

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

RESÍDUOS DE CAMA DE FRANGO PARA FABRICAÇÃO DE BIOCHAR

Sorocaba
2019

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

RESÍDUOS DE CAMA DE FRANGO PARA FABRICAÇÃO DE BIOCHAR

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

Orientação: Prof. Dr. Fábio Minoru Yamaji
Coorientação: Dr. Luciano Donizeti Varanda

Sorocaba
2019

Pereira, Moisés Edevaldo

Resíduos de Cama de Frango para Fabricação de Biochar / Moisés Edevaldo Pereira. -- 2019.
73 f. : 30 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador: Fábio Minoru Yamaji
Banca examinadora: Carlos Roberto Sette Júnior, Franciane Andrade de Pádua
Bibliografia

1. Biochar. 2. Cama de frango. 3. Pirólise. I. Orientador. II. Universidade Federal de São Carlos. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Programa de Geração Automática da Secretaria Geral de Informática (SIn).

DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

Bibliotecário(a) Responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano – CRB/8 6979

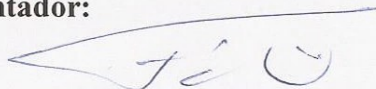
MOISÉS EDEVALDO PEREIRA

**RESÍDUOS DE CAMA DE FRANGO PARA FABRICAÇÃO DE
BIOCHAR**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação para obtenção do título de
mestre em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis.**

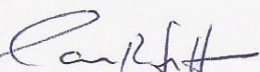
**Universidade Federal de São Carlos.
Sorocaba, 04 de dezembro de 2019.**

Orientador:




**Prof. Dr. Fábio Minoru Yamaji
Presidente da banca examinadora
UFSCar Sorocaba**

Examinadores:



**Prof. Dr. Carlos Roberto Sette Júnior
Universidade Federal de Goiás - UFG**



**Prof. Dra. Franciane Andrade de Pádua
UFSCar Sorocaba**

Dedico este trabalho ao meu irmão Gerson (in memoriam) que, desde os meus primeiros passos, sempre 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 à minha filha Izabelle por me mostrar o sentido da vida.

AGRADECIMENTOS

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

Agradeço à minha família por fazer parte de quem sou hoje.

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

Agradeço ao grande amigo Luciano Donizeti Varanda pela coorientação e constantes conselhos durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos professores Lúcio, Fran e Carlos Sette pelas orientações em ocasião das bancas de qualificação e defesa.

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

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

Agradeço aos colegas de laboratório pelo companheirismo e pelo aprendizado, em especial: Robmilson, Gabizinha, Texugo, João, Gabi, Ana Larissa, Luisa e Tatuí.

Agradeço aos meus amigos do IFSP pela torcida e apoio.

Agradeço ao IFSP pelo incentivo para realização deste trabalho.

“O amor cura”

Gerson Pereira.

RESUMO

PEREIRA, Moisés Edevaldo. *Resíduos de cama de frango para fabricação de biochar*. 2019. 73 f. Dissertação (Mestrado em “Planejamento e Uso de Recursos Renováveis”) – Centro de Ciências e Tecnologias para a Sustentabilidade, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2019.

