60
T5-NPK	mineral (formulado NPK 4-14-8)	1,8

Fonte: Próprio autor.

Cada parcela continha as dimensões de 0,6 x 0,5 m com 0,14 m de altura do chão com o método de adição de solo para canteiro levantado. Cada parcela recebeu cerca de 53 kg de solo. Foram separadas entre si por tijolos cerâmicos (Figura 9).

Figura 9 - Canteiros em 15 parcelas.



Fonte: Próprio autor.

Foram plantadas 40 mudas do rabanete (*Raphanus sativus* L.) Hib. n. 19 por parcela, dispostos em 5 linhas, com 8 plantas cada (Figura 10). As linhas foram feitas utilizando marcações com auxílio de uma trena, seguindo o espaçamento de 10 cm entre linhas e 5 cm entre plantas (Amorim *et al.*, 2014; Sousa *et al.*, 2012). As primeiras e últimas plantas (1 e 8) de cada linha foram consideradas como bordaduras. Toda a área experimental foi delimitada por cerca de tela para evitar a entrada de animais para preservar a condução do experimento.

Figura 10 - Mudanças plantadas.



Fonte: Próprio autor.

### 3.2.3.1 Adubação Orgânica

Para a adubação do T2-CDF (cama de frango), foi considerado  $100 \text{ t ha}^{-1}$ . A quantidade foi definida com base nos estudos de Lopes *et al.* (2019) e Sousa (2017), que indicaram que

essa foi a quantidade que gerou melhores resultados. Costa *et al.* (2015) também utilizaram 100 t ha<sup>-1</sup> como quantidade padrão para a cultura em estudo com demais adubos orgânicos.

Para a adubação com biochar (T3-B20 e T4-B60), foram definidas 20 t ha<sup>-1</sup> (T3-B20) e 60 t ha<sup>-1</sup> (T4-B60). Os valores foram definidos com base em estudo de Sousa (2015), que mostrou que a aplicação de biochar para cultivo de rabanete, na faixa de concentração entre 20 e 60 t ha<sup>-1</sup> foi a que apresentou resultados positivos.

### 3.2.3.2 Adubação Mineral

#### *Análise do solo*

Para a adubação mineral (T5-NPK), foram realizados os processos de calagem, adubação de plantio e adubação de cobertura. Para esses processos, foi necessário realizar análise do solo.

As análises químicas do solo foram realizadas na profundidade 0-20 cm, no Laboratório de Análises de solo-LSO da Escola de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP). Os métodos utilizados foram: N total extraído pelo método de Kjeldahl (Balieiro; Alves, 2017); pH em CaCl<sub>2</sub>, matéria orgânica (M. O.) por colorimetria, fósforo (P) pelo método colorimétrico extraído com resina trocadora de íons, cálcio (Ca) e magnésio (Mg) extração com cloreto de potássio e determinação em espectrofotômetro de absorção atômica, potássio (K) extração com resina trocadora de íons e determinação em espectrofotômetro de emissão atômica, alumínio trocável (Al) pelo método titulométrico extraído com cloreto de potássio e acidez potencial (H+Al) extraído com tampão SMP.

#### *Calagem*

Conforme Minami e Tessarioli Neto (1997) e Trani *et al.* (1997), para o cultivo de rabanete, a calagem é necessária atentando-se para dois pontos: 1) elevar a saturação da CTC por bases para  $\geq 80\%$ ; 2) manter o teor de Mg  $\geq 9$  mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>.

Foi realizada a calagem de acordo com Chinelato (2018) e Quaggio e Raij (1997), seguindo a Equação 5:

$$NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = \frac{(V2 - V1) CTC}{10 PRNT} \quad (5)$$

Onde:

NC = quantidade necessária de calcário ( $t\ ha^{-1}$ );

V2 = saturação por bases desejada (%);

V1 = saturação por bases inicial (%);

CTC = capacidade de troca catiônica do solo ( $mmol_c\ dm^{-3}$ );

10 = fator de conversão da CTC de  $mmol_c\ dm^{-3}$  para  $cmol_c\ dm^{-3}$ ;

PRNT = poder reativo de neutralização total do calcário a ser aplicado.

Em função da quantidade de calcário ser muito pequena ( $400\ g\ m^{-2}$  ou  $120\ g\ canteiro^{-1}$ ), para melhor distribuição, o calcário foi misturado com  $0,5\ kg$  de solo e, em seguida, a mistura resultante foi adicionada ao restante do solo (nas parcelas do tratamento T5-NPK), sendo novamente misturado.

#### *Adubação mineral de plantio*

Para a adubação mineral de plantio, foi utilizada a formulação NPK 4-14-8 e a quantidade necessária dos nutrientes N, P e K foi definida de acordo com Minami e Tessarioli Neto (1997) e Trani *et al.* (1997), utilizando as orientações da Tabela 6.

Tabela 6 - Recomendações de adubação mineral de plantio para o rabanete.

Nitrogênio	P ( $mg\ dm^{-3}$ )			K ( $mmol_c\ dm^{-3}$ )		
	0-25	26-60	> 60	0-1,5	1,6-3,0	> 3,0
N ( $kg\ ha^{-1}$ )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ( $kg\ ha^{-1}$ )			K <sub>2</sub> O ( $kg\ ha^{-1}$ )		
<b>20</b>	360	<b>240</b>	180	180	<b>120</b>	60

Fonte: Adaptado de Minami e Tessarioli Neto (1997); Trani *et al.* (1997).

Conforme os dados da análise de solo (item 3.3.1), os valores selecionados da Tabela 6, foram  $240\ kg\ ha^{-1}$  de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>,  $120\ kg\ ha^{-1}$  de K<sub>2</sub>O e  $20\ kg\ ha^{-1}$  de N (valor indicado para aplicação independente da análise de solo) (Minami; Tessarioli Neto, 1997; Trani *et al.*, 1997). Então, conforme Bataglia (1997), para a definição do formulado NPK mais próximo, foi verificada a relação entre os nutrientes, sendo 1-12-6 (20-240-120). Assim, foi definido o formulado 4-14-8 cujas relações são as mais próximas dos valores da Tabela 6 e, também, o formulado pronto NPK 4-14-8, foi um dos formulados indicados pelo fornecedor das mudas de rabanetes.

A quantidade da adubação mineral com o formulado NPK 4-14-8, foi definida conforme cálculo para formulado NPK (Bataglia, 1997), através da Equação 6.

$$NA (kg ha^{-1}) = \frac{(N + P + K) 100}{(4 + 14 + 8)} \quad (6)$$

Onde:

NA = quantidade necessária de adubação mineral ( $kg ha^{-1}$ );

N = 20 de N, definido de acordo com a Tabela 6 ( $kg ha^{-1}$ );

P = 240 de  $P_2O_5$ , definido de acordo com a Tabela 6 ( $kg ha^{-1}$ );

K = 120 de  $K_2O$ , definido de acordo com a Tabela 6 ( $kg ha^{-1}$ );

4, 14 e 8 = são as constantes da relação N, P e K do formulado selecionado ( $kg ha^{-1}$ ).

Ainda, de acordo com Bataglia (1997), para conferir as quantidades de cada nutriente, foram feitos cálculos conforme as Equações 7, 8 e 9.

$$Nc (kg ha^{-1}) = \frac{(NA) 4}{100} \quad (7)$$

$$Pc (kg ha^{-1}) = \frac{(NA) 14}{100} \quad (8)$$

$$Kc (kg ha^{-1}) = \frac{(NA) 8}{100} \quad (9)$$

Onde:

NA = quantidade necessária de adubação mineral da Equação 6 ( $kg ha^{-1}$ );

Nc = quantidade de N calculado;

Pc = quantidade de  $P_2O_5$  calculado;

Kc = quantidade de  $K_2O$  calculado.

#### *Adubação mineral de cobertura*

Durante o experimento, para o T5-NPK, também foram realizadas coberturas com 7, 14 e 21 dias após o plantio, de N e  $K_2O$ , aproximadamente 120 e 60  $kg ha^{-1}$ , respectivamente, conforme Trani *et al.* (1997).

Tanto para a adubação inicial, quando para as parcelas de cobertura, foi feito o mesmo método de mistura utilizado na calagem.



### 3.2.3.3 Irrigação

As irrigações foram realizadas considerando aproximadamente 100 ml planta<sup>-1</sup>, conforme orientação do fornecedor das mudas, corroborado por Sousa (2015) que utilizou a mesma quantidade em seus estudos com rabanetes. Também, com o método pelo volume de terra, esse valor corresponde a cerca de 9,5% do volume de terra, também próximo do valor utilizado em estudos de Sperandio *et al.* (2021) que utilizou cerca de 8% do volume de terra. A irrigação foi dividida em duas doses diárias (de manhã e à tarde), com exceção dos dias chuvosos, onde houve a necessidade de irrigação apenas 1 vez ao dia no contra turno da chuva, ou nenhuma quando ocorreu chuva ao longo do dia.

Não houve a necessidade do controle de pragas. O controle de algumas ervas daninhas foi realizado manualmente, a incidência foi maior nos primeiros 10 dias, depois ocorreram raramente.

### 3.2.4 Colheita e Análise dos Parâmetros de Desenvolvimento dos Rabanetes

A colheita foi realizada após 27 dias do plantio das mudas. Foram consideradas 30 plantas úteis por parcela (450 no total), descartando as plantas na bordadura. As plantas foram colhidas, limpas, separadas e identificadas para cada uma das 15 parcelas. Em seguida, foram separadas em embalagens plásticas e depois foram levadas para o laboratório para análise dos parâmetros de desenvolvimento dos rabanetes:

- 1) diâmetro da raiz (DR);
- 2) massa fresca da raiz (MFR);
- 3) massa fresca da parte aérea (MFPA);
- 4) altura foliar (AF);
- 5) número de folhas (NF);
- 6) massa seca da raiz (MSR);
- 7) massa seca da parte aérea (MSPA);
- 8) percentual de raiz rachada (PRR);
- 9) número de raízes comerciais (NRC, com diâmetros maiores que 2 cm e não rachadas);
- 10) produtividade.

Os parâmetros de desenvolvimento foram considerados os mais usuais encontrados na literatura (Amorim *et al.*, 2014; Bonela *et al.*, 2017; Bonfim-Silva *et al.*, 2020; Castro *et al.*, 2016; Costa *et al.*, 2015; Ferreira *et al.*, 2011; Frihling, 2017; Kramer, 2018; Reis; Rodrigues;

Reis, 2012; Silva *et al.*, 2015; Sousa, 2015; Sousa, 2017; Souza *et al.*, 2020; Sperandio *et al.*, 2021). Alguns dos parâmetros analisados (relacionados às raízes) implicam diretamente em características comerciais, como o DR, PRR e NRC (relacionados à raízes comerciais) e o MFR e Produtividade (relacionados à produtividade). Os demais são parâmetros necessários para acompanhamento do desenvolvimento dos rabanetes.

### 3.2.5 Parâmetros de Desenvolvimento dos Rabanetes

No laboratório, as raízes foram identificadas relacionando o tratamento, repetição e planta de cada parcela, conforme exemplo da Figura 11 (A e B). As folhas (parte aérea) foram separadas das raízes, amarradas com barbante cada feixe pertencente a cada raiz para não serem separadas durante as análises e a secagem. Também foram identificadas com etiquetas de papel relacionando tratamento, repetição e planta correspondendo à sua raiz, conforme exemplo da Figura 11C.

Figura 11 - A e B) Raízes identificadas; C) Folhas identificadas.



T1: tratamento 1 (de 1 a 5); 2: repetição 2 (de 1 a 3); 1: planta 1 (de 1 a 30).

Fonte: Figura 11A - Adaptado de Minami e Tessarioli Neto (1997); Figuras 12B e 12C - Próprio autor.

#### *Diâmetro da Raiz*

O diâmetro da raiz (DR) foi determinado através da média dos diâmetros transversal e longitudinal conforme a Equação 10, medidos no centro da raiz com o auxílio de um paquímetro digital com precisão de duas casas decimais.

$$DR (mm) = \frac{(DT + DL)}{2} \quad (10)$$

Onde:

DR = diâmetro da raiz (mm);

DT = diâmetro transversal da raiz (mm);

DL = diâmetro longitudinal da raiz (mm).

#### *Massa Fresca da Raiz e Massa Fresca da Parte Aérea*

As massas frescas das raízes (MFR) e da parte aérea (MFPA) foram determinadas através da pesagem em balança digital da marca AND, modelo EK-2000i.

#### *Altura Foliar e Número de Folhas*

A altura foliar (AF) foi determinada através de uma régua graduada, considerando a altura da folha mais alta (Bonfim-Silva *et al.*, 2020; Lopes *et al.*, 2019; Marcos Filho; Kikuti, 2006; Sperandio *et al.*, 2021).

O número de folhas (NF) por planta foi verificado por contagem simples.

#### *Massa Seca da Raiz e Massa Seca da Parte Aérea*

Para as massas secas (MSR e MSPA), os valores foram determinados também na balança digital, após secagem em estufa de circulação de ar forçada da LUCADEMA, modelo 82/1152, a 50 °C até atingir massa constante. Para a secagem, as raízes foram dispostas espaçadas e em sequência nas bandejas da estufa (Figura 12A) para manter a ordem de identificação, pois ao secar, grande parte tem a identificação ilegível, principalmente as menores. As folhas também foram dispostas nas bandejas da estufa (Figura 12B), porém não houve necessidade de espaçamento e modo sequencial, pois a identificação foi feita em etiquetas.

Figura 12 - A) Raízes em bandeja na estufa; B) Folhas em bandeja na estufa.



Fonte: Próprio autor.

### *Percentual de Raiz Rachada*

O percentual de raiz rachada (PRR) foi determinado conforme a Equação 12.

$$PRR (\%) = \left( \frac{RR}{30} \right) * 100 \quad (12)$$

Onde:

PRR = percentual de raiz rachada (%);

RR = número de raiz rachada por parcela (un.);

30 = número de plantas por parcela (un.);

100 = constante para apresentação do valor em percentual.

### *Número de Raiz Comercial*

O número de raízes comerciais (NRC) foi verificado considerando o número de raízes com diâmetro > 2 cm (Ferreira *et al.*, 2011; Sousa, 2015) através da utilização do paquímetro digital e destas, as que não estavam rachadas, sendo verificadas por contagem simples.

### *Produtividade*

A produtividade foi calculada pela razão entre a massa fresca da raiz e a área ocupada de plantio, conforme a Equação 13.

$$Produtividade (t ha^{-1}) = \left( \frac{MFR * 40}{0,3} \right) * \left( \frac{10.000}{1.000.000} \right) \quad (13)$$

Onde:

Produtividade = produtividade calculada (t ha<sup>-1</sup>);

MFR = média da massa fresca da raiz (g);

40 = número de plantas por parcela (un.);

0,3 = área de cada parcela (m<sup>2</sup>);

10.000 = fator de conversão de m<sup>2</sup> para ha;

1.000.000 = fator de conversão de g para t.

### 3.2.6 Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectroscopia por Energia Dispersiva

Após as determinações de massas secas das raízes e da parte aérea, as biomassas secas foram separadas em embalagens plásticas por tratamentos (T1 a T5) e foram levadas para o Laboratório. O material foi triturado com o auxílio de um moinho de rotor vertical com facas móveis e fixas do tipo Willey da MARCONI, modelo MA340 com a utilização da peneira de 10 mesh.

As biomassas trituradas continuaram separadas por tratamentos e foram levadas ao Laboratório de Biomassa e Bioenergia. Para a realização do processo de cinzas, foi utilizada a adaptação da norma ASTM – American Society for Testing and Materials, E1755-01 (2020). Foram pesados de 3 a 4 g das biomassas e colocadas em cadinhos previamente calcinados a 750 °C por 20 min. Depois os cadinhos, sem tampa, com as amostras foram inseridos no forno mufla, com a temperatura de 600 °C por 6 h, método adaptado. Então os cadinhos foram resfriados em estufa a 50 °C e inseridos em um dessecador por 1 h.

Para as análises de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia Eletrônica por Energia Dispersiva (EDS), foram utilizadas essas amostras das cinzas das raízes e das folhas. Foram realizadas análises em triplicatas e valores coletados em vários pontos de análise, dos componentes previamente estabelecidos de macro e micronutrientes (Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio, Boro, Cobre, Ferro, Manganês e Zinco) via EDS (Boaretto *et al.*, 2009; MAPA, 2017). Os valores em percentual de massa dos componentes das amostras foi o resultado da média das análises. O equipamento utilizado para as análises foi da HITACHI, modelo TM3000, com tensão de aceleração igual a 15,0 kV.

### 3.2.7 Efeitos do Biochar no Solo

As análises químicas do solo foram feitas em três momentos:

1º momento: antes do primeiro ciclo de plantio dos rabanetes;

2º momento: após o primeiro ciclo de plantio;

3º momento: após o segundo ciclo de plantio.

Exceto para o solo com tratamento T5-NPK no 1º momento, foram feitas análises de todos os tratamentos em cada um dos ciclos.