O Brasil possui grande geração do resíduo de cama de frango, em consequência de seu destaque mundial na produção de frango de corte. A biomassa de cama de frango gera impactos ambientais consideráveis em função de seu volume produzido. Assim, o objetivo geral deste trabalho foi caracterizar a biomassa de cama de frango para verificar a possibilidade de aproveitá-la como matéria-prima para fabricação de biochar. Para a caracterização da cama de frango foram analisadas amostras de serragem de *Pinus* spp., cama de frango com criação de 1 lote e com 2 lotes de frangos. Foram realizadas análise imediata, umidade, análises termogravimétricas (TGA), microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectroscopia por energia dispersiva (EDS) e análise de macro e micronutrientes apenas com as camas de frango de 1 e 2 lotes (capítulo 2). Para a fabricação do biochar foram utilizados 5 tratamentos com os seguintes tempos de residência: 0,5, 1, 2, 4 e 6 horas. Os biochar produzidos foram submetidos a análises imediatas, umidade, rendimento gravimétrico, microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectroscopia por energia dispersiva (EDS) e poder calorífico superior (PCS), mostrado no capítulo 3. Os resultados apresentaram que a biomassa de cama de frango possui grande potencial para fabricação do biochar, com valores expressivos de fósforo, potássio, cálcio entre outros e pH de 8,4, características importantes para o biochar com utilização no solo. Os resultados apresentaram que as melhores condições para a fabricação do biochar é com temperatura de pirólise de 450 °C e tempo de residência de 0,5 h, com alto rendimento gravimétrico, de 37,21%. Os estudos permitiram concluir também que a utilização, tanto da biomassa, quanto do biochar não são indicados para utilização em energia em função de características como umidade, teor de cinzas e poder calorífico superior.

Palavras-chave: Cama de aviário. Pirólise. Biomassa. Recuperação de solo.

ABSTRACT

PEREIRA, Moisés Edevaldo. *Poultry litter waste for biochar manufacturing*. 2019. 73 f. Thesis (Master in “Planning and Use of Renewable Resources”) – Science and Technologies Center for Sustainability, Federal University of São Carlos, Sorocaba, 2019.

Brazil has a large generation of poultry litter, as a result of its worldwide prominence in the production of broiler chicken. The poultry litter biomass generates considerable environmental impacts according to its volume produced. Thus, the general objective of this work was to characterize the poultry litter biomass to verify the possibility of using as a raw material for biochar manufacture. To characterize the poultry litter, was analyzed samples of sawdust pine, poultry litter with 1 and 2 lots of broiler chicken. Were performed immediate analyze, moisture, thermogravimetric analysis (TGA), scanning electron microscopy (MEV), dispersive energy spectroscopy (EDS) and macro and micronutrient analysis were performed only with poultry litter with 1 and 2 lots of broiler chicken (chapter 2). For the manufacture of biochar, were used 5 treatments with the following residence times: 0.5, 1, 2, 4 and 6 hours. The biochar produced were subjected to immediate analysis, moisture, gravimetric yield, scanning electron microscopy (MEV), dispersive energy spectroscopy (EDS) and higher heating value (HHV), shown in chapter 3. The results showed that poultry litter biomass has great potential for biochar manufacture, with expressive values of phosphorus, potassium, calcium and others, and pH of 8.4, important characteristics for biochar with soil use. The results showed that the best conditions for biochar manufacture are with pyrolysis temperature of 450 °C and residence time of 0.5 hour, with high gravimetric yield of 37.21%. The studies also concluded that use of both biomass and biochar are not indicated for use in energy due to characteristics such as moisture, ash content and higher heating value.

Keywords: Poultry litter. Pyrolysis. Biomass. Soil recovery.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Granja de galinhas poedeiras	19
Figura 2 – Granja de frangos de corte	20
Figura 3 – Moinho de rotor vertical.....	36
Figura 4 – Estufa	37
Figura 5 – Forno mufla.....	38
Figura 6 – Microscópio eletrônico de varredura para análises de MEV/EDS.....	40
Figura 7 – Equipamento para análises termogravimétricas.....	40
Figura 8 – Espectrofotômetro utilizado	41
Figura 9 – Amostras analisadas: (A) Cinzas da serragem de pinus; (B) Cinzas da cama de frango de um lote; (C) Cinzas da cama de frango de dois lotes	43
Figura 10 – Espectroscopia por energia dispersiva das cinzas da serragem de pinus	44
Figura 11 – Espectroscopia por energia dispersiva das cinzas da cama de frango de um lote	44
Figura 12 – Espectroscopia por energia dispersiva das cinzas da cama de frango de dois lotes	45

Figura 13 – Análises termogravimétricas: (A) serragem de pinus; (B) cama de frango de um lote; (C) cama de frango de dois lotes	47
Figura 14 – Balança determinadora de umidade	57
Figura 15 – (A) Bomba calorimétrica; (B) Balança de precisão	60
Figura 16 – Análises termogravimétricas da pirólise da cama de frango: (A) temperatura final de 300 °C; (B) temperatura final de 450 °C; (C) temperatura final de 750 °C	62
Figura 17 – Aspectos do biochar de cama de frango de 2 lotes após 5 tempos de residência: (A) 0,5 hora; (B) 1 hora; (C) 2 horas; (D) 4 horas; (E) 6 horas	64
Figura 18 – Presença de cloreto de potássio.....	68
Figura 19 – Porosidade.....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Umidade dos materiais	42
Tabela 2 – Análise imediata dos materiais	42
Tabela 3 – EDS das cinzas: (A) serragem de pinus; (B) cama de frango de um lote; (C) cama de frango de dois lotes	46
Tabela 4 – Picos de perda de massa dos materiais	48
Tabela 5 – Análise de macro e micronutrientes e umidade: (A) cama de frango de um lote; (B) cama de frango de dois lotes	49
Tabela 6 – Produtos dos diferentes tipos de pirólise	63
Tabela 7 – Umidade e rendimento gravimétrico dos tratamentos do biochar	64
Tabela 8 – Análise imediata e PCS dos tratamentos do biochar	65
Tabela 9 – EDS dos diferentes tratamentos do biochar	66
Tabela 10 – Classificação dos poros de acordo com a IUPAC	69

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - REVISÃO DE LITERATURA	16
1.1 INTRODUÇÃO GERAL	16
1.2 OBJETIVOS	18
1.2.1 Objetivo Geral	18
1.2.2 Objetivos Específicos	18
1.3 REVISÃO DE LITERATURA	19
1.3.1 Avicultura no Brasil e a Geração da Cama de Frango	19
1.3.1.1 Frango de Corte, a Produção da Cama de Frango e os Problemas Ambientais	20
.....	20
1.3.2 Pirólise da Biomassa	22
1.3.3 Biochar	23
1.3.3.1 Produção do Biochar	24
1.3.3.2 Aplicação do Biochar no Solo	24
1.3.3.3 Capacidade de Troca Catiônica	25
1.3.3.4 Capacidade de Retenção de Água	26
1.3.3.5 Sequestro de Carbono e Auxílio na Recuperação de Solo Degradado	27
REFERÊNCIAS	28
CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA DE CAMA DE FRANGO PARA FABRICAÇÃO DE BIOCHAR	34
2.1 INTRODUÇÃO	34
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	36
2.2.1 Material	36
2.2.2 Preparação das Amostras	36
2.2.3 Umidade	37
2.2.4 Análise Imediata	37
2.2.4.1 Teor de Voláteis	38
2.2.4.2 Teor de Cinzas	39
2.2.4.3 Teor de Carbono Fixo	39
2.2.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) / Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS)	39

2.2.6 Análises Termogravimétricas (TGA)	40
2.2.7 Análise de Macro e Micronutrientes	41
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
2.3.1 Umidade	42
2.3.2 Análise Imediata	42
2.3.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) / Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS)	43
2.3.4 Análises Termogravimétricas (TGA)	46
2.3.5 Análise de Macro e Micronutrientes	49
2.4 CONCLUSÕES	51
REFERÊNCIAS	52

CAPÍTULO 3 – CARACTERIZAÇÃO DO BIOCHAR DE RESÍDUO DE CAMA DE FRANGO	55
3.1 INTRODUÇÃO	55
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	56
3.2.1 Material	56
3.2.2 Coleta das Amostras	56
3.2.3 Preparação das Amostras	56
3.2.4 Produção do Biochar	56
3.2.5 Umidade	57
3.2.6 Rendimento Gravimétrico	57
3.2.7 Análise Imediata	58
3.2.7.1 Teor de Voláteis	58
3.2.7.2 Teor de Cinzas	58
3.2.7.3 Teor de Carbono Fixo	59
3.2.8 Poder Calorífico Superior	59
3.2.9 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) / Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS)	60
3.2.10 Análise Estatística	60
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
3.3.1 Tratamentos do Biochar	61
3.3.2 Umidade e Rendimento Gravimétrico	64
3.3.3 Análise Imediata e Poder Calorífico Superior (PCS)	65