Não foi realizada a análise de solo do tratamento T5-NPK no 1º momento (antes do primeiro ciclo), pois como descrito no item 3.2.3.2, foi necessária a análise antes da adubação. Portanto para este tratamento (apenas no 1º momento), os valores referentes ao N, P, K e V%

foram calculados conforme item 3.2.3.2 e as unidades de medidas destas determinações (N, P, K e V%) foram convertidas de acordo com a tabela de conversões de unidades da Arasolo (2014) para ficarem coerentes com as unidades dos demais tratamentos.

As análises químicas do solo foram realizadas na profundidade 0-20 cm, no Laboratório de Análises de solo-LSO da Escola de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP).

Para as determinações de N total, pH, matéria orgânica (M. O.), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), alumínio trocável (Al) e acidez potencial (H+Al) foram seguidos conforme descrito no item 3.2.3.2.

Para as demais determinações os métodos seguidos foram: boro (B) por extração com água quente e determinação por colorimetria; cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e ferro (Fe), por extração com DTPA e determinação por espectrofotometria de absorção atômica (Raij *et al.*, 2001).

Para SB, CTC, V% e m%; o Laboratório de Análises de solo-LSO da Escola de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP) indicou que as determinações foram realizadas por cálculos. Esses cálculos foram realizados conforme as Equações 14 a 17 (Ronquim, 2010).

$$SB \text{ (mmolc dm}^{-3}\text{)} = (\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K}) \quad (14)$$

$$CTC \text{ (mmolc dm}^{-3}\text{)} = (SB + (H + Al)) \quad (15)$$

$$V \text{ (\%)} = \left( \frac{SB}{CTC} \right) * 100 \quad (16)$$

$$m \text{ (\%)} = \left( \frac{Al}{CTC - H} \right) * 100 \quad (17)$$

Onde:

SB = soma de bases trocáveis (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>);

Ca = cálcio trocável (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>);

Mg = magnésio trocável (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>);

K = potássio trocável (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>);

CTC = capacidade de troca catiônica (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>);

H + Al = hidrogênio e alumínio – acidez de troca (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>);

V% = saturação da CTC por bases;

m% = saturação por alumínio;

Nota: (CTC – H) na Equação 17, é a CTC efetiva.

### **3.2.8 Análise Estatística**

Foram realizadas as médias com desvio padrão e análises de variância (ANOVA) com nível de significância de 5% e foi teste de Tukey (para a comparação das médias que apresentaram diferenças significativas pela ANOVA) para todas as análises relacionadas aos parâmetros de desenvolvimento dos rabanetes.

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.3.1 Caracterização do Solo para Fins de Adubação Mineral (T5-NPK)

Inicialmente foi feita a caracterização do solo pré-tratamento para fins de cálculos para o tratamento com adubação mineral NPK (T5-NPK), envolvendo calagem e adubação de plantio (Tabela 7).

Tabela 7 - Propriedades químicas do solo.

<b>N total</b> <b>mg kg<sup>-1</sup></b>	<b>pH</b> <b>CaCl<sub>2</sub></b>	<b>M. O.</b> <b>g dm<sup>-3</sup></b>	<b>P</b> <b>mg dm<sup>-3</sup></b>	<b>Ca</b> <b>----- mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> -----</b>	<b>Mg</b> <b>----- mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> -----</b>	<b>K</b> <b>-----</b>
1484	4,38	21,8	28,2	31,4	14,6	2,56
<b>Al</b> <b>----- mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> -----</b>	<b>H+Al</b> <b>----- mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> -----</b>	<b>SB</b> <b>----- mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> -----</b>	<b>CTC</b> <b>----- mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> -----</b>	<b>V</b> <b>----- % -----</b>	<b>m</b> <b>-----</b>	
6,3	54,9	48,6	103,5	47	11	

SB: soma de bases trocáveis; CTC: capacidade de troca catiônica; V: saturação da CTC por bases; m: saturação por alumínio.

Fonte: Próprio autor.

#### *Calagem*

Conforme a Tabela 7, houve a necessidade de calagem para elevar a saturação CTC por bases para mínimo de 80% (Minami; Tessarioli Neto, 1997; Trani *et al.* (1997), pois a saturação da CTC por bases estava em 47%. Com relação à quantidade mínima de 9 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (Minami; Tessarioli Neto, 1997; Trani *et al.* (1997), não houve necessidade de correção, pois o solo não demonstrou deficiência, com valor de 14,6 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>.

O cálculo da quantidade necessária de calagem para cada parcela foi de aproximadamente 4 t ha<sup>-1</sup>, resultando em 120 g por parcela.

#### *Adubação mineral de plantio*

Os resultados de P (28,2 mg dm<sup>-3</sup>) e K (2,56 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), na análise do solo possibilitaram o cálculo da dosagem da adubação mineral, do formulado NPK 4-14-8, de aproximadamente 1.360 kg ha<sup>-1</sup>. Após a verificação das quantidades de cada nutriente, foram encontrados valores de aproximadamente 58, 204 e 116 para N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente. Como as necessidades recomendadas eram de 20, 240 e 120 (Minami; Tessarioli Neto, 1997; Trani *et al.*, 1997), foi acrescentado cerca de 20% do formulado NPK 4-14-8 para ajustar e garantir a quantidade mínima de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O (com aproximadamente 18 e 4% abaixo do



recomendado). Dessa forma a quantidade calculada do formulado NPK 4-14-8 foi de aproximadamente 1,8 t ha<sup>-1</sup>.

### 3.3.2 Parâmetros de Desenvolvimento dos Rabanetes

A Tabela 8 apresenta os dados dos parâmetros de desenvolvimento analisados dos rabanetes: diâmetro da raiz (DR); massa fresca da raiz (MFR); massa fresca da parte aérea (MFPA); altura foliar (AF); número de folhas (NF); massa seca da raiz (MSR); massa seca da parte aérea (MSPA); percentual de raiz rachada (PRR); número de raízes comerciais (NRC) e produtividade, conforme abordados no item 3.2.4.

Tabela 8 - Parâmetros de desenvolvimento dos rabanetes.

Tratamentos	DR Mm	MFR g planta <sup>-1</sup>	MFPA g planta <sup>-1</sup>	AF cm
T1-TES	27,81 (3,40) a	11,37 (2,82) a	4,80 (1,57) a	10,15 (1,90) a
T2-CDF	31,81 (4,66) b	17,02 (3,44) b	9,56 (3,33) b,c	15,02 (2,48) d
T3-B20	33,79 (3,67) b,c	18,88 (3,63) b,c	8,71 (3,32) b	12,77 (2,80) b
T4-B60	35,53 (3,44) c	21,42 (3,97) c	9,45 (3,24) b,c	13,46 (2,27) b,c
T5-NPK	33,19 (4,88) b	17,51 (3,67) b	10,77 (3,66) c	14,55 (2,16) c,d
Tratamentos	NF un.	MSR g planta <sup>-1</sup>	MSPA	
T1-TES	9 (1,23)	0,68 (0,12) a	0,50 (0,04) a	
T2-CDF	9 (1,42)	1,02 (0,26) b	0,80 (0,15) b	
T3-B20	9 (1,33)	1,02 (0,28) b	0,62 (0,13) c	
T4-B60	10 (1,20)	1,21 (0,34) c	0,64 (0,18) c	
T5-NPK	10 (1,33)	0,99 (0,39) b	0,65 (0,16) c	
Tratamentos	PRR %	NRC un.	Produtividade t ha <sup>-1</sup>	
T1-TES	15,56 (0,04)	24 (1,52)	15,16 (1,49) a	
T2-CDF	16,67 (0,03)	25 (1,15)	22,69 (2,01) b	
T3-B20	16,67 (0,03)	25 (1,00)	25,17 (1,46) b,c	
T4-B60	16,67 (0,03)	25 (1,00)	28,55 (1,40) c	
T5-NPK	14,44 (0,05)	26 (1,53)	23,35 (1,37) b	

T1-TES (testemunha); T2-CDF (cama de frango, 100 t ha<sup>-1</sup>); T3-B20 (biochar 20 t ha<sup>-1</sup>); T4-B60 (biochar 60 t ha<sup>-1</sup>); T5-NPK (NPK 4-14-8).

Os valores representam as médias seguidas do desvio padrão (valores entre parênteses).

Médias sem letras não apresentaram diferenças significativas pela Análise de Variância.

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Os dados (PRR, NRC e Produtividade) representam os valores médios por tratamento, os demais representam os valores médios por planta em cada tratamento.

Fonte: Próprio autor.

### *Diâmetro da Raiz*

O rabanete é uma cultura, com fins, para o consumo dos tubérculos (raízes) (Lee; Park, 2017). O estudo do sistema radicular, como o diâmetro das raízes, é importante para analisar a eficiência da absorção dos nutrientes pelas plantas (Bonfim-Silva *et al.*, 2020). Os tratamentos apresentaram variações consideráveis nos diâmetros das raízes (Figura 13), sendo notável a resposta à absorção pela disponibilidade dos nutrientes dos diferentes tratamentos.

Figura 13 - Variações nos diâmetros das raízes e na altura foliar.



T1-TEST (testemunha) à esq. e T4-B60 (biochar) à dir.

Fonte: Próprio autor (2022).

O tratamento T1-TEST, apresentou o menor diâmetro médio (27,81 mm). O resultado mostra a necessidade de adubação para se obter tubérculos de maior tamanho (com maiores diâmetros). Os tratamentos T2-CDF (adubação orgânica com cama de frango), T5-NPK (adubação mineral) e T3-B20 (biochar com dose de 20 t ha<sup>-1</sup>) não apresentaram diferenças estatisticamente significativas (31,81, 33,19 e 33,79 mm, respectivamente). Esses valores estão bem próximos ao encontrado em estudo de Maia *et al.* (2018) e Silva *et al.* (2015a), onde observaram diâmetros de 31 e 32 mm, respectivamente, com adubação orgânica a base de esterco bovino com a cultivar Crimson Gigante. Ainda, Rodrigues, Reis e Reis (2013), encontraram diâmetros de 32 mm com esterco de galinha e adubação mineral, com a cultivar Crimson Gigante. Ainda, o T3-B20 também apresentou valor sem diferença estatisticamente significativa ao tratamento T4-B60 (fertilização com biochar a dose de 60 t ha<sup>-1</sup>) que apresentou diâmetro de 35,53 mm, mostrando que os tratamentos com fertilização com biochar (T3-B20 e T4-B60) apresentaram melhores resultados. Os resultados mostram que a aplicação do biochar teve um efeito positivo no crescimento (diâmetro) dos tubérculos.

### *Massa Fresca da Raiz*

Todos os tratamentos apresentaram variações também na massa fresca das raízes. O T1- TES (sem fertilização) teve o menor valor, com 11,37 g. Não houve diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos T3-B20, T5-NPK e T2-CDF, com 18,88; 17,51 e 17,02 g, respectivamente. Os resultados mostram a necessidade de adubação para o desenvolvimento da massa fresca da raiz. A aplicação do biochar foi eficiente para a produção de massa fresca da raiz. O tratamento T4-B60 mostrou o melhor resultado (21,42 g). Entretanto, não apresentou diferença estatisticamente significativa do T3-B20 (18,88 g).

### *Massa Fresca da Parte Aérea*

Os valores correspondentes à massa fresca da parte aérea, mostraram que o T1- TES (sem fertilização) teve o resultado mais baixo (4,8 g), seguido do tratamento T3-B20 com 8,71 g, que não diferiu estatisticamente dos tratamentos T4-B60 e T2-CDF, que apresentaram valores de 9,45 e 9,46 g. Os tratamentos T4-B60 e T2-CDF não diferiram significativamente do T5-NPK (10,77 g), sendo os melhores resultados, ficando próximos de valor encontrado por Frihling (2017), de 9,83 g com rabanetes Saxa em fertilização mineral. Possivelmente o destaque para esses tratamentos, principalmente para o T2-CDF e o T5-NPK, na massa fresca da parte aérea é a disponibilidade de nitrogênio se comparada com os demais tratamentos, pois segundo Kramer (2018) e Vitti *et al.* (2007) a fertilização com maior teor de N, pode favorecer o desenvolvimento da parte aérea dos rabanetes. Ainda, segundo Cerqueira *et al.* (2016) e Higuti *et al.* (2010), os resultados para a massa fresca e seca da parte aérea (folhas) podem estar relacionados como fato de que o nitrogênio é fundamental para promover o incremento dessa biomassa vegetal. Para o T2-CDF, na cama de frango há grande disponibilidade de N, sendo um dos elementos de maior concentração, cerca de 3% (Pereira *et al.*, 2019) e para o T5-NPK também, pois a disponibilidade de N foi atendida em quantidade superior ao mínimo necessário em função da necessidade dos elementos P e K no formulado NPK 4-14-8, calculado conforme item 3.2. Parte desse elemento é volatilizado durante a pirólise, justificando os tratamentos com biochar ficarem com valores um pouco inferior, no entanto o tratamento T4-B60 (maior dosagem de biochar) não diferiu estatisticamente dos tratamentos T2-CDF e T5-NPK, mostrando que a aplicação do biochar também foi eficiente para a produção de massa fresca da parte aérea.

### *Altura Foliar*

Outro parâmetro de análise é a altura foliar, que também pode ser observada na Figura 13. O T1-TES (sem fertilização) apresentou o menor resultado (10,15 cm) para a altura foliar. O T3-B20 apresentou valor de 12,77 cm, o que não diferiu estatisticamente de 13,46 cm do T4-B60 e, este, não diferiu do T5-NPK, com 14,55 cm. Os destaques estão para o T5-NPK (14,55 cm) juntamente com o T2-CDF (15,02 cm) que apresentaram o melhor resultado. Possivelmente esse resultado está relacionado com a disponibilidade de N e o K, pois é o nutriente mais sintetizado pela parte aérea (folhas) das plantas. Bonfim-Silva *et al.* (2020), aborda que compostos orgânicos, como dejetos de animais costumam ser fontes de nitrogênio e potássio, que são responsáveis pelo crescimento das culturas. Ainda, em estudos de Subedi *et al.* (2018), com adubação orgânica, foram encontrados valores máximos de aproximadamente 15 cm na altura de rabanetes, e Lopes *et al.* (2019) encontrou valores de 11,36 cm, com aproximadamente 30 dias do plantio. Exceto o T1-TES (sem fertilização), os demais tratamentos apresentaram valores próximos aos encontrados em estudos anteriores.

### *Número de Folhas*

O parâmetro de desenvolvimento relacionado ao número de folhas é uma variável importante para inferir sobre a atividade de realização da fotossíntese das plantas, uma vez que a maior quantidade de folhas proporciona maior área de captação de energia solar para a realização da fotossíntese (Bonfim-Silva *et al.*, 2020; Linhares *et al.*, 2010). Os resultados mostraram que as diferentes fontes e doses de fertilização, não tiveram efeito sobre o número de folhas, pois todos os tratamentos apresentaram entre 9 e 10 folhas planta<sup>-1</sup>. Esse resultado é bem próximo ao de estudos de Sperandio *et al.* (2021) e Mani e Anburani (2018) que encontraram valores de 9 folhas planta<sup>-1</sup>. Frihling (2017) também não observou diferença estatística no número de folhas com estudos em diferentes fontes de fertilização orgânica e mineral.

### *Massa Seca da Raiz*

Os valores de massa seca da raiz, mostraram resultados esperados em função dos valores de massa fresca da raiz. Com destaque também para o T4-B60 que obteve o melhor resultado com 1,21 g com resultado próximo ao encontrado por Frihling (2017) (1,23 g) com adubação mineral em cultivo de rabanetes Saxa. Os tratamentos T5-NPK, T2-CDF e T3-B20 com valores de 0,99 e 1,02, não diferiram estatisticamente. Frihling (2017) também encontrou valor de 0,99 g em estudo com adubação com cama de aviário e 0,69 g com testemunha, este bem próximo

ao T1-TES (sem fertilização) do presente estudo, com 0,68. Os resultados comprovam a eficiência da aplicação do biochar para o desenvolvimento dos tubérculos. Segundo Bonfim-Silva *et al.* (2020), o fósforo está associado ao aumento da massa seca da raiz, pois age principalmente em aspectos da morfologia e arquitetura da raiz, implicando no desenvolvimento radicular. No biochar, o fósforo é um elemento presente e um dos elementos com maior concentração (Tabela 4, Cap. 2).

#### *Massa Seca da Parte Aérea*

Os valores de massa seca da parte aérea, também corresponderam aos valores de massa fresca da parte aérea. O T1-TES (sem fertilização) obteve o resultado mais baixo (0,5 g). O tratamento T2-CDF mostrou o melhor resultado (0,8 g), os tratamentos T5-NPK, T4-B60 e T3-B20 não apresentaram diferenças estatisticamente significativas com valores de 0,65; 0,64 e 0,62, respectivamente. Os valores estão próximos a encontrados por Kramer (2018) que verificou 0,58 e 0,64 g para as cultivares Gigante Siculo e Crimson Gigante, respectivamente; e 0,54 g encontrado em estudos de Faria, Gomes e Silva (2013) para a cultivar Cometa. A relação entre T2-CDF e T5-NPK por apresentarem resultados que não apresentaram diferenças significativas no parâmetro de massa fresca da parte aérea e apresentarem diferenças na massa seca da parte aérea, pode ser explicado pelo fato da parte aérea do T2-CDF estar, possivelmente, com menor umidade antes do processo de secagem.