3.3.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) / Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS)	66
3.4 CONCLUSÕES	70
REFERÊNCIAS	71
CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
4.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	73

CAPÍTULO 1 – REVISÃO DE LITERATURA

1.1 INTRODUÇÃO GERAL

O consumo da carne de frango vem aumentando muito nos últimos anos, passando de 40 kg por pessoa no ano de 2007 (RESENDE FILHO et al., 2012) para 91,7 kg por pessoa em 2017 (BEEFPOINT/USDA, 2017). Além disso, segundo estudo da Departamento de Agricultura dos Estados Unidos - USDA (2017), o consumo anual da carne de frango é maior quando comparada ao consumo de outras carnes, tais como bovina (57 kg por pessoa) e suína (50,8 kg por pessoa).

O Brasil destaca-se mundialmente na produção e na exportação de frango de corte, com produção de 12,9 milhões de toneladas produzidas e 4,1 milhões de toneladas exportadas em 2018 conforme dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2019). Ainda segundo dados do USDA, é previsto um crescimento na exportação de 2,5% para 2020. Esse aumento deve-se, principalmente à demanda global, especialmente da China (MENDES, 2019).

Com essa grande produção de frango de corte há a produção residual de cama de frango. Segundo Ortolani e Brito (2001), a produção da cama de frango é de 1,6 a 1,8 kg por ave e de acordo com o site Avisite (2019) a média de 2,3 kg por frango de corte abatido no Brasil. Conforme esses dados e os dados da produção de carne de frango (12,9 milhões de toneladas), a produção de cama de frango é da ordem de 4,5 a 5 milhões de toneladas anuais, considerando a troca a cada dois lotes de criação.

Inicialmente a cama de frango era utilizada como ração para gado em função de seu baixo custo quando se comparada a outros alimentos para ruminantes. No entanto, com a Instrução Normativa n. 41 de 2009 (MAPA, 2009), e alterada pela Instrução Normativa n. 10 de 2010 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2010), essa prática foi proibida e atualmente o uso comum é como adubo, ainda assim, há produtores que utilizam a cama de frango para alimentação do gado (WALENDORFF, 2019).

O seu uso como adubo, em função da cama de frango não ser balanceada em todos os nutrientes, necessita de complementação com outras fontes (HAHN, 2004). Essas outras fontes, provém de adubos minerais, formando o adubo organomineral. 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 material e causando problemas ambientais.

Nesse contexto, faz-se necessário o estudo de formas alternativas, tais como a fabricação do biochar, com menor impacto ambiental possível, de aproveitamento desse resíduo tão abundante.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo foi verificar a possibilidade técnica de aproveitamento do resíduo de cama de frango como matéria-prima para fabricação de biochar.

1.2.2 Objetivos Específicos

Com isso, os objetivos específicos foram:

- 1) revisão de literatura acerca da geração da cama de frango e biochar (capítulo 1);
- 2) caracterização do resíduo de cama de frango (capítulo 2);
- 3) fabricação e caracterização do biochar a partir da biomassa de cama de frango em diferentes condições de produção (temperatura de aquecimento, tempo de residência e taxa de aquecimento de 20 °C min^{-1} (capítulo 3).

1.3 REVISÃO DE LITERATURA

1.3.1 Avicultura no Brasil e a Geração da Cama de Frango

No Brasil, conforme afirmam Freitas e Bertoglio (2001), a avicultura industrial teve seu início nos anos 50 o que gerou uma aproximação entre a unidade de produção e a indústria e, dessa forma, a avicultura passou a ter um aspecto que a diferenciava de outras atividades agropecuárias.