#### *Percentual de Raiz Rachada e Número de Raízes Comerciais*

O parâmetro que mensura o percentual de raízes rachadas é importante, pois implica na qualidade comercial das raízes. De acordo com a Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudanças – ABCSEM (2020), raízes rachadas são frequentes nos rabanetes. Todos os tratamentos apresentaram raízes rachadas (Figura 14). O percentual variou entre 14,44 e 16,67%, ficando abaixo de valores encontrados por Costa *et al.* (2006) (19,6 e 29,3%) com rabanetes cultivados com diferentes fontes de fertilização. Kramer (2018) obteve valores de 12,20 e 25,27% para as cultivares Gigante Siculo e Crimson Gigante, respectivamente. Segundo o autor, pode estar relacionado com a genética da cultivar. Para Silva *et al.* (2015b), as condições ambientais durante o cultivo também podem influenciar no percentual de raízes rachadas. Outro fator que pode ocasionar rachaduras nas raízes são temperaturas mais altas, em torno de 30 °C, devido à formação de lignina ao redor das células, ocasionadas pelo aquecimento (Costa *et al.*, 2006).

Figura 14 - Raízes rachadas.



Fonte: Próprio autor (2022).

Cardoso e Hiraki (2001) e Galvão (2008) confirmam que com melhores condições de desenvolvimento do rabanete, há o maior crescimento das raízes, e conseqüentemente, maior percentual de raízes rachadas. No entanto, a análise do percentual de raiz rachada e o número de raízes comerciais do presente estudo apresentaram resultados sem diferenças estatisticamente significativas. Então para este experimento, mesmo com o maior desenvolvimento das raízes, não houve implicação no aumento de raízes rachadas. Os resultados mostram que, assim como o parâmetro número de folhas, as fontes e doses de fertilização utilizadas, não implicaram em conseqüências significativas nestes parâmetros de desenvolvimento dos rabanetes. Ou seja, a aplicação do biochar não interferiu no parâmetro de raízes rachadas.

### *Produtividade*

A produtividade dos rabanetes, possivelmente um dos parâmetros mais relevante do aspecto comercial das análises, mostrou que o T1-TES apresentou o menor valor (15,16 t ha<sup>-1</sup>). Demonstrando que a deficiência nutricional afeta negativamente a produtividade. Os tratamentos T2-CDF (adubação orgânica) e T5-NPK (adubação mineral) mostraram valores maiores (22,69 e 23,35 t ha<sup>-1</sup>) se comparados com 14,32 t ha<sup>-1</sup> encontrado em estudos de Mesquita *et al.* (2017) com a cultivar Saxa com adubação orgânica e com 15,12 t ha<sup>-1</sup> encontrado em estudos de Frihling (2017) com adubação mineral. Ainda, os tratamentos T2-CDF, T5-NPK e T3-B20 (25,17 t ha<sup>-1</sup>) apresentaram resultados sem diferenças estatisticamente significativas. O T3-B20 também não diferiu com significância estatística do T4-B60 (28,55 t

ha<sup>-1</sup>), com os melhores resultados. O T4-B60 apresentou produtividade de 3,38 t ha<sup>-1</sup> (13,4%) a mais que o T3-B20 e 5,20 t ha<sup>-1</sup> (22,2%) a mais que o T5-NPK. Ou seja, as maiores produtividades foram obtidas nos tratamentos com o biochar. Como a produtividade é um dos principais parâmetros para avaliação, isto mostra o potencial da aplicação do biochar no cultivo de rabanetes. Os 2 tratamentos com biochar apresentaram resultados superiores à adubação convencional (NPK).

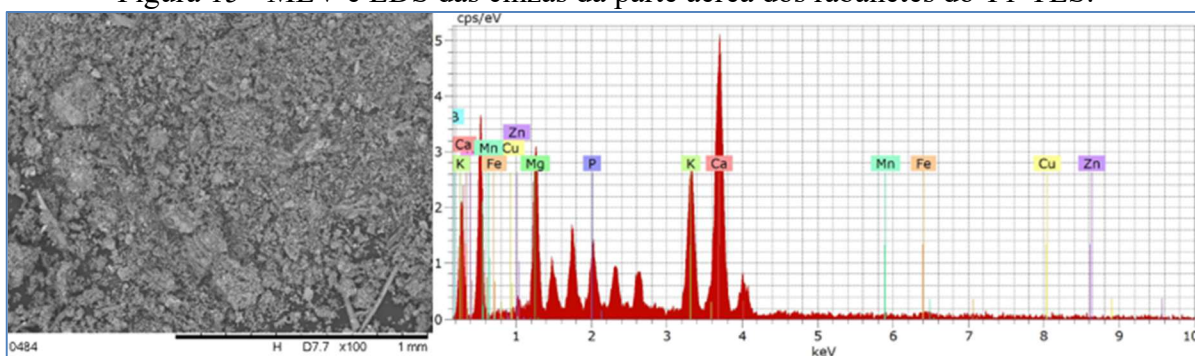
Na maioria dos parâmetros, os tratamentos com algum tipo de fertilização (T2-CDF, T3-B20, T4-B60 e T5-NPK) influenciaram positivamente nas respostas das plantas nos parâmetros de desenvolvimento e apresentaram melhores resultados que a testemunha (T1-TES). Isso demonstra que a quantidade de matéria orgânica e nutrientes contidos no solo não eram suficientes para o pleno desenvolvimento das plantas. Os tratamentos T2-CDF e T5-NPK apresentaram resultados estatisticamente sem diferenças significativas para a maioria dos tratamentos. Os tratamentos com biochar foram os que apresentaram o melhor desempenho em quase todos os parâmetros avaliados, exceto o parâmetro altura foliar e massa seca da parte aérea. Isso mostra que os tratamentos com biochar, embora não tenha obtido os melhores resultados na parte aérea, foram suficientes para não prejudicar o desenvolvimento dos tubérculos (raízes). Os parâmetros mostraram resultados sem diferenças estatísticas significativas entre T3-B20 e T4-B60, exceto a massa seca das raízes, que respondeu melhor ao T4-B60 (maior dosagem de biochar). Sousa (2015) também verificou melhores resultados com aplicação de biochar na dose de 60 t ha<sup>-1</sup> em comparação com a dose de 20 t ha<sup>-1</sup>. O tratamento T5-NPK também obteve bons resultados, não diferindo estatisticamente do T3-B20 na maioria dos resultados, no entanto ficando inferior ao T4-B60 em vários parâmetros analisados.

### **3.3.3 Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectroscopia por Energia Dispersiva**

As Figuras 15, 16, 17, 18 e 19 mostram, para cada um dos tratamentos, o MEV (à esquerda) e o gráfico da análise de EDS (à direita) com os elementos contidos nas amostras das cinzas da parte aérea dos rabanetes.

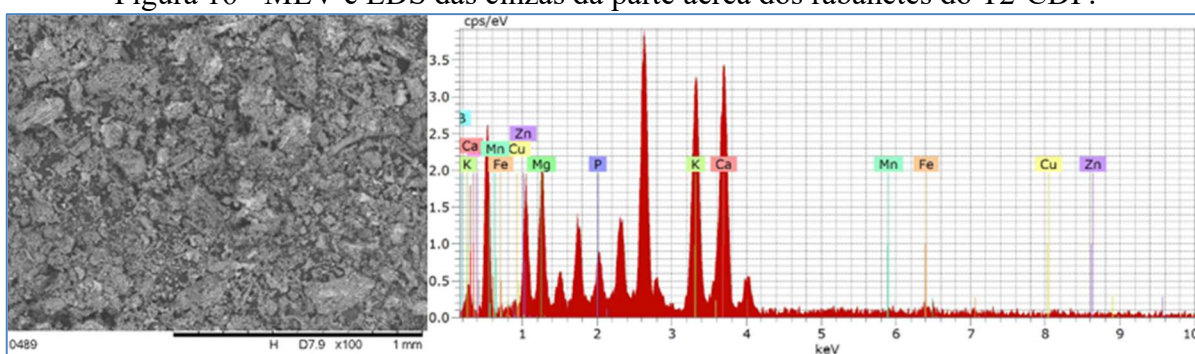


Figura 15 - MEV e EDS das cinzas da parte aérea dos rabanetes do T1-TES.



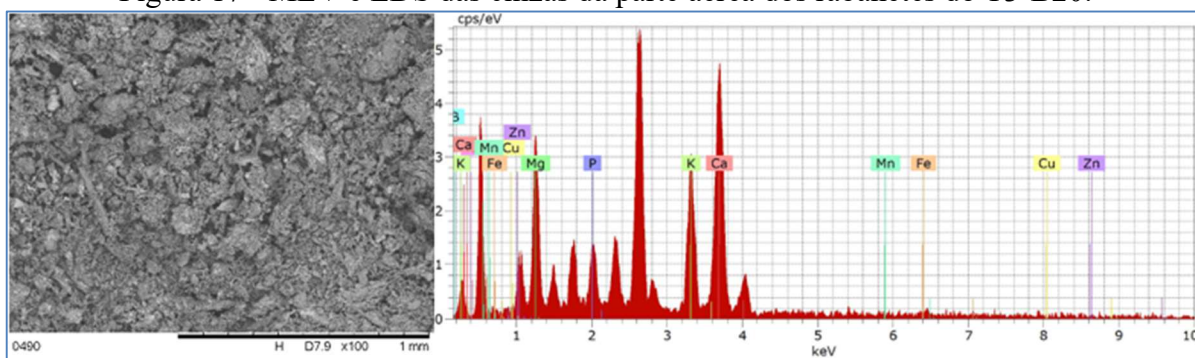
Fonte: Próprio autor (2022).

Figura 16 - MEV e EDS das cinzas da parte aérea dos rabanetes do T2-CDF.



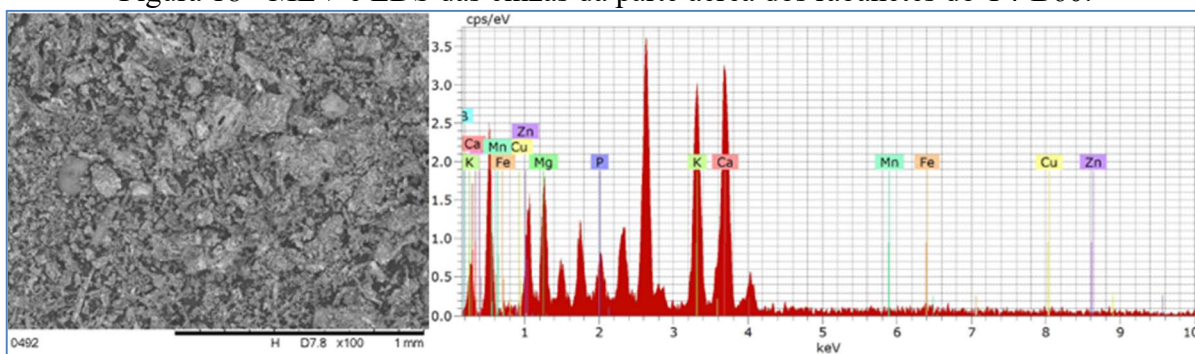
Fonte: Próprio autor (2022).

Figura 17 - MEV e EDS das cinzas da parte aérea dos rabanetes do T3-B20.



Fonte: Próprio autor (2022).

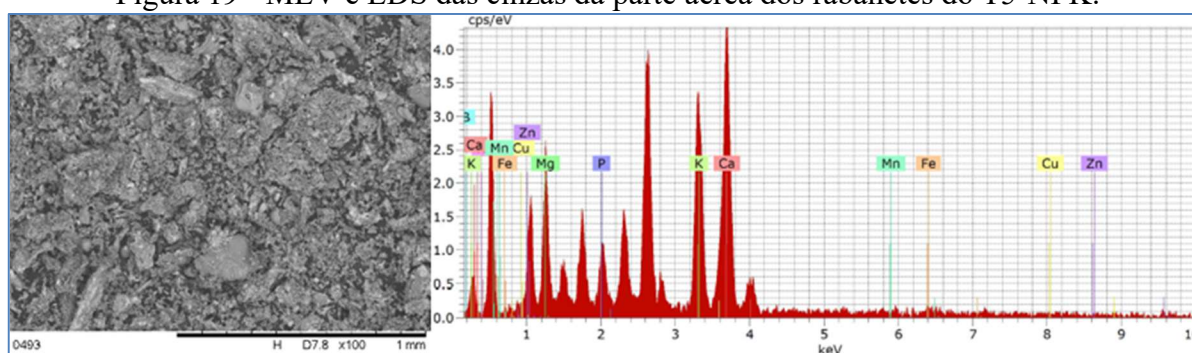
Figura 18 - MEV e EDS das cinzas da parte aérea dos rabanetes do T4-B60.



Fonte: Próprio autor (2022).



Figura 19 - MEV e EDS das cinzas da parte aérea dos rabanetes do T5-NPK.



Fonte: Próprio autor (2022).

O MEV mostrou que as partículas das cinzas das folhas dos rabanetes, são heterogêneas e não apresentam diferenças entre os tratamentos, mantendo aspectos similares. O gráfico de EDS também mostrou características muito similares dos elementos analisados para todos os tratamentos. A análise de MEV e o gráfico de EDS apresentaram resultados mostrando que os tratamentos não tiveram efeito sobre as características observáveis das cinzas das folhas dos rabanetes, bem como dos elementos observáveis contidos.

A Tabela 9 apresenta os elementos contidos nas cinzas da parte aérea dos rabanetes para cada um dos tratamentos. Os valores são resultantes das médias dos valores obtidos em triplicatas das análises de EDS.

Tabela 9 - EDS das cinzas da parte aérea dos rabanetes

Elemento	T1-TES	T2-CDF	T3-B20	T4-B60	T5-NPK
	norm. C [wt. %]				
Cálcio	41,99 (0,74)	40,34 (0,93)	40,22 (1,69)	39,82 (1,53)	40,31 (1,65)
Potássio	33,61 (2,22)	33,87 (0,56)	32,06 (2,68)	33,21 (1,10)	32,50 (0,96)
Magnésio	12,57 (3,06)	11,49 (1,24)	13,34 (1,15)	12,96 (0,66)	12,39 (1,18)
Fósforo	4,27 (0,85)	4,93 (0,49)	5,01 (1,01)	4,45 (0,47)	4,53 (0,50)
Boro	4,12 (3,26)	4,83 (0,37)	5,74 (0,88)	5,21 (0,83)	5,99 (0,82)
Ferro	1,92 (0,31)	1,96 (0,66)	2,00 (0,45)	2,14 (0,14)	2,36 (0,27)
Zinco	0,99 (0,43)	1,16 (0,51)	1,19 (0,73)	1,03 (0,06)	0,92 (0,46)
Cobre	0,32 (0,17) a	0,76 (0,22) b	0,25 (0,19) a	0,76 (0,25) b	0,53 (0,25) a,b
Manganês	0,22 (0,10) a	0,66 (0,28) b	0,18 (0,11) a	0,42 (0,24) a,b	0,46 (0,19) a,b
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

A indicação “norm. C [wt. %]”, significa que os valores são referentes à concentração normalizada no percentual de massa do elemento.

Os valores representam as médias das triplicatas seguidas do desvio padrão (valores entre parênteses).

Apenas houve diferenças estatisticamente significativas pela Análise de Variância (ANOVA) para os elementos cobre (Cu) e manganês (Mn).

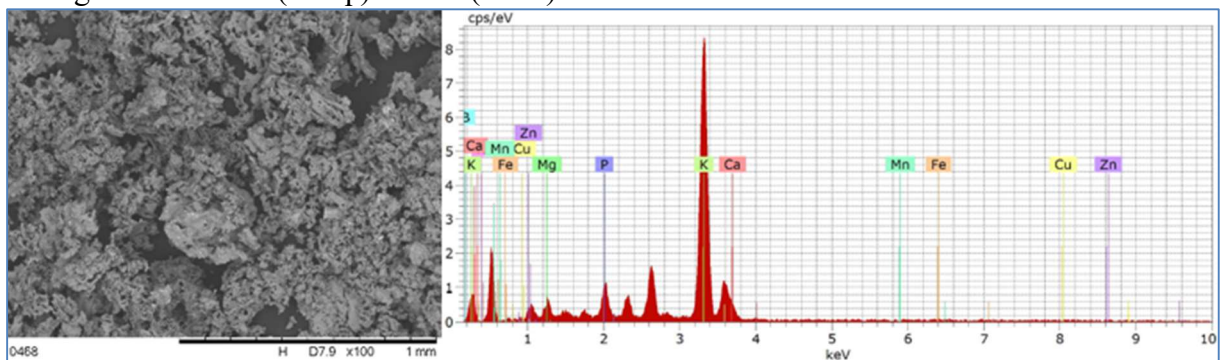
Médias seguidas pelas mesmas letras na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Próprio autor.

Exceto para o cobre e o manganês, que são os elementos de menor concentração em percentual de massa relativo, os demais elementos não apresentaram diferenças estatisticamente significativas. Em comparação entre todos os tratamentos, em percentual de massa, os elementos apresentaram as mesmas proporções, mostrando que os tratamentos não tiveram efeito sobre a proporção relativa dos nutrientes contidos nas cinzas das folhas dos rabanetes. Para os tratamentos com Biochar, em estudo similar com biochar de lodo de esgoto, exceto para o boro, Sousa (2015) também encontrou valores sem diferenças estatísticas para a maioria dos elementos.

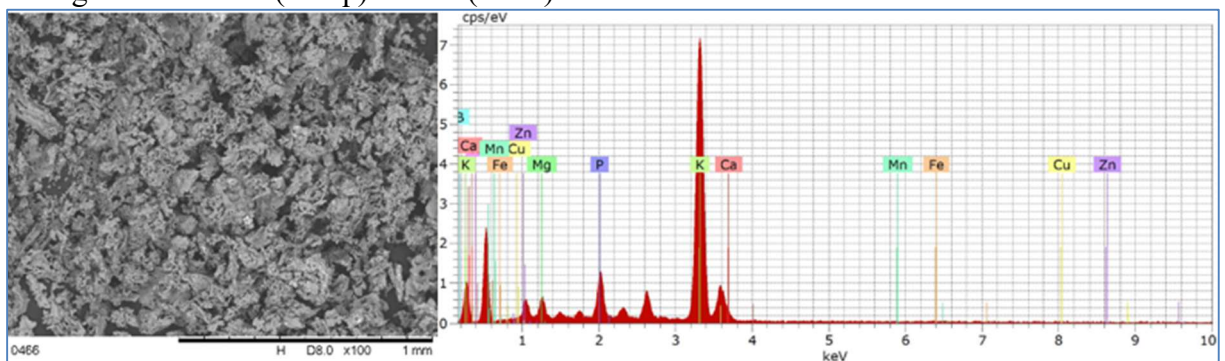
As Figuras 20, 21, 22, 23 e 24 mostram, para cada um dos tratamentos, o MEV (à esquerda) e o gráfico da análise de EDS (à direita) com os elementos contidos nas amostras das cinzas das raízes dos rabanetes.

Figura 20 - MEV (à esq.) e EDS (à dir.) das cinzas das raízes dos rabanetes do T1-TES.



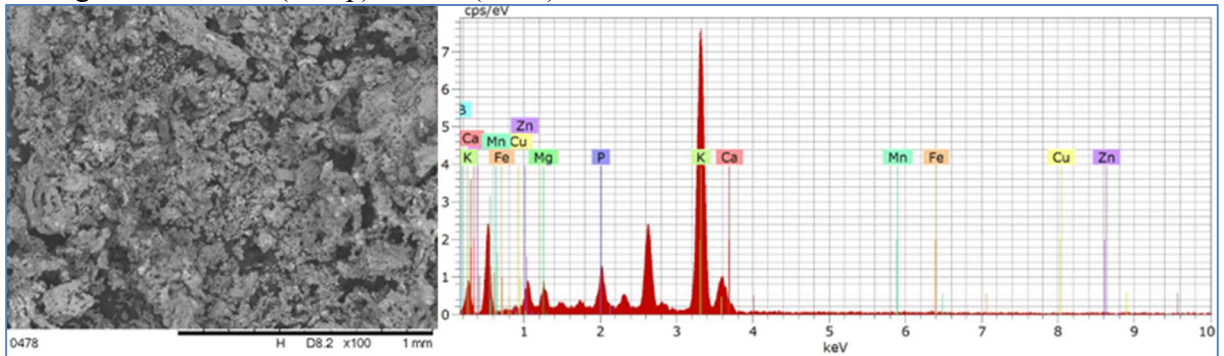
Fonte: Próprio autor (2022).

Figura 21 - MEV (à esq.) e EDS (à dir.) das cinzas das raízes dos rabanetes do T2-CDF.



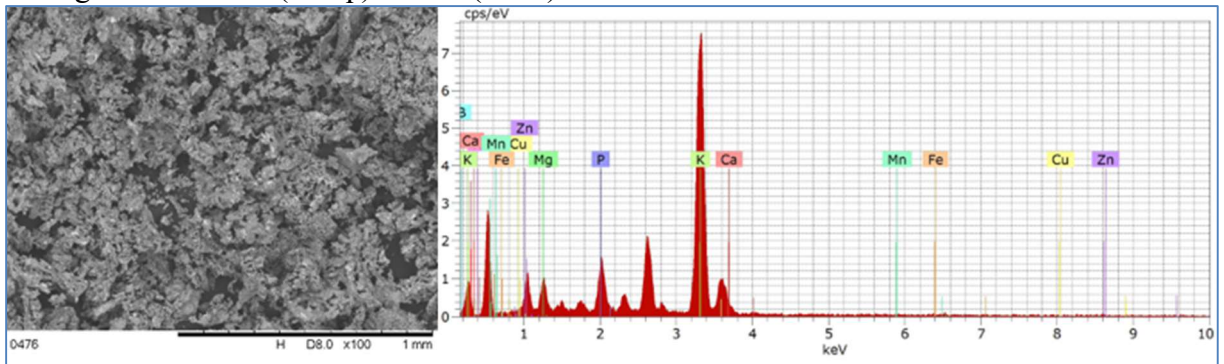
Fonte: Próprio autor (2022).

Figura 22 - MEV (à esq.) e EDS (à dir.) das cinzas das raízes dos rabanetes do T3-B20.



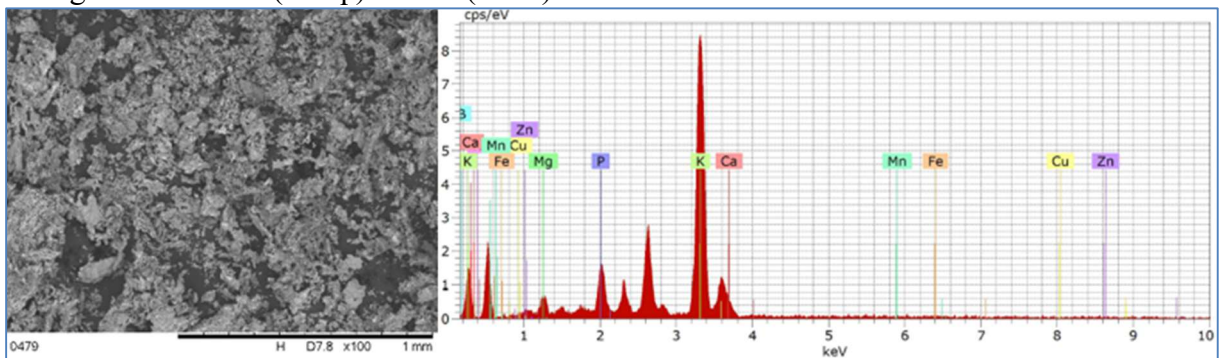
Fonte: Próprio autor (2022).

Figura 23 - MEV (à esq.) e EDS (à dir.) das cinzas das raízes dos rabanetes do T4-B60.



Fonte: Próprio autor (2022).

Figura 24 - MEV (à esq.) e EDS (à dir.) das cinzas das raízes dos rabanetes do T5-NPK.



Fonte: Próprio autor (2022).

O MEV mostrou que as partículas das cinzas das raízes dos rabanetes, assim como as das folhas, são heterogêneas e não apresentam diferenças entre os tratamentos, mantendo aspectos similares. O gráfico de EDS, assim como o das cinzas das folhas, também mostrou características similares dos elementos analisados para todos os tratamentos. Da mesma forma, a análise de MEV e o gráfico de EDS apresentaram resultados similares aos diferentes tratamentos, mostrando que os tratamentos não tiveram efeito sobre as características

observáveis das cinzas das folhas dos rabanetes no MEV, bem como dos elementos observáveis contidos nas cinzas pelo gráfico de EDS.

A Tabela 10 apresenta os elementos contidos nas cinzas das raízes dos rabanetes para cada um dos tratamentos. Os valores são resultantes das médias dos valores obtidos em triplicatas das análises de EDS. Na Tabela 10, a coluna norm. C [wt. %], refere-se à concentração normalizada no percentual de massa do elemento.

Tabela 10 - EDS das cinzas das raízes dos rabanetes

Elemento	T1-TES	T2-CDF	T3-B20	T4-B60	T5-NPK
	norm. C [wt. %]				
Potássio	81,22 (0,28)	81,27 (2,43)	78,97 (1,55)	78,58 (0,37)	79,91 (1,74)
Cálcio	5,11 (0,68)	4,87 (0,42)	5,69 (0,15)	4,70 (0,43)	5,38 (0,36)
Fósforo	4,26 (0,51)	5,05 (0,48)	5,48 (0,38)	5,85 (0,13)	5,79 (0,08)
Boro	3,45 (1,08)	3,90 (1,59)	4,98 (1,55)	4,69 (1,34)	3,77 (1,42)
Magnésio	3,79 (0,35)	3,14 (0,61)	3,13 (0,22)	4,13 (0,62)	3,21 (0,35)
Ferro	1,56 (0,05)	1,20 (0,16)	1,18 (0,49)	1,44 (0,21)	1,30 (0,50)
Zinco	0,26 (0,04)	0,23 (0,06)	0,19 (0,03)	0,28 (0,10)	0,25 (0,12)
Cobre	0,22 (0,03)	0,23 (0,05)	0,26 (0,09)	0,20 (0,08)	0,26 (0,05)
Manganês	0,13 (0,05)	0,11 (0,04)	0,12 (0,04)	0,13 (0,04)	0,14 (0,03)
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

A indicação “norm. C [wt. %]”, significa que os valores são referentes à concentração normalizada no percentual de massa do elemento.

Os valores representam as médias das triplicatas seguidas do desvio padrão (valores entre parênteses).

Não houve diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos pela Análise de Variância (ANOVA).

Fonte: Próprio autor.

De modo similar à análise de MEV e EDS das cinzas das folhas dos rabanetes, as análises das cinzas das raízes dos rabanetes, também não apresentaram diferenças, no entanto nesta análise, foram para todos os elementos analisados. Da mesma forma, os tratamentos não tiveram efeito sobre o percentual de massa dos elementos analisados nas raízes dos rabanetes. Ou seja, os tratamentos apresentaram efeitos sobre o desenvolvimento das raízes, no entanto, os nutrientes absorvidos pelas raízes, para todos os tratamentos, mantiveram-se proporcionais. Os valores nutricionais, em percentual da massa, não sofreram efeitos das diferentes fontes de fertilização.

### 3.3.4 2º Ciclo de Plantio de Rabanetes

O segundo ciclo de plantio de rabanetes compreendeu o período de 27 de janeiro e 24 de fevereiro de 2023.



Após a primeira semana do plantio até o dia da colheita, houve chuvas constantes e volumosas no local do experimento. De acordo com informações meteorológicas, na região de Sorocaba/SP (onde a cidade de Quadra-SP está inserida), houve precipitação de 297 mm no mês de fevereiro/23, sendo o dobro da média de 30 anos para a região (146 mm) (G1, 2023).

Com o excesso de umidade, os canteiros (mesmo sendo no sistema de canteiros elevados) ficaram saturados com água. O excesso de água causou o aparecimento de manchas pretas e apodrecimento de praticamente todas as raízes (Figura 25) e amolecimento, amarelamento e queda das folhas. Pelos sintomas observados, possivelmente estes efeitos foram causados pelo *Rhizoctonia solani* (Reis *et al.*, 2021). O *Rhizoctonia solani* é um fungo patógeno que é muito dependente de água livre em excesso para iniciar o processo infeccioso (Lopes; Reis; Makishima, 2005; Gomes, 2009).

Figura 25 - Raízes apodrecidas (à esq.) e manchas pretas nas raízes (à dir.).



Fonte: Próprio autor (2023).

Algumas plantas (também em todos os tratamentos) apresentaram deformações e problemas com o desenvolvimento (Figura 26). Segundo Marouelli, Melo e Braga (2017), para as brássicas em geral (incluindo os rabanetes), a aplicação de água demasiada prejudica a aeração do solo e a respiração das raízes, o que prejudica seu desenvolvimento e possibilita maior ocorrência de doenças.

Figura 26 - Raízes deformadas e problemas no desenvolvimento.



Fonte: Próprio autor (2023).

Foi possível observar que a disponibilidade demasiada de água acabou por anular os efeitos dos diferentes tratamentos e causando deficiências no desenvolvimento das plantas e o apodrecimento das raízes e queda das folhas na maioria das plantas. Portanto os resultados do segundo ciclo de plantio foram inconclusivos para discussões.

### 3.3.5 Efeitos do Biochar no Solo

As tabelas 11, 12 e 13 apresentam a caracterização do solo com suas as propriedades químicas de todos os tratamentos: T1-TES (testemunha, sem fertilização), T2-CDF (orgânica, com cama de frango), T3-B20 (biochar, 20 t ha<sup>-1</sup>), T4-B60 (biochar, 60 t ha<sup>-1</sup>) e T5-NPK (mineral, com formulado NPK 4-14-8), conforme descritos na Tabela 5. A tabela 11 apresenta as propriedades químicas do solo antes do primeiro plantio (1º momento), a Tabela 12 apresenta as propriedades químicas do solo após o primeiro ciclo de plantio (2º momento) e a Tabela 13 apresenta as propriedades químicas do solo após o segundo ciclo de plantio (3º momento).

Tabela 11 - 1º momento: propriedades químicas do solo antes do plantio

Propriedade Química	T1-TES	T2-CDF	T3-B20	T4-B60	T5-NPK
N total (mg kg <sup>-1</sup> )	1484	4403	2387	3423	1849
pH (CaCl <sub>2</sub> )	4,38	6,65	6,54	7,10	-
M. O. (g dm <sup>-3</sup> )	21,8	55,8	36,3	47,7	-
P (mg dm <sup>-3</sup> )	28,2	603,4	551,8	990,7	600,2
Ca (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	31,4	53,4	52,8	55,9	-
Mg (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	14,6	36,8	31,4	36,5	-
K (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,56	24,38	16,37	27,13	14,51
Al (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	6,3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-
H+Al (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	54,9	13,7	16,7	10,4	-
SB (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	48,6	114,6	100,6	119,5	-
CTC (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	103,5	128,3	117,3	129,9	-
V (%)	47	89	86	92	80
m (%)	11	0	0	0	-
B (mg dm <sup>-3</sup> )	0,51	-	1,33	1,37	-
Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	1,3	16,6	4,0	5,9	-
Fe (mg dm <sup>-3</sup> )	69,2	47,6	44,2	39,8	-
Mn (mg dm <sup>-3</sup> )	33,5	25,5	26,3	19,2	-
Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	4,3	22,0	10,2	13,5	-

Conforme item 3.2.7, não foi realizada a análise das propriedades do solo apenas para o tratamento T5-NPK.

<0,1: valor menor que o limite de quantificação; (-): elemento não determinado.

**Nota:** não foi possível realizar a determinação do elemento B do T2-CDF. A amostra apresentou coloração amarelada interferindo na análise.

Tabela 12 - 2º momento: propriedades químicas do solo após o primeiro ciclo de plantio

Propriedade Química	T1-TES	T2-CDF	T3-B20	T4-B60	T5-NPK
N total (mg kg <sup>-1</sup> )	1470	3410	2316	3430	1750
pH (CaCl <sub>2</sub> )	4,72	5,48	5,86	6,06	4,85
M. O. (g dm <sup>-3</sup> )	23,7	42,8	31,7	42,0	26,7
P (mg dm <sup>-3</sup> )	40,7	582,6	388,0	917,0	333,2
Ca (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	54,1	60,4	62,7	65,5	57,3
Mg (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	31,7	56,0	51,8	65,8	35,0
K (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,36	14,21	12,30	23,54	5,60
Al (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	4,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
H+Al (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	48,9	24,4	19,4	12,3	31,4
SB (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	88,2	130,6	126,8	154,8	97,9
CTC (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	137,1	155,0	146,2	167,1	129,3
V (%)	64	84	87	93	76
m (%)	5	0	0	0	0
B (mg dm <sup>-3</sup> )	0,50	1,34	1,36	1,39	0,79
Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	1,4	11,1	3,5	5,5	1,4
Fe (mg dm <sup>-3</sup> )	75,2	49,8	43,0	37,4	65,9
Mn (mg dm <sup>-3</sup> )	17,6	26,1	17,0	15,2	20,1
Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	4,8	22,2	10,5	13,6	6,5

<0,1: valor menor que o limite de quantificação.

Tabela 13 - 3º momento: propriedades químicas do solo após o segundo ciclo de plantio

Propriedade Química	T1-TES	T2-CDF	T3-B20	T4-B60	T5-NPK
N total (mg kg <sup>-1</sup> )	1372	1953	1687	2702	1629
pH (CaCl <sub>2</sub> )	4,52	5,58	5,94	6,17	5,14
M. O. (g dm <sup>-3</sup> )	28,3	39,3	35,0	44,1	31,2
P (mg dm <sup>-3</sup> )	30,1	313,8	218,6	922,7	267,1
Ca (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	33,2	63,4	65,3	69,5	61,9
Mg (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	16,5	29,9	27,4	36,5	23,0
K (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,20	8,84	8,78	14,78	3,79
Al (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
H+Al (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	57,3	27,1	28,9	17,1	51,0
SB (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	51,9	102,1	101,5	120,8	88,7
CTC (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	109,2	129,2	130,4	137,9	139,7
V (%)	48	79	78	88	63
m (%)	6	0	0	0	0
B (mg dm <sup>-3</sup> )	0,36	0,71	0,64	0,74	0,54
Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	1,7	10,4	3,1	5,2	2,1
Fe (mg dm <sup>-3</sup> )	94,7	58,6	40,4	29,8	72,9
Mn (mg dm <sup>-3</sup> )	24,3	19,2	16,8	15,1	19,2
Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	4,4	18,4	10,3	13,6	4,9

<0,1: valor menor que o limite de quantificação.