A avicultura se divide na produção de ovos (galinhas poedeiras) e produção de carne (frango de corte). No caso das galinhas poedeiras, os dejetos são provenientes da criação de aves, geralmente mantidas em gaiolas suspensas, o que, neste caso, não necessita da presença da cama. A Figura 1 mostra uma granja de galinhas poedeiras e a Figura 2 mostra uma granja de frangos de corte.

Figura 1. Granja de galinhas poedeiras.



Fonte: Luca (2019).

Figura 2. Granja de frangos de corte.



Fonte: Doni (2018).

Segundo Oliveira (1991), nos dejetos das galinhas poedeiras são encontrados penas, ovos quebrados e restos de ração. A produção desse resíduo é bem menor se comparado com a geração da cama de frango na produção do frango de corte.

1.3.1.1 Frango de Corte, a Produção da Cama de Frango e os Problemas Ambientais

Fukayama (2008) aponta que o desenvolvimento da avicultura de corte está relacionado aos avanços da genética, nutrição, sanidade e manejo, com intuito de auxiliar na evolução da criação de frangos com menor custo de produção.

A produção de frangos de corte gera uma significativa quantidade de resíduos, entre os quais se destaca a cama de frango, também conhecida como cama de aviário (RAIJ, 2011).

A cama de frango consiste na mistura de excretas juntamente com material absorvente (geralmente serragem) 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.

A cama de frango, além da absorção da umidade, também auxilia na redução das oscilações de temperatura no aviário e na proteção das aves do atrito com o piso e, conseqüentemente, na melhoria do conforto das aves que está associado ao bem-estar animal (RAIJ, 2011; VIEIRA, 2011).

Segundo Teixeira (2005) e Wiecheteck (2009), a serragem é gerada através do processamento industrial da madeira e é classificada como resíduo lignocelulósico. Sua destinação inclui, principalmente a queima para geração de energia e utilização na criação animal, como a cama de frango.

A serragem é formada por pequenas partículas de madeira gerada em diversos processos do beneficiamento da madeira, em indústrias dos setores de painéis à base de madeira, marcenarias e serrarias. Existe uma grande geração de serragem, principalmente nas regiões sul e sudeste do Brasil, onde também são as regiões de maior produção de frangos no país, o que favorece seu uso como material absorvente utilizado como cama na criação de frangos de corte.

Ávila et al. (1992) apontaram em seu estudo que 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.

Goetten et al., (2009), indicam que 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.

Raij (2011) aponta que a cama de frango possui concentrações consideráveis de nitrogênio, fósforo, potássio, além de outros minerais e uma alta quantidade de bactérias, o que corrobora em sua destinação mais comum, como fertilizante.

A rápida decomposição dos compostos da cama de frango, dentro e fora dos lugares de produção avícola, gera problemas ambientais. Deve-se lembrar também que, além de poluição, o descarte inadequado dos dejetos de animais acarreta a perda de seu apreciável potencial energético e fertilizante quando reciclados (TESSARO, 2011).

Oviedo-Rondón (2008) alerta que a aplicação contínua de cama de frango no solo pode ter consequências ambientais negativas. A geração da amônia é uma preocupação, pois é bastante comum nos resíduos avícolas. O íon amônio (NH_4^+) é a forma dominante de nitrogênio na cama de frango que, com o aumento do pH e condições favoráveis de umidade, transforma-se em amônia (NH_3).

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. É neste aspecto que, para as condições brasileiras, há motivos suficientes para preocupação (HAHN, 2004).

Sims e Wolf (1994) complementam que além das preocupações com a volatilização da amônia, outro ponto de fundamental importância, com a aplicação excessiva de cama de aviário, é a lixiviação de nitratos a águas subterrâneas.

Ainda segundo Hahn (2004), quando a cama de frango é aplicada no solo em altas concentrações e continuamente, gera acúmulo de nitrato, potássio e micronutrientes no solo, o que pode causar diminuição de rendimento de várias culturas agrícolas.