### N total

Todos os tratamentos apresentaram aumento de N total (nitrogênio total) em comparação com a testemunha. O tratamento T2-CDF apresentou maior valor de N total, pois o N é um dos elementos de maior concentração na cama de frango (Pereira *et al.*, 2019) e, também, a cama de frango apresenta grande quantidade de amônia (Zaid *et al.*, 2023) que representa grande parte do N total. Os tratamentos com biochar (T3-B20 e T4-B60) apresentarem menor valor se comparados com o T2-CDF, o que pode ser explicado pelo N ser um dos elementos que mais volatiliza durante o processo de pirólise. No entanto, entre os tratamentos com biochar, o T4-B60, tratamento com maior dose de biochar, apresentou maior valor de N total que o T3-B20 (com menor dose de biochar). Sousa (2015) também observou aumento de N total nas parcelas de nitrato e amônio em experimento com aumento de doses (20 para 60 t ha<sup>-1</sup>) de biochar de lodo de esgoto.

No 2º momento, houve uma diminuição relativamente maior de N total no tratamento T2-CDF e T5-NPK, o que não aconteceu nos tratamentos com biochar, pois no T3-B20, há uma pequena diminuição de N total, enquanto o T4-B60 apresenta um ligeiro aumento. A grande diminuição de N total do T2-CDF pode ser explicado pela volatilização do amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) contido em grande quantidade na cama de frango (Oliveira *et al.*, 2003; Zaid *et al.*, 2023) sendo, juntamente com o nitrato (NO<sub>3</sub><sup>+</sup>), parcelas que formam o N total (Holzschuh *et al.*, 2009). A



lixiviação do nitrato também pode explicar essa diminuição do N total nos tratamentos T2-CDF e T5-NPK, pois segundo Sangoi *et al.* (2003), a lixiviação de nitrato é um dos principais processos responsáveis pela perda de N no solo. Os tratamentos com biochar apresentaram maiores resistências a perdas de N total do 1º para o 2º momento, inclusive pequeno aumento no teor de N para o tratamento T4-B60, diferentemente do tratamento T5-NPK que teve cerca de 5% de diminuição no teor de N. De acordo com Singh *et al.* (2010) e Knowles *et al.* (2011), o biochar pode fornecer e tornar disponíveis as duas formas de N para o solo (nitrato e amônio), pois o biochar possui o efeito de aumento da adsorção de amônio (Zhang *et al.*, 2012) com redução da lixiviação e maior disponibilidade no solo (Lehmann *et al.*, 2003).

Do 2º para o 3º momento todos os tratamentos apresentaram diminuição de N total, o que pode ser explicado pela lixiviação do N em função das frequentes e volumosas chuvas ocorridas durante o 2º ciclo de plantio, conforme item 3.3.3. Ainda assim, os tratamentos com biochar (T3-B20 e T4-B60) apresentaram menores perdas relativas (27 e 21% respectivamente) se comparados com o T2-CDF (42%). Os tratamentos T1-TES e T5-NPK, apresentaram as menores perdas relativas (7%), no entanto já estavam com valores baixos de N total, próximos ao do solo antes do plantio.

### *pH*

A manutenção do pH no solo é muito importante para controle da acidez do solo, o que é um fator que pode ser determinante para a produtividade das culturas, pois o pH interfere na disponibilidade de nutrientes do solo (Calegari; Costa, 2009; Pavinato; Merlin; Rosolem, 2009). Para o rabanete, o pH ideal deve estar acima de 5,5 (CPT, 2021), com faixa ideal de 5,5 a 6,8 (Portal do Agronegócio, 2012; Rosa, 2018). No entanto, na literatura, há algumas variações dessa faixa dessa faixa recomendada, com pH mais básico, entre 6,1 e 7,4 (AQF, 2021) e de 6 a 7 (Minami; Tessarioli Neto, 1997).

O pH para o solo sem tratamento estava ligeiramente abaixo dessas orientações, e todos os tratamentos implicaram no aumento do pH, mantendo a correção próximos aos valores esperados até o final do experimento, exceto o tratamento T5-NPK, onde foi atendida a necessidade pela calagem com aplicação de calcário no 1º momento (conforme item 3.2.3.2), no entanto, ficando abaixo do mínimo de 5,5 para os demais momentos (2º e 3º). Para os tratamentos com biochar, o aumento do pH foi diretamente proporcional à dose aplicada, com pH maior para o tratamento T4-B60, onde teve a maior dose de biochar aplicada. Esse efeito também foi observado por Nakashima (2020) com biochar de palha de cana-de-açúcar e por Cardoso *et al.* (2016) com biochar de eucalipto. Sousa (2015), com biochar de lodo de esgoto,

também obteve valores maiores de pH para aplicação de biochar com dose de 60 t ha<sup>-1</sup> quando comparado com dose de 20 t ha<sup>-1</sup>, no entanto, o autor não observou diferenças estatisticamente significativas entre as doses. Em todos os estudos citados, para tratamentos com aplicação de biochar, o pH manteve-se corrigido até o final do experimento, assim como no presente estudo. Segundo Silva *et al.* (2018), uma das principais funções do biochar para aplicação no solo é a correção da acidez, pois os biochar tendem a apresentar valores de pH mais altos, dentro da faixa alcalina.

#### *M. O. (matéria orgânica)*

No 1º momento, com exceção do T5-NPK, onde não foi determinada a matéria orgânica (M.O.) do solo, para os demais, onde houve algum tipo de fertilização (tratamentos com biochar: T3-B20 e T3-B60 e com cama de frango: T2-CDF), o teor de M.O. apresentou aumento. O tratamento T2-CDF apresentou maior aumento de M.O., que pode ser explicado pela maior disponibilidade de material orgânico na cama de frango em relação ao biochar, pois parte do material orgânico tende a volatilizar durante o processo de pirólise (Devens *et al.*, 2018; Domingues *et al.*, 2017; Enders *et al.*, 2012). Esse maior valor de M.O. também pode explicar a maior quantidade de N neste tratamento (T2-CDF) (Cantarella; Rossetto, 2014). Para os tratamentos com biochar, o valor de M.O. foi maior para o tratamento com maior dosagem (T4-B60). Este efeito também foi verificado por Mendes (2020) com aplicação de diferentes doses de biochar de cama de frango no solo. No 2º momento, houve uma leve diminuição de M.O. para os tratamentos T2-CDF, T3-B20 e T4-B60. Essa degradação de M.O. pode ser explicada pela mineralização, em função da liberação dos nutrientes da M.O. para as plantas (Degaspari, 2020). O T1-TES (testemunha), ao contrário, apresentou um pequeno aumento de M.O. Este fato pode estar relacionado ao baixo nível de M.O. disponível antes do plantio somado com a atividade das plantas, pois ainda que pouco, a atividade das plantas com quedas de folhas e partes das ramificações finas das raízes (abaixo dos tubérculos) podem ter incrementado M.O. ao final do ciclo.

Do 2º para o 3º momento, exceto para o T2-CDF, houve aumento de M.O., possivelmente relacionado com a atividade natural das plantas (folhas caídas e partes das raízes), como também um incremento de material orgânico decorrido do apodrecimento da maioria das plantas no segundo ciclo de plantio, conforme descrito no item 3.3.3. Para o T2-CDF, também houve o efeito do apodrecimento das plantas, no entanto a diminuição da M.O., pode estar fortemente relacionada com a lixiviação excessiva de nitrato, o que, mesmo com o

incremento de material orgânico, pode ter balanceado negativamente o nitrogênio e consequentemente o valor da M.O. neste tratamento.

### *Fósforo (P)*

O teor de fósforo (P) foi o elemento que apresentou maior incremento com os tratamentos com algum tipo de fertilização em relação à testemunha e também o que mais apresentou incremento entre as doses dos tratamentos com biochar (diretamente proporcional), este fato também foi observado por Sousa (2015), com biochar de lodo de esgoto. No entanto Nakashima (2020), em experimento com biochar de palha de cana-de-açúcar, não encontrou tendência em relação ao P e a dose de biochar aplicada, possivelmente em função das diferentes matérias-primas para a obtenção do biochar. A testemunha apresentou pouca variação entre o 1º e o 3º momento, os demais tratamentos, exceto o T4-B60, apresentaram reduções nos níveis de P do 1º ao 3º momento, possivelmente relacionados à lixiviação. O tratamento T4-B60, com biochar com maior dosagem apresentou uma ligeira diminuição de P do 1º para o 2º momento, no entanto um pequeno aumento no 3º momento, apresentando assim, pouca variação do 1º ao 3º momento. Este fato pode estar relacionado à dose do biochar aplicado ser suficiente para diminuir a lixiviação dos nutrientes (Lehmann, 2007; Lehmann; Joseph, 2009). O aumento do pH influencia a disponibilidade de P, sendo este nutriente muito dependente do pH (Nóbrega, 2011), o que pode explicar, o tratamento T4-B60 apresentar o maior valor de P.

Ao longo do experimento o tratamento com biochar T4-B60 apresentou perda de cerca de 7%, enquanto que para o tratamento com NPK mineral (T5-NPK) apresentou perda de 55% de teor de P. O tratamento com biochar parece reduzir o efeito da lixiviação do elemento.

### *Cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K)*

O cálcio (Ca), o magnésio (Mg) e o potássio (K), são cátions essenciais e importantes compõem a CTC (Capacidade de Troca Catiônica). Se no solo, a maior parte da CTC é composta por esses três elementos, pode-se dizer que é que é um solo bom para a nutrição das plantas (Ronquim, 2010). Todos esses elementos (Ca, Mg e K) apresentaram aumento para os tratamentos com algum tipo de fertilização. Para os tratamentos com biochar (T3-B20 e T4-B60), tanto para o Ca, quanto para Mg e K, houve maior valor com a maior dose de biochar (T4-B60) e esse aspecto se manteve durante todo o experimento (1º ao 3º momento). O mesmo efeito foi observado por Sousa (2015) com biochar de lodo de esgoto com várias doses de aplicação no solo.

O Mg teve um ligeiro aumento do 1º para o 2º momento para todos os tratamentos com algum tipo de fertilização, exceto para o T5-NPK, onde esse aspecto não foi observável em função de não ter sido determinado no 1º momento. Entretanto, o Mg apresentou diminuição nos valores do 2º para o 3º momento para todos os tratamentos. Mas, ainda assim, mantiveram-se bem próximos os valores do início do experimento (1º momento) e do final (3º momento). Com efeitos diferentes do Mg, o Ca, para os tratamentos com algum tipo de fertilização, apresentou aumento, ainda que com pequena variação, em todos os momentos de análise. Portanto esses dois elementos (Ca e Mg) mantiveram-se com pouca variação nas concentrações durante todo o experimento, o que pode inclusive, explicar a manutenção do pH durante todo o experimento.

Diferentemente do que ocorreu com o Mg e inverso ao que ocorreu com o Ca, o K teve seu valor diminuído de forma gradativa, durante os 3 momentos. Além da absorção pelas plantas (sendo o maior elemento de concentração nas raízes dos rabanetes, e o segundo nas folhas, conforme as Tabela 11 e 10, respectivamente), a diminuição do K também pode ser explicada pela concentração de Ca no solo que, com teores considerados adequados, pode deslocar o K e facilitar a lixiviação deste elemento (Tammeorg *et al.* 2014).

Os tratamentos com biochar apresentaram menor redução de K do primeiro para o segundo momento, com 24 e 13% (T3-B20 e T4-B60, respectivamente), enquanto que para o tratamento com cama de frango (T2-CDF) e adubação mineral (T5-NPK), as reduções foram na ordem de 41 e 61% de redução de K. Esses resultados mostram que o biochar reduz os efeitos da lixiviação dos nutrientes.

#### *Componentes de acidez do solo: alumínio trocável (Al) e acidez potencial (H+AL)*

Os componentes de acidez do solo (Al e H+AL) sofreram alterações para os tratamentos com algum tipo de fertilização. Os níveis de Al, para estes tratamentos não apresentaram valores mínimos para a quantificação, mostrando que entre os tratamentos com algum tipo de fertilização, não houve diferenças nos níveis de Al e nem a relação do nível de Al e a dose de biochar aplicada no solo, o que também foi observado por Sousa (2015) com biochar de lodo de esgoto. Para o H+Al, os valores apresentaram diminuição entre 3 a 4 vezes, no 1º momento, se comparados com a testemunha (sem fertilização). No entanto, do 1º ao 3º momento, houve aumento gradativo nos níveis de H+Al em todos os tratamentos, aumentando a acidez do solo, o que pode explicar, também, a leve diminuição do pH nos tratamentos, ainda que mantidos adequados até o final do experimento (exceto para o T1- TES e para o T5-NPK). Os tratamentos com biochar apresentaram comportamento inversamente proporcional do nível de H+Al

conforme a dose de biochar aplicada ao solo, ou seja, o tratamento T4-B60 (maior dose de biochar) apresentou menor valor de H+Al que o tratamento T3-B20 (menor dose de biochar). Esta característica também foi observada por Nakashima (2020) com biochar de palha de cana-de-açúcar, conforme a dose de biochar aplicada. No entanto, Sousa (2015) não observou efeitos significativos do nível de H+Al em relação à dose de biochar aplicada com biochar de lodo de esgoto. O tratamento T4-B60, inclusive, obteve menor nível de H+Al ao final do experimento. A redução de Al para níveis  $< 0,1$  nos tratamentos com biochar pode ser explicado em função do fornecimento de cátions básicos para o solo, pois o biochar tem efeitos alcalinizantes, reduzindo assim, os parâmetros de acidez do solo (Gaskin *et al.*, 2008; Singh *et al.*, 2010; Smider; Singh, 2014; Zhang *et al.*, 2012).

#### *Saturação da CTC efetiva por alumínio (m%)*

O m% indica o quanto da CTC efetiva está saturado por Al e expressa o nível de toxidez do solo (Cunha, 2017; Gorski *et al.*, 2023). O m% do solo sem fertilização (testemunha, T1-TES) estava em 11%, reduziu para 5% no 2º momento e teve um ligeiro aumento, ficando em 6% no 3º momento. Essa redução pode ser explicada pela atividade das plantas e acompanhou também a variação do pH, em função do aumento de Ca e Mg, pois está relacionado com a acidez do solo. No entanto para todos os tratamentos onde houve algum tipo de fertilização, não foi observado percentual de alumínio (m%) na CTC efetiva durante todo o período do experimento, o que está coerente, pois o Al não apresentou valor suficiente mínimo para a quantificação. Este ponto explica, também, o fato de o pH ser corrigido com os tratamentos com algum tipo de fertilização e o efeito da calagem se manter, para a maioria dos tratamentos, até o final do experimento. Com relação ao m%, o biochar, em comparação com as demais fontes de fertilização, não obteve implicação nos resultados, assim como a dose aplicada no solo, mostrando que, desde que haja fertilização e calagem, independente da fonte, há atenuação do componente de acidez Al no solo e, portanto, não há observação quantificável de m%.

#### *Soma de bases trocáveis (SB)*

A SB (soma de bases trocáveis) do solo tiveram um aumento no valor com os tratamentos com algum tipo de fertilização, com cerca de 2 vezes o valor do solo sem fertilização. Do 1º para o 2º momento, os valores de SB tiveram um incremento, inclusive para a testemunha, no entanto tiveram diminuição do 2º para o 3º momento. Esse comportamento acompanhou o comportamento do Mg ao longo dos 3 momentos durante o experimento, possivelmente relacionado com a lixiviação de Mg e K, principalmente durante o segundo ciclo

de plantio (entre o 2° e 3° momentos de análise do solo). No entanto, mesmo com a diminuição da SB, os valores dos tratamentos com biochar se mantiveram próximos ao do 1° momento de análise. Entre os tratamentos com biochar, o tratamento com maior dose (T4-B60) apresentou maiores valores de SB durante todo o experimento, sendo o mesmo efeito verificado por Sousa (2015) com biochar de lodo de esgoto, no entanto não foi observado o mesmo comportamento referente às doses de biochar de palha de cana-de açúcar (Nakashima, 2020), entretanto, no mesmo experimento, com relação ao aumento da SB do 1° para o 2° momento de análise, a autora obteve os mesmos comportamentos apresentados no presente experimento.

#### *Capacidade de troca catiônica (CTC)*

A CTC (Capacidade de Troca Catiônica) também teve o valor aumentado para o solo com algum tipo de fertilização, no entanto não houve aumento tão grande quanto houve para a SB em comparação com a testemunha (T1-TES). Esse fato é explicado pelos indicadores de acidez (Al e H+Al), por também fazerem parte da composição do valor da CTC, e o solo sem fertilização (T1-TES) possuía valores bem altos dessas componentes (Al e H+Al) em comparação com os demais tratamentos. Os tratamentos com biochar (T-B20 e T4-B60) e T2-CDF, tiveram comportamentos similares aos da SB em relação ao aumento (do 1° para o 2° momento) e diminuição (do 2° para o 3° momento), no entanto o T5-NPK, apresentou aumento do 2° para o 3° momento, o que pode ser explicado pelo grande aumento de H+Al para este tratamento, nesse mesmo período.

#### *Saturação por bases da CTC (V%)*

O V% (Saturação por Bases da CTC) apresenta a saturação da CTC por bases e teve comportamento similar ao da SB, com aumento significativo nos tratamentos que sofreram algum tipo de fertilização. Do 1° para o 2° momento, o V% teve pouca variação, mantendo valores bem próximos. No entanto do 2° para o 3° momento, houve diminuição nos valores de V%, com comportamento análogo ao do Mg e do K (do 2° para o 3° momento), possivelmente também, pela lixiviação ocorrida principalmente durante o segundo ciclo de plantio (entre o 2° e o 3° momento). Assim como na SB, os valores da CTC e do V%, para os tratamentos com biochar, apresentaram relação diretamente proporcional à dose aplicada, sendo maiores os valores no tratamento T4-B60 (maior dose de biochar aplicada) que o T3-B20 (menor dose de biochar aplicada). Inclusive, ao final do experimento (3° momento), o tratamento T4-B60 foi o único que manteve o V% acima de 80% (88%), atendendo a um dos critérios de necessidade de

calagem, conforme item 3.2.3.2, conforme orientações de Minami e Tessarioli Neto (1997) e Trani *et al.* (1997).

#### *Boro (B)*

O micronutriente boro (B) teve seu valor aumentado com a aplicação do biochar (T3-B20 e T4-B60) em comparação com a testemunha (T1-TES). O teor de B se manteve com valores próximos do 1° para o 2° momento para todos os tratamentos que foram determinados no 1° momento (T1-TES, T3-B20 e T4-B60). Do 2° para o 3° momento, para todos os tratamentos, houve redução nos valores de B, possivelmente em função de lixiviação (Rosolem; Biscaro, 2007; Tomicioli; Leal; Coelho, 2021). No entanto, exceto para o T1-TES (testemunha), os demais tratamentos mantiveram o valor mínimo recomendado para cultivo de rabanete (entre 0,5 e 1,0 mg dm<sup>-3</sup>) (Minami; Tessarioli Neto, 1997; Trani *et al.*, 1997).

#### *Cobre (Cu)*

Os valores do micronutriente cobre (Cu) apresentaram elevação com os tratamentos com algum tipo de fertilização em relação à testemunha. O tratamento com cama de frango (T2-CDF) apresentou o maior incremento, cerca de 12 vezes, enquanto que os tratamentos com biochar (T3-B20 e T4-B60) apresentaram incrementos mais atenuados, na ordem de 3 e 4,5 vezes para o T3-B20 e o T4-B60, respectivamente. Conforme (Oliveira, 2021) solo com elevada M. O. pode reter Cu, o que pode explicar esse incremento de Cu no solo com o tratamento T2-CDF. Ainda, para os tratamentos com biochar, o teor de Cu foi diretamente proporcional à dose de biochar aplicada. Do 1° para o 2° momento, exceto para a testemunha, que manteve valor de Cu bem próximo, os resultados mostraram redução nos teores de Cu para todos os tratamentos com algum tipo de fertilização. Do 2° para o 3° momento, a testemunha (T1-TES) e o T5-NPK apresentaram um pequeno aumento nos valores e para os tratamentos com biochar (T3-B20 e T4-B60) com uma pequena diminuição nos valores, no entanto, com pequena variação nos valores de Cu para todos os tratamentos.

#### *Ferro (Fe)*

O micronutriente ferro (Fe) apresentou diminuição dos valores para os tratamentos com algum tipo de fertilização com relação à testemunha. No entanto, os tratamentos com biochar apresentaram diminuição gradativa do 1° ao 3° momento, enquanto que os tratamentos testemunha (TES-T1), com aplicação de cama de frango (T2-CDF) e com adubação mineral (T5-NPK), apresentaram aumento gradativo nos teores de Fe no solo. Este resultado pode ser

explicado pelo pH do biochar ser mais alcalino, o que implica no aumento do pH no solo e também suprime a toxicidade de alguns elementos como o Al, além de induzir a adsorção na superfície de quelatos que podem precipitar com o  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Fe}^{3+}$  em solos mais ácidos (Nóbrega, 2011; Sousa, 2015). Ademais, o Fe teve comportamento inversamente proporcional à dose de biochar aplicada, mostrando que a maior dosagem de biochar implicou na diminuição de Fe, possivelmente relacionado com o maior valor de pH para este tratamento (T4-B60).

#### *Manganês (Mn)*

O Mn apresentou diminuição nos teores dos solos com algum tipo de fertilização em comparação com a testemunha, o que pode ser explicado pelo efeito da calagem e consequente aumento de pH dos tratamentos. Para os tratamentos com biochar, os valores de Mn mostraram ordem inversamente proporcional à dose de biochar aplicada. Tanto a relação com o aumento do pH, quanto com a dose de biochar, Nakashima (2020) observou efeitos parecidos com biochar de palha de cana-de-açúcar. A elevação do pH, como efeito da calagem, pode diminuir e neutralizar a disponibilidade de alguns componentes metálicos como o Mn e o Fe (Guedes *et al.*, 2022). O teor de Mn teve diminuição gradativa ao longo do experimento, possivelmente pelo efeito da lixiviação. No entanto, essa diminuição foi menos expressiva para os tratamentos com biochar e NPK, mantendo valores próximos do 1º ao 3º momento de análise. De acordo com (Costa, 2005) o solo tem a capacidade de inativar materiais potencialmente prejudiciais ao meio ambiente. No entanto se essa capacidade for ultrapassada, os metais presentes no meio podem sofrer lixiviação (Campos, 2017). Essas afirmações podem mostrar que a cama de frango aplicada ao solo (T2-CDF), pode lixiviar os metais contidos em sua composição como o Mn (Pereira *et al.*, 2019), a camadas mais profundas do solo e a águas subterrâneas, assim como ocorre a lixiviação de nitratos (Hahn, 2004; Oviedo-Rondón, 2008; Sims; Wolf, 1994; Soldera, 2016). Outro ponto a concluir é que o biochar auxilia na redução da lixiviação de nutrientes e metais no solo, conforme observado por Nóbrega (2011).

#### *Zinco (Zn)*

O Zn apresentou aumento nos valores para os tratamentos com algum tipo de fertilização em comparação com a testemunha. O maior aumento foi com o tratamento com cama de frango (T2-CDF) com  $22,0 \text{ mg dm}^{-3}$ , o que pode ser explicado pela alta concentração desse micronutriente no material in natura ( $355 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (Pereira *et al.*, 2019). Conforme Minami e Tessarioli Neto (1997) e Trani *et al.*, (1997), os valores de Zn para o rabanete, a partir de  $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$ , já não é necessário complementação deste micronutriente, então o valor de Zn já



estava suprido no solo *in natura*, conforme T1-TES (4,3 mg dm<sup>-3</sup>) e, por conseguinte, também para todos os demais tratamentos. Para todos os tratamentos (exceto para o T5-NPK que não foi determinado), os teores de Zn apresentaram poucas variações do 1º para o 2º momento, quase que mantendo os mesmos valores. No entanto do 2º para o 3º momento, os tratamentos com cama de frango (T2-CDF) e fertilização mineral NPK (T5-NPK) apresentaram diminuição nos valores de Zn, possivelmente pela lixiviação. Os tratamentos com biochar (T3-B20 e T4-B60) e a testemunha (T1-TES) mantiveram os valores de Zn bem próximos ao longo de todo o experimento. Para a testemunha, possivelmente a lixiviação não ocorreu por estar com valor relativamente baixo de Zn, no entanto, assim como para o Mn, os tratamentos com biochar proporcionaram a não lixiviação de Zn.

Os micronutrientes como o Cu, Fe, Mn e Zn são essenciais às plantas, no entanto como metais pesados, em excesso no solo, podem agir como contaminantes (Costa; Nunes, 2019), no entanto, o biochar é um importante melhorador para reduzir a biodisponibilidade desses contaminantes no ambiente com o benefício da fertilização do solo e a consequente diminuição da acumulação e da toxicidade desses elementos nas plantas (Ahmad *et al.*, 2014; Sohi, 2012).

Os tratamentos com biochar implicaram em redução das componentes de acidez do solo. A maior parte dos elementos e nutrientes não são lixiviados ou sofrem menos efeitos da lixiviação em comparação com a adubação mineral NPK.

### 3.4 CONCLUSÕES

#### *Efeito do biochar nas plantas:*

O biochar pode ser utilizado como fertilizante em substituição à adubação mineral e composto orgânico como a cama de frango.

Os resultados mostraram a necessidade de fertilização para o melhor desenvolvimento das plantas.

O biochar de cama de frango é uma fonte de fertilização para as plantas. Forneceu nutrientes necessários em curto período para os rabanetes, implicando na maior produtividade que é o parâmetro mais importante.

A dosagem indicada de biochar foi de 20 t ha<sup>-1</sup> (T3-B20), pois na maioria dos parâmetros não diferiu estatisticamente do T4-B60 (60 t ha<sup>-1</sup>) e, embora, não tenha sido realizada análise econômica neste estudo, há maior consumo de energia, tempo e matéria-prima para maior produção de biochar.

#### *Efeito do biochar no solo:*

O biochar de cama de frango retém teores de NPK até 2 rotações.

O NPK da adubação mineral é lixiviado, portanto deve ser aplicado a cada novo plantio.

O biochar proporciona tratamento do solo com os parâmetros de fertilidade necessários e reduz os efeitos das componentes de acidez do solo e eleva o pH.

O biochar tem potencial para substituição de adubação mineral e orgânica tanto para parâmetros de desenvolvimento de rabanetes, quanto para a fertilidade do solo em até 2 rotações.

## REFERÊNCIAS

- ABCSEM – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COMÉRCIO DE SEMENTES E MUDAS. **Manual Técnico**: para cultivo de hortaliças. 4. ed. Campinas, SP: ABCSEM, 125 p. 2020. Disponível em: <http://www.abcsem.com.br/download-manual.php>. Acesso em: 28 nov. 2022.
- AGRAFIOTI, E; BOURAS, G.; KALDERIS, D.; DIAMADOPOULOS, E. Biochar production by sewage sludge pyrolysis. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**. v. 101, p. 72-78, 2013. DOI: 10.1016/j.jaap.2013.02.010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2013.02.010>. Acesso em: 6 nov. 2022.
- AHMAD, M.; RAJAPAKSHA, A. U.; LIM, J. E.; ZHANG, M.; BOLAN, N.; MOHAN, D.; VITHANAGE, M.; LEE, S. S.; OK, Y. S. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review. **Chemosphere**, v. 99, p. 19-33, 2014. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2013.10.071. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.10.071>. Acesso em 13 set. 2023.
- AMORIM, M. da S.; ALMEIDA, D. J. dos S.; SILVA, M. A. M.; SILVA, B. S. da; FREITAS, A. F. de J. Qual é o espaçamento ideal para maximizar a produção de rabanete? **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 19, p. 1579-1585, 2014. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/2394>. Acesso em 13 nov. 2022.
- AQF – ASSIM QUE FAZ. **Horta em casa: o pH ideal do solo para cada planta**. 2021. Disponível em: <https://www.assimquefaz.com/horta-em-casa-o-ph-ideal-do-solo-para-cada-planta/>. Acesso em: 13 set. 2023.
- ARASOLO – ANÁLISES DE SOLO. **Conversão de unidades**. 2014. Disponível em: <http://arasolo.com.br/mobile/tabelas.php>. Acesso em: 13 ago. 2023.
- ASTM E1755-01R20. **Standard Test Method for Chemical Ash in Biomass**. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2020. DOI: 10.1520/E1755-01R20. Disponível em: <http://www.astm.org/standards/e1755>. Acesso em: 21 setembro 2022.
- AVICULTURA INDUSTRIAL. **Cama de frango apresenta bons resultados como fertilizantes em lavouras**. Avicultura Industrial, 2016. Disponível em: <https://www.aviculturaindustrial.com.br/imprensa/cama-de-frango-apresenta-bons-resultados-como-fertilizante-em-lavouras/20110418-133549-v842>. Acesso em: 6 nov. 2022.
- BALIEIRO, F de C.; ALVES, B. J. R. Capítulo 2 – Nitrogênio total - Kjeldahl. *In*: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K., FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, p. 368-376, 2017. ISBN: 978-85-7035-771-7. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/194455/1/Pt-3-Cap-2-Nitrogenio-total.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2022.

BATAGLIA, O. C. Capítulo 12 - Implementação das recomendações. *In*: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo - IAC, p. 37-41, 1997. ISSN: 0100-3100. (Boletim Técnico IAC, 100).

BOARETTO, A. E.; RAIJ, B. van; SILVA, F. C. da; CHITOLINA, J. C.; TEDESCO, M. J.; CARMO, C. A. F. S. do. Capítulo 2 - Amostragem, acondicionamento e preparo de amostras de plantas para análise química. *In*: SILVA, F. C. da. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p. 59-85, 2009. ISBN: 978-85-7383-430-7. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/330496>. Acesso em: 10 out. 2022.

BONELA, G. D.; SANTOS, W. P. dos; ALVES SOBRINHO, E.; GOMES, E. J. da C. Produtividade e qualidade de raízes de rabanete cultivadas sob diferentes fontes residuais de matéria orgânica. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 7, n. 2, p. 66-74, 2017. DOI: 10.21206/rbas.v7i2.413. Disponível em: <https://doi.org/10.21206/rbas.v7i2.413>. Acesso em: 29 out. 2022.

BONFIM-SILVA, E. M.; FERNANDES, G. B.; ALVES, R. D. de S.; CASTAÑÓN, T. H. F. M.; SILVA, T. J. A. da. Adubação mineral, orgânica e organomineral na cultura do rabanete. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 23300-23318, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n5-037. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/9528/8019>. Acesso em: 26 out. 2022.

BRIDGWATER, A. V. Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass. **Chemical Engineering Journal**, v. 91, n. 2-3, p. 87-102, 2003. DOI: 10.1016/S1385-8947(02)00142-0. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1385-8947\(02\)00142-0](https://doi.org/10.1016/S1385-8947(02)00142-0). Acesso em: 13 out. 2022.

CALEGARI, A.; COSTA, A. Manutenção da cobertura melhora atributos do solo. **Visão Agrícola**. v. 9, p. 13-16, 2009. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA9-Cobertura02.pdf>. Acesso em: 13 set. 2023.

CAMPOS, T. de O. **Lixiviação de metais pesados e macronutrientes em solos condicionados com biossólido de lodo de esgoto**. 2017. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Florestas, Seropédica, 2017.

CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R. Fertilizers for sugarcane. *In*: CORTEZ, L. A. B. (coord.). **Sugarcane bioethanol – R & D for Productivity and Sustainability**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, p. 405-422, 2014. DOI: 10.5151/BlucherOA-Sugarcane-SUGARCANEETHANOL\_39. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.5151/BlucherOA-Sugarcane-SUGARCANEETHANOL\\_39](http://dx.doi.org/10.5151/BlucherOA-Sugarcane-SUGARCANEETHANOL_39). Acesso em: 11 set. 2023.

CARDOSO, A. I. I.; HIRAKI, H. Avaliação de doses e épocas de aplicação de nitrato de cálcio em cobertura na cultura do rabanete. **Horticultura Brasileira**, v. 19, n. 3, p. 196-199, 2001. DOI: 10.1590/S0102-05362001000300007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362001000300007>. Acesso em: 13 out. 2022.

CARDOSO, A. da S.; PEREIRA, E.; DECOCK, C.; RUGGIERI, A. C.; SIX, J. Efeito do biochar sobre o pH de solo tropical e temperado sob diferentes níveis de umidade. *In: XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*. Natal: Centro de Convenções, Natal-RN, 2015. Disponível em: <https://eventosolos.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/2464.pdf>. Acesso em: 26 set. 2023.

CASTRO, B. F.; SANTOS, L. G. dos; BRITO, C. F. B.; FONSECA, V. A.; BEBÉ, F. V. Produção de rabanete em função da adubação potássica e com diferentes fontes de nitrogênio. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 3, n. 3, p. 341-348, 2016. DOI: 10.19084/RCA15131. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.19084/RCA15131>. Acesso em: 23 out. 2022.

CERQUEIRA, F. B.; SANTANA, S. C.; SANTOS, W. F. dos; FREITAS, G. A. de; NUNES, T. V.; SIEBENEICHLER, S. C. Doses de nitrogênio nas respostas morfofisiológicas de coentro (*Coriandrum sativum L.*). *Global Science and Technology*, v. 9, n. 1, p. 15-21, 2016. DOI: 10.14688/1984-3801/gst.v9n1p15-21. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/312080744\\_Doses\\_de\\_Nitrogenio\\_nas\\_Respostas\\_Morfofisiologicas\\_de\\_Coentro\\_Coriandrum\\_sativum\\_L](https://www.researchgate.net/publication/312080744_Doses_de_Nitrogenio_nas_Respostas_Morfofisiologicas_de_Coentro_Coriandrum_sativum_L). Acesso em: 28 nov. 2022.