1.3.2 Pirólise da Biomassa

A Pirólise é um processo físico-químico no qual ocorre a decomposição da biomassa pela ação do calor em um ambiente com pouquíssimo ou nenhum oxigênio (SANTOS, 2011). Beenackers e Bridgwater (1989) abordam que o resultado desse processo é a formação de um resíduo sólido rico em carbono (carvão) e uma fração volátil composta de gases e vapores orgânicos condensáveis (licor pirolenhoso). Ainda segundo Pinheiro, Sampaio e Bastos Filho (2001), alguns autores também chamam a pirólise de processo de complexas reações químicas acompanhadas de processos de transferência de calor e massa de carbonização, cuja parte do resultado é a carbonização.

A pirólise da biomassa pode ser realizada em diferentes condições de temperatura e tempo de residência, variáveis que afetam diretamente o tipo de carvão produzido e a proporção das fases sólida, líquida e gasosa (NOGUEIRA; LORA, 2003).

A composição heterogênea das frações produzidas e as possíveis interações entre si tornam ainda mais complexo o processo. Essas reações 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. (ANTAL JR. et al., 1991). Então, materiais com alto teor de lignina são mais apropriados para a obtenção de alta concentração de carbono.

O termo biomassa pode ser definido, de um modo geral, conforme abordam Nogueira e Lora (2003), como sendo a matéria vegetal gerada através da fotossíntese e a matéria orgânica, tais como: resíduos florestais e agrícolas, resíduos animais e a matéria orgânica contida nos resíduos industriais, domésticos e comerciais. A cama de frango é uma biomassa contendo, principalmente matéria vegetal (serragem de madeira) e matéria orgânica (dejetos e demais materiais vindos das aves).

Ainda como aborda Cunha, Mamed e Feitoza (2013), a pirólise da cama de frango para obtenção de biochar também representa o benefício da reciclagem desse resíduo na agricultura, além do sequestro de carbono (C).

O estabelecimento da relação entre possíveis incrementos de C, conforme Andrade et al. (2015), em solos com tratamento à base de biochar, geram benefícios fundamentais à qualidade do solo.

O biochar da cama de frango pode possuir uma boa indicação, pois segundo Chan e Xu (2009) e Chan et al. (2008), os biocarvões provenientes de dejetos ou compostos apresentam teores mais elevados de micro e macronutrientes, tais como o fósforo, nitrogênio e cálcio, o que, segundo Bibar (2014) pode apresentar maiores benefícios agrônômicos.

1.3.3 Biochar

A origem do biochar está fundamentada em acontecimentos muito antigos. Segundo Madari, Maia e Novotny (2011), os estudos acerca do biochar são bastante novos se comparados à idade do material que inspirou seu surgimento. A proposta de sua aplicação no solo foi motivada pela observação e estudo da Terra Preta de Índio (TPI), solo encontrado na Amazônia que, 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.

O biochar, quando usado como um condicionante do solo, pode aumentar sua fertilidade e melhorar sua qualidade elevando o pH, também, pode aumentar a retenção de umidade e melhorar a capacidade de troca catiônica, ajudando o solo a manter os nutrientes (SOLDERA, 2016).

Soldera (2016) complementa que, na produção de biochar, existem três principais processos de degradação térmica, a temperatura de pirólise, o tempo de residência do material no forno e a taxa de aquecimento, também conhecida como rampa de aquecimento.

Os biocarvões apresentam variação na capacidade de troca catiônica (CTC) em função, principalmente, da biomassa utilizada como matéria-prima (SINGH, SINGH, COWIE, 2010) e da temperatura utilizada na pirólise (SONG; GUO, 2012).

Andrade et al. (2015) apontam que os resultados de mineralização de carbono nos materiais avaliados suportam, a afirmação de Lehmann et al. (2003), que abordam que os produtos pirolisados são mais eficazes para sequestro de carbono e, em função disso, auxiliam na diminuição do efeito estufa.

Estudos de Cheng et al. (2006) mostraram que o envelhecimento do biochar no solo e a ocorrência de reações de oxidação abiótica em sua superfície tendem a incrementar a CTC com o tempo, principalmente pela formação de grupos carboxílicos.

1.3.3.1 Produção do Biochar

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).

Bibar (2014) aponta em seu trabalho que Demirbas (2004) dividiu os mecanismos de reação da pirólise lenta de biomassas, que dão origem ao biochar, em três 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. Na terceira etapa, esse material decompõe-se a uma velocidade bastante baixa, dando origem a um material rico em carbono (biochar).

Sohi et al. (2010) abordam que o biochar compreende a biomassa derivada do carvão destinada especificamente para aplicação ao solo, isto é, de acordo com a sua finalidade.

1.3.3.2 Aplicação do Biochar no Solo

O uso do biochar como um aditivo no solo tem sido proposto como um meio para atenuar as alterações climáticas antropogênicas e, simultaneamente, melhorar a fertilidade do solo (WOOLF, 2008). Glaser (2007) também destaca que tem sido verificadas evidências benéficas em solos de TPI que possuem altas concentrações de biochar.

Segundo estudos de Zwieten et al. (2010) e de Santos (2013), após o processo de pirólise, o biochar pode possuir potencial de neutralização da acidez do solo, aumentando seu pH, em função de apresentar altos teores de carbonato de cálcio e de magnésio, além de outros nutrientes essenciais às plantas, conforme apontam Novak et al. (2009) e Graber et al. (2010), tais como o potássio (K) e o fósforo (P), e micronutrientes como o manganês (Mn), ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn) e molibdênio (Mo).

O aumento nas adições de carbono orgânico melhora a retenção de nutrientes que se tornam acessíveis aos microrganismos na superfície da partícula (LEHMANN et al., 2011).

O aumento do pH no solo pela adição dos biocarvões, 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).

Steiner et al. (2007) concluíram que com a adição de biochar no solo, observa-se um aumento no estoque de carbono pela redução de suas emissões, o mesmo, segundo Graber et al.

(2010), pode ser observado nos teores de matéria orgânica do solo e na produtividade. Sohi et al. (2010) e Spokas (2012) apontam o mesmo efeito na retenção de nutrientes, diminuição das emissões de óxido nítrico (N_2O) e gás metano (CH_4) e adsorção de metais pesados no solo.

Também foi observado aumento do pH e da capacidade de retenção de água (ANDERSON et al., 2011). O aumento no pH indica que o biochar possui efeitos agronômicos na neutralização do solo, em solos ácidos (CHAN et al., 2008; MAJOR et al., 2010).

1.3.3.3 Capacidade de Troca Catiônica

Jones et al. (2012) realizaram experimento de campo em cambissolo arenoso de textura argilosa, cultivado com milho por três anos com adição de biochar de lascas de troncos e ramos de árvores, nas doses 0, 25 e 50 toneladas por hectare de biochar. Passados os três anos, os autores concluíram que a alcalinidade associada ao biochar foi totalmente neutralizada e o biochar perdeu a maior parte de seus cátions (K, Na, Ca).

De acordo com Glaser et al. (2001), a maior disponibilidade e retenção de nutrientes foi encontrada após a adição de biochar no solo, relacionadas à maior capacidade de troca catiônica, área superficial, e adição de nutrientes diretos. Santos (2013) verificou em sua pesquisa que, temperaturas mais elevadas na sua formação, melhoram as propriedades da superfície do carvão.

Muitos estudos tem comprovado que 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).

Segundo Biederman e Harpole (2013), os benefícios associados à aplicação do biochar no solo, estão ligados ao aumento da capacidade de troca catiônica, alcalinização do solo, retenção de água, adsorção de nutrientes, entre outros efeitos diretos ou indiretos que o biochar pode gerar.

A alta capacidade de troca catiônica dos biocarvões também é diretamente relacionada à área superficial específica, 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).

A presença de cátions que são bases trocáveis, como cálcio, magnésio e potássio contidos nas biomassas de origem do biochar, contribuem ainda mais para o aumento da capacidade de troca catiônica.