CHA, J. S.; PARK, S. H.; JUNG, S. C.; RYU, C.; JEON, J. K.; SHIN, M. C.; PARK, Y. K. Production and utilization of biochar: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, v. 40, p. 1-15, 2016. DOI: 10.1016/j.jiec.2016.06.002. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2016.06.002>. Acesso em: 26 out. 2022.

CHAN, K. Y.; ZWIETEN, L. van; MESZAROS I.; DOWNIE A., JOSEPH S. Using poultry litter biochars as soil amendments. *Australian Journal of Soil Research*, v. 46, p. 437-444, 2008. DOI: 10.1071/SR08036. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/SR08036>. Acesso em: 25 ago. 2022.

CHINELATO, G. **Cálculo de calagem**: como fazer as contas (+ calcário líquido). Blog da Aegro para negócios rurais, 2018. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/calculo-de-calagem/>. Acesso em: 13 nov. 2022.

COSTA, C. das N. **Biodisponibilidade de metais pesados em solos do Rio Grande do Sul**. 2005. 110 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

COSTA, A. de F. da; BORGES, M. G.; MARANHO, J. M.; VIEIRA E SOUZA, G. de F. M.; GUIMARÃES, B. G.; OLIVEIRA, V. R. de. Desenvolvimento de rabanete (*Raphanus sativus L.*) sob sistema convencional de cultivo em resposta a diferentes fontes de matéria orgânica. *In: XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*. Natal: Centro de Convenções, Natal-RN, 2015. Disponível em: <https://www.sbc.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/1192.pdf>. Acesso em: 28 set. 2022.

COSTA, C. C.; OLIVEIRA, C. D. de; SILVA, C. J. da; TIMOSSI, P. C.; LEITE, I. C. Crescimento, produtividade e qualidade de raízes de rabanete cultivadas sob diferentes fontes e doses de adubos orgânicos. *Horticultura Brasileira*, v. 24, n. 1, p. 118-122, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/WgZX48LYgy9JHP4XWztntLc/?lang=pt>. Acesso em: 29 nov. 2022.

COSTA, R. N. T.; NUNES, K. G. **Riscos de metais pesados no ambiente**. 2019. GPEAS, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019. Disponível em: <http://www.gpeas.ufc.br/cart/Metais%20pesados.pdf>. Acesso em 13 ago. 2023.

CPT – CENTRO DE PRODUÇÕES TÉCNICAS. **Horta - como plantar Rabanete (Raphanus sativus)**. 2023. Disponível em: <https://www.cpt.com.br/artigos/horta-como-plantar-rabanete-raphanus-sativus>. Acesso em: 11 set. 2023.

CUNHA, G. O. de M. **Formas de alumínio em solos com altos teores trocáveis e toxidez na soja e no milho**. 2017. 162 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.

DEGASPARI, I. A. M. **Matéria orgânica: importância para a fertilidade do solo**. Agroadvance, 2020. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-materia-organica/#:~:text=A%20degrada%C3%A7%C3%A3o%20da%20mat%C3%A9ria%20org%C3%A2nica,pode%20liberar%20nutrientes%20%C3%A0s%20plantas>. Acesso em: 17 set. 2023.

DEVENS, K. U.; PEREIRA NETO, S.; OLIVEIRA, D. L. do A.; GONÇALVES, M. S. Characterization of biochar from green coconut shell and orange peel wastes. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 2, p. 288-294, 2018. DOI: 10.21577/1984-6835.20180022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20180022>. Acesso em: 16 set. 2023.

DOMINGUES, R. R.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, C. A.; MELO, I. C. N. A. de; MELO, L. C. A.; MAGRIOTIS, Z. M.; SANCHEZ-MONEDERO, M. A. Properties of biochar derived from wood and high-nutrient biomasses with the aim of agronomic and environmental benefits. **Plos One**, v. 15, n. 5, e0176884, 2017. DOI: 10.1371/journal.pone.0176884. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176884>. Acesso em: 16 set. 2023.

EMBRAPA. **Clima**. 2022. Disponível em: <https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>. Acesso em: 18 nov. 2022.

ENDERS, A.; HANLEY, K.; WHITMAN, T.; JOSEPH, S.; LEHMANN J. Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. **Bioresource Technology**, v. 114, p. 644-653, 2012. DOI: 10.1016/j.biortech.2012.03.022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.03.022>. Acesso em: 16 set. 2023.

FARIA, L. M. V. de; GOMES, M. B.; SILVA, T. R. da. Resposta morfológica do rabanete à aplicação de diferentes doses de silício na linha de semeadura. **Revista Eletrônica Interdisciplinar**, v. 2, n. 10, p.121-128, 2013. Disponível em: <https://docplayer.com.br/47968965-Resposta-morfologica-do-rabanete-a-aplicacao-de-diferentes-doses-de-silicio-na-linha-de-semeadura.html>. Acesso em: 30 nov. 2022.

FERREIRA, R. L. F.; GALVÃO, R. de O.; MIRANDA JUNIOR, E. B.; ARAÚJO NETO, S. E. de; NEGREIROS, J. R. S.; PARMEJANI, R. S. Produção orgânica de rabanete em plantio direto sobre cobertura morta e viva. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 3, p. 299-303, 2011. DOI: 10.1590/S0102-05362011000300007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362011000300007>. Acesso em: 22 nov. 2022.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. Viçosa: UFV. 421 p. 2008. ISBN: 978-85-7269-313-4.

FRIHLING, O. O. **Resíduos orgânicos no cultivo de rabanete**. 2017. 29 f. Monografia (Bacharel em Agronomia) – Departamento de Ciências Agronômicas da Universidade Federal do Paraná, Palotina, 2017.

G1. **Fevereiro teve o dobro da média de chuva para o mês em Sorocaba**. G1 Globo, TV TEM, 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sorocaba-jundiai/noticia/2023/03/01/fevereiro-teve-o-dobro-da-media-de-chuva-para-o-mes-em-sorocaba-diz-meteorologista.ghtml>. Acesso em: 28 jul. 2023.

GALVÃO, R. O. de. **Produção orgânica de hortaliças em diferentes sistemas de plantio com cobertura viva e morta adubado com composto, no Estado do Acre**. 2008. 64 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2008.

GASKIN, J. W.; STEINER, C.; HARRIS, K.; DAS, K. C.; BIBENS, B. Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar agricultural use. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**. v. 51, n. 6, p. 2061-2069, 2008. DOI: 10.13031/2013.25409. Disponível em: <https://doi.org/10.13031/2013.25409>. Acesso em: 27 set. 2023.

GOMES, D. P. **Interação de fatores bióticos e abióticos na ocorrência de “damping-off” em milho e feijoeiro**. 2009. 95 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP, Campus de Jaboticabal, 2009.

GORSKI, M. R.; SOARES, J. C. W.; KRUM, D. N.; BRUM, L. N.; LIMA, T. H. de; FREITAS, H. M. de; SANTOS, P. M. S. dos; COIMBRA, V. S. Variabilidade espacial da saturação por bases e da saturação por alumínio do solo, numa catena do Pampa, cultivada com soja. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v. 16, n. 1, p. 28-35, 2023. DOI: 10.55905/revconv.16n.1-002. Disponível em: <https://doi.org/10.55905/revconv.16n.1-002>. Acesso em: 27 set. 2023.

GRABER, E. R.; HAREL, Y. M.; KOLTON, M.; CYTRYN, E.; SILBER, A.; DAVID, D. R.; TSECHANSKY, L.; BORENSHTEIN, M.; ELAD, Y. Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media. **Plant and Soil**, v. 337, p. 481-496, 2010. DOI: 10.1007/s11104-010-0544-6. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0544-6>. Acesso em: 19 ago. 2022.

GRIMES, J. L.; SMITH, J.; WILLIAMS, C. M. Some alternative litter materials used for growing broilers and turkeys. **World's Poultry Science Journal**, v. 58, n. 4, p. 515-526, 2019. DOI: 10.1079/WPS20020037. Disponível em: <https://doi.org/10.1079/WPS20020037>. Acesso em: 5 nov. 2022.

GUEDES, I. M. R.; FONTES, R. R.; MESQUITA FILHO, M. V. de; SOUZA, A. F. Calagem. In: CARVALLHO, A. D. F. de. (ed.). **Cenoura**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cenoura/producao/manejo-do-solo/analise-do-solo/calagem>. Acesso em: 15 ago. 2023.

HAHN, L. **Processamento da cama de aviário e suas implicações nos agroecossistemas**. 2004. 130 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

HIGUTI, A. R. O.; SALATA, A. da C.; GODOY, A. R.; CARDOSO, A. I. I. Produção de mudas de abóbora com diferentes doses de nitrogênio e potássio. **Bragantia**, v. 69, n. 2, p. 377-380, 2010. DOI: 10.1590/S0006-87052010000200016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000200016>. Acesso em: 25 nov. 2022.

HOLZSCHUH, M. J.; BOHNEN, H.; ANGHINONI, I.; MEURER, E. J.; CARMONA, F. de C.; VALADÃO, S. E.; COSTA, G. de A. Rice growth as affected by combined ammonium and nitrate supply. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 33, n. 5, p. 1323-1331, 2009. DOI: 10.1590/S0100-06832009000500025. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000500025>. Acesso em: 24 set. 2023.

JEFFERY, S.; VERHEIJEN, F. G. A.; VELDE, M. van der; BASTOS, A. C. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 144, n. 1, p. 175-187, 2011. DOI: 10.1016/j.agee.2011.08.015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.08.015>. Acesso em: 6 nov. 2022.

KNOWLES, O. A.; ROBINSON, B. H.; CONTANGELO, A.; CLUCAS, L. Biochar for the mitigation of nitrate leaching from soil amended with biosolids. **Science of The Total Environment**. v. 409, n. 17, p. 3206-3210, 2011. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2011.05.011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.05.011>. Acesso em: 25 set. 2023.

KRAMER, M. **Produção de cultivares de rabanete em função de plantas de cobertura em antecedência à semeadura**. 2018. 47 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Olericultura) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Goiânia, 2018.

LEE, O. N.; PARK, H. Y. Assessment of genetic diversity in cultivated radishes (*Raphanus sativus*) by agronomic traits and SSR markers. **Scientia Horticulturae**, v. 223, n. 15, p. 19-30, 2017. DOI: 10.1016/j.scienta.2017.05.025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.05.025>. Acesso em: 30 nov. 2022.

LEHMANN, J. Bio-energy in the black. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 5, n. 7, p. 381-387, 2007. DOI: 10.1890/1540-9295(2007)5[381:BITB]2.0.CO;2. Disponível em: [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5\[381:BITB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[381:BITB]2.0.CO;2). Acesso em: 26 set. 2023.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Chapter 1 - Biochar for environmental management: An introduction. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (ed.). **Biochar for environmental management**. Science and Technology. London: Earthscan, p. 1-12, 2009. ISBN: 978-1-84407-65-1.



LEHMANN, J.; SILVA JR, J. P. da; STEINER, C.; NEHLS, T.; ZECH, W.; GLASER, B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant and Soil**, v. 249, p. 343-357, 2003. DOI: 10.1023/A:1022833116184. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1022833116184>. Acesso em: 25 set. 2023.

LINHARES, P. C. F.; PEREIRA, M. F. S.; OLIVEIRA, B. S. de; HENRIQUES, G. P. de S. A.; MARACAJA, P. B. Produtividade de rabanete em sistema orgânico de produção. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, n. 5, p. 94-101, 2010. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/478>. Acesso em: 1 dez. 2022.

LOPES, C. A.; REIS, A.; MAKISHIMA, N. Como prevenir o “tombamento” em mudas de hortaliças. **Comunicado Técnico 28**. Brasília, DF: Embrapa, 4 p. 2005. ISSN: 1414-9850. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/779128/1/lopescomo.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2023.

LOPES, H. L. S.; SAMPAIO, A. S. de O.; SOUSA, A. C. P. de; LIMA, D. C.; SOUTO, L. S.; SILVA, A. M. da; MARACAJÁ, P. B. Crescimento inicial da cultura do rabanete (*Raphanus sativus* L.) submetida a níveis e fontes de fertilizantes orgânicos. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 19-24, 2019. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RBGA/article/view/6152/6327>. Acesso em: 22 out. 2022.

MAIA, A. H.; SOUZA, M. E. de; SILVA, F. C. da; REBELATTO, B. F.; SILVA, T. O.; SOUZA, V. S.; FERREIRA, L. dos S. Productivity of radish fertilized with different doses of bovine manure. **African Journal of Agricultural Research**, v. 13, n. 18, p. 963–968, 2018. DOI: 10.5897/AJAR2018.13140. Disponível em: <https://doi.org/10.5897/AJAR2018.13140>. Acesso em 01 dez. 2022.

MANI, A. P.; ANBURANI, A. Organic nutrient management technique for enhancing growth and physiological parameters in radish (*Raphanus sativus* L.). **Journal of Phytology**, v. 10, p. 40-42, 2018. DOI: 10.25081/jp.2018.v10.3461. Disponível em: <https://doi.org/10.25081/jp.2018.v10.3461>. Acesso em: 30 nov. 2022.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos**. Brasília: MAPA. 240 p. 2017. ISBN: 9788-85-7991-109-5. Disponível em: [https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/manual-de-metodos\\_2017\\_isbn-978-85-7991-109-5.pdf](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/manual-de-metodos_2017_isbn-978-85-7991-109-5.pdf). Acesso em: 18 nov. 2022.

MARCOS FILHO, J; KIKUTI, A. L. P. Vigor de sementes de rabanete e desempenho de plantas em campo. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 3, p. 44-51, 2006. DOI: 10.1590/S0101-31222006000300007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222006000300007>. Acesso em: 13 out. 2022.

- MAROUELLI, W. A.; MELO, R. A. de C, e; BRAGA, M. B. **Irrigação no cultivo de brássicas**. 2017. 25 p. Circular Técnica n. 158 - MAPA. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1073865/irrigacao-no-cultivo-de-brassicas>. Acesso em: 16 ago. 2023.
- MASEK, O.; BROWNSORT, P.; CROSS, A.; SOHI, S. Influence of production conditions on the yield and environmental stability of biochar. **Fuel**. v. 103, p. 151-155, 2013. DOI: 10.1016/j.fuel.2011.08.044. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.08.044>. Acesso em: 6 nov. 2022.
- MENDES, J. da S. **Biocarvão: caracterização, uso como condicionador de solo e influência no desempenho agrônômico do milho**. 2020. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, 2020.
- MESQUITA, C. M. de S.; MENDONÇA, J. C. de; RABELO, J. da S.; ALMEIDA, A. V. R. de; LIMA NETO, B. P.; GUIMARAES, M. de A. Produtividade de duas cultivares de rabanete consorciadas com coentro. *In: XXXVI Encontro de Iniciação Científica*. Fortaleza: Encontros Universitários da UFC, 2017. Disponível em: <http://www.periodicos.ufc.br/eu/article/view/26634>. Acesso em: 28 nov. 2022.
- MINAMI, K.; TESSARIOLI NETO, J. **Rabanete: cultura rápida para temperaturas amenas e solos areno-argilosos**. Piracicaba: ESALQ – Divisão de Biblioteca e Documentação, 27 p. 1997. ISSN: 1414-4530. (Série Produtor Rural, 4).
- NAKASHIMA, G. T. **Production, soil amendment and sustainability of sugarcane trash biochar**. 2020. 91 f. Tese (Doutorado em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2020.
- NÓBREGA, I. P. C. **Efeitos do biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: sequestro de carbono no solo**. 2011. 46 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011.
- NOVAK, J. M.; LIMA, I.; XING, B.; GASKIN, J. W.; STEINER, C.; DAS, K. C.; AHMEDNA, M.; REHRAH, D.; WATTS, D. W.; BUSSCHER, W. J.; SCHOMBERG, H. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. **Annals of Environmental Science**, v. 3, p. 195-206, 2009. Disponível em: <https://openjournals.neu.edu/aes/journal/article/view/v3art5>. Acesso em: 22 ago. 2022.
- OLIVEIRA, C. **Tudo o que você precisa saber sobre cobre nas plantas**. Aegro, 2021. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/cobre-nas-plantas/>. Acesso em 23 maio 2023.
- OLIVEIRA, M. C. de; ALMEIDA, C. V.; ANDRADE, D. O.; RODRIGUES, S. M. M. Dry matter content, pH and volatilized ammonia from poultry litter treated or not with different additives. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n.4, p. 951-954, 2003. DOI: 10.1590/S1516-35982003000400022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000400022>. Acesso em: 23 set. 2023.

ORRICO JR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JR, J. de. Compostagem dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças de aves. **Engenharia Agrícola Jaboticabal**, v. 30, n. 3, p. 538-545, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/HBYQjtDrYhc3GNzMQfC4Cgm/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 3 ago. 2022.

OVIEDO-RONDON, E. O. Tecnologias para mitigar o impacto ambiental da produção de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 239-252, 2008. DOI: 10.1590/S1516-35982008001300028. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008001300028>. Acesso em: 15 out. 2022.

PAVINATO, P. S.; MERLIN, A.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de cátions no solo alterada pelo sistema de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 33, p. 1031-1040, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/SYKJCJ8SBxwmxttsYmhr4Nmt/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 set. 2023.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of Köppen-Geiger climate classification. **Hidrology and Earth System Science**, v. 11, p. 1633-1644, 2007. DOI: 10.5194/hess-11-1633-2007. Disponível em: <https://hess.copernicus.org/articles/11/1633/2007/hess-11-1633-2007.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2022.

PEREIRA, M. E.; VARANDA, L. D.; CARVALHO, N. R. de; SETTE JR, C. R.; PADUA, F. A. de; CONTI, A. C. de; YAMAJI, F. M. Biochar produced from poultry litter waste. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, p. e3511011119704, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i11.19704. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i11.19704>. Acesso em: 12 out. 2022.

PEREIRA, M. E.; VARANDA, L. D.; NAKASHIMA, G. T; HANSTED, A. L. S.; SILVA, D. A.; TOMELERI, J. O. P.; BELINI G. B.; YAMAJI, F. M. Caracterização da biomassa de cama de frango para fabricação de biochar. **Revista Virtual de Química**, v. 11, n. 4, p. 1330-1343, 2019. DOI: 10.21577/1984-6835.20190092. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20190092>. Acesso em: 3 maio 2022.

PORTAL DO AGRONEGÓCIO. **Cultivo do rabanete**. 2012. Disponível em: <https://www.portaldoagronegocio.com.br/agricultura/outros/noticias/cultivo-do-rabanete-30414>. Acesso em: 10 set. 2023.

QUADRA-SP. **Prefeitura de Quadra: conheça Quadra, dados gerais**. 2010. Disponível em: <https://www.quadra.sp.gov.br/conheca-quadra/dados-gerais>. Acesso em: 18 nov. 2022.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van. Capítulo 6 - Correção da acidez do solo. *In*: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo - IAC, p. 14-19, 1997. ISSN: 0100-3100. (Boletim Técnico IAC, 100).

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo - IAC, 285 p. 2001. ISBN: 85-85564-05-9. Disponível em: [https://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/arquivos/Raij\\_et\\_al\\_2001\\_Metod\\_Anal\\_IAC.pdf](https://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/arquivos/Raij_et_al_2001_Metod_Anal_IAC.pdf). Acesso em: 24 nov. 2022.

REIS, A.; SOUZA, R. L. de; KÓR, D. G.; CANEDO, É. J.; LIMA, F. L. dos S. **Principais doenças das brássicas causadas por fungos, oomicetos e protozoário: Identificação e manejo**. 2021. 44 p. Circular Técnica n. 176 - EMBRAPA. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/229882/1/CT-176-30dez2021.pdf>. Acesso em: 6 ago. 2023.

REIS, J. M. R.; RODRIGUES, J. F. R.; REIS, M. de A. Combinação de fertilizantes na produção de rabanete. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, p. 438-444, 2012. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/3617>. Acesso em 12 abr. 2023.

RODRIGUES, J. F.; REIS, J. M. R.; REIS, M. de A. Utilização de esterco em substituição a adubação mineral na cultura do rabanete. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 7, n. 2, p. 160-168, 2013. DOI: 10.0000/rtcab.v7i2.1110. Disponível em: <https://doi.org/10.0000/rtcab.v7i2.1110>. Acesso em: 3 out. 2022.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 26 p. 2010. ISSN: 1806-3322. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/882598/conceitos-de-fertilidade-do-solo-e-manejo-adequado-para-as-regioes-tropicais>. Acesso em: 22 out. 2022.

ROSA, A. D. P. **Adubação potássica no rabanete**. 2018. 28 p. Monografia (Bacharelado em Agronomia) – Centro Universitário do Cerrado Patrocínio, Faculdade de Agronomia, Patrocínio, 2018.

ROSOLEM, C. A.; BÍSCARO, T. Adsorção e lixiviação de boro em latossolo vermelho-amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 10, p. 1473-1478, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/znRWKPYZhVG8MSCZCYR8cSy/?format=pdf>. Acesso em: 24 set. 2023.

SANGOI, L.; ERNANI, P. R.; LECH, V. A.; RAMPAZZO, C. Nitrogen leaching as affected by urea application method and oat residue management in soils with contrasting textures. **Ciência Rural**, v. 33, n. 1, p. 65-70, 2003. DOI: 10.1590/S0103-84782003000100010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782003000100010>. Acesso em: 13 set. 2023.

SANTOS, H. G. dos.; JACOMMINE, P. K. I.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 365 p. 2018. ISBN: 978-85-7035-800-4. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/199517/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2022.

SANTOS, H. G. dos.; JÚNIOR, W. de C.; DART, R. de O.; ÁGLIO, M. L. D.; SOUSA, J. S. de; PARES, J. G.; FONTANA, A.; MARTINS, A. L. da S.; OLIVEIRA, A. P. de. **O Novo Mapa de Solos do Brasil: legenda atualizada**. 1. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 67 p. 2011. ISSN: 1517-2627. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/123772/1/DOC-130-O-novo-mapa-de-solos-do-Brasil.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2022.

SANTOS, J. L. S. **Biocarvão como condicionador da fertilidade e da microbiota de solo de cerrado cultivado com soja**. 2013. 102 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, Goiânia, 2013.

SCHNITZER, M.; MONREAL, C. M.; JANDL, G. The conversion of chicken manure to biooil by fast pyrolysis. III. Analyses of chicken manure, biooils and char by Py-FIMS and Py-FDMS. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 43, n. 1, p. 81-95, 2008. DOI: 10.1080/0361230701735185. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/0361230701735185>. Acesso em: 10 maio 2022.

SHENBAGAVALLI, S.; MAHIMAIRAJA, S. Characterization and effect of biochar on nitrogen and carbon dynamics in soil. **International Journal of Biological Research**. v. 2, p. 249-255, 2012. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/CHARACTERIZATION-AND-EFFECT-OF-BIOCHAR-ON-NITROGEN/9aa7dfe48b53b977ad75384aba3c076c48a3f336>. Acesso em: 7 nov. 2022.

SILVA, A. F. A. da; SOUZA, E. G. F.; SANTOS, M. G. dos; BARROS JÚNIOR, A. P.; BEZERRA NETO, F.; SILVEIRA, L. M. da. Rentabilidade do rabanete adubado com flor-de-seda em duas épocas de cultivo no semiárido de Pernambuco. **Revista de Ciências Agrárias - Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 58, n. 2, p. 198-207, 2015b. DOI: 10.4322/rca.1761. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4322/rca.1761>. Acesso em: 30 nov. 2022.

SILVA, L. F. de O. da; CAMPOS, K. A.; MORAIS, A. R. de; COGO, F. D.; ZAMBON, C. R. Tamanho ótimo de parcela para experimentos com rabanetes. **Revista Ceres**, vol. 59, n. 5, p. 624-629, 2012. DOI: 10.1590/S0034-737X2012000500007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2012000500007>. Acesso em: 21 out. 2022.

SILVA, P. F. da; MATOS, R. M. de; ALENCAR, A. E. V. de; DANTAS JUNIOR, G. J.; DANTAS NETO, J. Respostas de plantas de rabanete a adubação orgânica. *In: Resumos do IX Congresso Brasileiro de Agroecologia*. Belém: Cadernos de Agroecologia, v. 10, n. 3, Belém-PA, 2015a. ISSN: 2236-7934. Disponível em: <https://revistas.aba-agroecologia.org.br/cad/article/view/17246#:~:text=O%20h%C3%BAmus%20de%20minhoc a%20proporcionou,em%20substitui%C3%A7%C3%A3o%20aos%20fertilizantes%20minerai s>. Acesso em: 28 set. 2022.

SILVA, T. R.; PEDROSO, A. L. B.; OLIVEIRA, M. L. S. D. de; SGANZERLA, N. C.; HANKE, D.; ALTEMBURG, S. G. N. Determinação do potencial hidrogeniônico de biocarvões produzidos a partir de diferentes fontes de biomassa vegetal. *In: Anais do X Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão - SIEPE*. Universidade Federal do Pampa, Santana do Livramento, 2018. Disponível em:

[https://guri.unipampa.edu.br/uploads/evt/arq\\_trabalhos/16620/seer\\_16620.pdf](https://guri.unipampa.edu.br/uploads/evt/arq_trabalhos/16620/seer_16620.pdf). Acesso em: 15 set. 2023

SIMS J. T.; WOLF, D. C. Poultry waste management: agricultural and environmental issues. *Advances in Agronomy*, v. 52, p. 1-83, 1994. DOI: 10.1016/S0065-2113(08)60621-5. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60621-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60621-5). Acesso em: 18 jan. 2022.

SINGH, V.; SINGH, B.; SINGH, Y.; THIND, H. S.; GUPTA, R. K. Need based nitrogen management using the chlorophyll meter and leaf colour chart in rice and wheat in South Asia: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. v. 88, p. 361-380, 2010. DOI: 10.1007/s10705-010-9363-7. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10705-010-9363-7>. Acesso em: 21 set. 2023.

SMIDER, B.; SINGH, B.; Agronomic performance of a high ash biochar in two contrasting soils. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. v. 191, p. 99-107, 2014. DOI: 10.1016/j.agee.2014.01.024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.01.024>. Acesso em: 26 set. 2023.

SOHI, S. P. Carbon storage with benefits. *Science*, v. 338, n. 6110, p. 1034-1035, 2012. DOI: 10.1126/science.1225987. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.1225987>. Acesso em: 28 set. 2023.

SOLDERA, G. M. C. **Degradação do carbono e efeitos da aplicação de biocarvão de resíduos de aviário em latossolo**. 2016. 50 f. Monografia (Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.

SONG, W.; GUO, M. Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v.94, p.138-145, 2012. DOI: 10.1016/j.jaap.2011.11.018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2011.11.018>. Acesso em: 15 set. 2022.

SOUSA, A. A. T. C. de. **Biochar de lodo de esgoto: efeitos no solo e na planta no cultivo de rabanete**. 2015. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

SOUSA, W. F. de. **Níveis e fontes de fertilização orgânica na cultura do rabanete (*Raphanus sativus* L.)**. 2017. 28 f. Monografia (Bacharel em Agronomia) – Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2017.

SOUZA, L. G. de S. e; ARAÚJO NETO, S. E. de; FERREIRA, R. L. F.; MARINO, G.; BRITO, I. C. da S.; REZENDE, M. I. de F. L.; PINTO, G. P. Desempenho de cultivares de rabanete em sistema orgânico no Acre. *Scientia Naturalis*, v. 2, n. 2, p. 536-542, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufac.br/index.php/SciNat/article/view/4036>. Acesso em 13 abr. 2023.

SOUZA, M. D. B.; NASCIMENTO, A. D.; RAMOS, A. B.; MARQUES, N. D.; SILVA, R. F. da. Produção orgânica de rabanete sob diferentes fontes de adubos orgânicos. *In: IV Seminário de Agroecologia de Mato Grosso do Sul*. Campo Grande: Cadernos de Agroecologia, v. 7, n. 2, Campo Grande-MS, 2012. ISSN: 2236-7934. Disponível em: <https://revistas.aba-agroecologia.org.br/cad/article/view/13142/8746>. Acesso em: 28 set. 2022.

SPERANDIO, I. F.; BOCALETI, L. H. dos R.; GASPAROTTO, F.; PACCOLA, E. A. de S. Aplicação de resíduos da agroindústria e agropecuária na cultura de *Raphanus sativus* L. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 2, p. 539-547, 2021. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.002.0046. Disponível em: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.002.0046>. Acesso em: 23 out. 2022.

SUBEDI, S.; SRIVASTAVA, A.; SHARMA, M. D; SHAH, S. C. Effect of organic and inorganic nutrient sources on growth, yield and quality of radish (*Raphanus sativus* L.) varieties in Chitwan, Nepal. **SAARC Journal of Agriculture**, v. 16, n. 1, p. 61–69, 2018. DOI: 10.3329/sja.v16i1.37423. Disponível em: <https://doi.org/10.3329/sja.v16i1.37423>. Acesso em: 28 nov. 2022.

TAMMEORG, P.; SIMOJOKI, A.; MAKELA, P.; STODDARD, F. L.; ALAKUKKU, L. HELENIUS, J. Short-term effects of biochar on soil properties and wheat yield formation with meat bone meal and inorganic fertilizer on a boreal loamy sand. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 191, p. 108-116, 2014. DOI: 10.1016/j.agee.2014.01.007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.01.007>. Acesso em: 27 set. 2023.

TOMICIOLI, R. M.; LEAL, F. T.; COELHO, A. P. Limitação da produtividade pela deficiência de boro nas culturas da soja, milho, feijão e café. **South American Sciences**, v. 2, n. 1, p. 1-24, 2021. DOI: 10.17648/sas.v2i1.100. Disponível em: <https://doi.org/10.17648/sas.v2i1.100>. Acesso em: 28 set. 2023.

TRANI, P. E.; PASSOS, F. A.; TAVARES, M.; AZEVEDO FILHO, J. A. de. Capítulo 18.11 - Beterraba, cenoura, nabo, rabanete e salsa. *In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (ed.). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo - IAC, p. 174-174, 1997. ISSN: 0100-3100. (Boletim Técnico IAC, 100).

UZOMA, K, C.; INOUE, M.; ANDRY, H.; FUJIMAKI, H.; ZAHOR, A.; NISHIHARA, E. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. **Soil Use and Management**, v. 27, n. 2, p. 205-212, 2011. DOI: 10.1111/j.1475-2743.2011.00340.x. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2011.00340.x>. Acesso em: 1 dez. 2022.

VIEIRA, M. F. A. **Caracterização e análise da qualidade sanitária de camas de frango de diferentes materiais reutilizados sequencialmente**. 2011. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2011.

VITTI, M. R.; VIDAL, M. B.; MORSELLI, T. B. G. A.; FARIA, J. L. C. Resposta do rabanete a adubação orgânica em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 1, p. 1158-1161, 2007. Disponível em: <https://revistas.aba-agroecologia.org.br/rbagroecologia/article/view/6505>. Acesso em: 1 nov. 2022.

ZAID, H. A.; EL-BAHNASY, H. T.; ELKOMY, M. A.; ELSAYED, M. M.; ADBRABOUH, A. E. Potential control of ammonia emissions from poultry droppings by using biochar with insight to its effect on growth rate and liver cytokines. **Journal of Environmental Sciences**, v. 52, n. 2, p. 1-8, 2023. DOI: 10.21608/joese.2023.226614.1029. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.21608/joese.2023.226614.1029>. Acesso em: 27 set. 2023.

ZHANG, A.; BIAN, R.; PAN, G.; CUI, L.; HUSSAIN, Q.; LI, L.; ZHENG, Jinwei; ZHENG, Jufeng; Zhang, X.; HAN, X.; YU, X. Effects of biochar amendment on soil quality, crop yield and greenhouse gas emission in a Chinese rice paddy: A field study of 2 consecutive rice growing cycles. **Field Crops Research**. v. 127, n. 27, p. 153-160, 2012. DOI: 10.1016/j.fcr.2011.11.020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.11.020>. Acesso em: 18 set. 2023.

ZWIETEN, L. van; KIMBER, S.; MORRIS, S.; CHAN, K. Y.; DOWNIE, A.; RUST, J.; JOSEPH, S.; COWIE, A. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. **Plant and Soil**, v. 327, p. 235-246, 2010. DOI: 10.1007/s11104-009-0050-x. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0050-x>. Acesso em: 14 ago. 2022.

ZWIETEN, L. van; KIMBER, S. W. L.; MORRIS, S. G.; SINGH, B. P.; GRACE, P. R.; SCHEER, C.; RUST, J.; DOWNIE, A. E.; COWIE, A. L. Pyrolysing poultry litter reduces N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> fluxes. **Science of the Total Environment**, v. 465, p. 279-287, 2013. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.02.054. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.02.054>. Acesso em: 14 abr. 2023.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi apresentada a viabilidade de parâmetros de produção do biochar de cama de frango e sua aplicação no solo para verificação de suas funções para o solo e para a planta.

O biochar foi produzido com temperatura de pirólise de 450°C e tempo de residência de 0,5 h. O biochar produzido e analisado, implicou em características plausíveis para aplicação no solo.

A aplicação no solo mostrou que o biochar de cama de frango possui propriedades satisfatórias para nutrientes de plantas de ciclo curto, o que foi mostrado pelas análises dos parâmetros de desenvolvimento dos rabanetes.

Também, o efeito do biochar para o solo, teve implicações positivas, apresentadas pelos resultados e análises dos parâmetros de fertilização do solo em comparação com adubação orgânica e mineral.

Para efeito nutricional, em percentual de massa dos rabanetes, os tratamentos não apresentaram implicações, ou seja, não tiveram efeitos sobre estes resultados.

Para futuras pesquisas com o biochar é plausível:

- experimentos com maiores doses de biochar para além de 60 t ha<sup>-1</sup>;
- experimentos que verifiquem a comparação de biochar com diferentes matérias-primas e seus efeitos no solo e plantas;
- experimentos com blendas de biochar de diferentes matérias-primas, como também em aplicação conjunta com fertilizantes orgânicos e/ou minerais;
- a ampliação da aplicabilidade do biochar em outros tipos de solo e com outros tipos de plantas (ciclo médio e longo).

Assim, aumenta-se o conhecimento e informações acerca deste material muito importante, ambientalmente seguro e sustentável que é o biochar.