Singh et al. (2010) apontam que os valores mais altos de capacidade de troca catiônica foram 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). E segundo Song e Guo (2012), um estudo sobre biochar proveniente de cama de frango, mostrou que sua CTC ficou entre 290 e 510 mmolc kg⁻¹ (milimol carga por quilograma), variando conforme a temperatura de pirólise.

É possível observar nos estudos realizados por Singh, Singh e Cowie (2010) e Song e Guo (2012), que a cama de frango pode ser considerada um produto com qualidade amplamente aceitável para a fabricação do biochar.

A temperatura de pirólise também é um fator que influencia a capacidade de retenção de cátions dos biocarvões. Em alguns estudos, as temperaturas mais baixas de pirólise ($\leq 500^{\circ}$ C) refletiram em valores mais altos de CTC (GASKIN et al., 2007; MUKHERJEE; ZIMMERMAN; HARRIS, 2011; SONG e GUO, 2012; MELO et al., 2013).

1.3.3.4 Capacidade de Retenção de Água

A capacidade de retenção de água (CRA) também é um fator bastante relacionado à melhoria da qualidade do solo e esse atributo pode ser considerado um dos benefícios agrônômicos inerentes ao biochar. Estudos científicos sobre a capacidade de retenção de água dos biocarvões ainda são limitados a condições específicas de alguns solos e com biocarvões de algumas biomassas específicas, geralmente características da própria região de estudo (BIBAR, 2014).

Petter e Madari (2012) e Verheijen et al. (2009) apontam que a composição química bastante heterogênea dos biocarvões é resultado dos rearranjos das ligações químicas, que ocorrem durante o processo de conversão da biomassa em biochar, processo este que resulta em um grande número de grupos funcionais de superfície, tais como: álcoois, ésteres, hidroxilas, carboxilas, entre outros, que podem agir como receptores ou como doadores de elétrons o que, segundo Amonette e Joseph (2009), podem dar origem a áreas na superfície do material com propriedades ácidas ou básicas, hidrofílicas ou hidrofóbicas.

Estudos de Petter e Madari (2012) e de Thies e Rilling (2009) mostram que a CRA dos biocarvões está altamente associada à porosidade e a sua estrutura química rica em grupos polares, contendo oxigênio em sua maior parte, que podem reter água através das chamadas “pontes de hidrogênio”.

1.3.3.5 Sequestro de Carbono e Auxílio na Recuperação de Solo Degradado

O biochar pode atuar como redutor das emissões de CO₂ para a atmosfera. Primeiramente o dióxido de carbono é assimilado pelas plantas através da fotossíntese e aplicando-se o biochar no solo, pode-se considerar sequestro de C. Esse processo, segundo Lehmann (2007) tem o potencial de ser carbono negativo, ou seja, para cada unidade de energia produzida, ou possivelmente menos consumida, gases de efeito estufa seriam removidos da atmosfera.

Maia, Madari e Novotny (2011) complementam que uma proposta bastante interessante é o sequestro de carbono no solo com a utilização de biochar, que pode ser produto ou subproduto de diferentes processos de pirólise.

Para manter e aumentar a produção agrícola de forma sustentável melhorias em tecnologia para fabricação de fertilizantes são essenciais, assim como o uso de resíduos reciclados à base de biomassa, como, por exemplo, o uso de biochar (SOLDERA, 2016).

REFERÊNCIAS

- AMONETTE, J. E.; JOSEPH, S. D. **Characteristics of biochar**: microchemical properties. *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Earthscan, London, p. 33-52, 2009.
- ANDERSON, C. R.; CONDRON, L. M.; CLOUGH, T. J.; FIERS, M.; STEWART, A.; HILL, R. A.; SHERLOCK, R. R. Biochar induced soil microbial community change: Implications for biogeochemical cycling of carbon, nitrogen and phosphorus. *Pedobiologia*, v. 54, n. 5-6, p. 309-320, 2011.
- 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.
- ANTAL JR, M. J.; ALMEIDA, C. P; MOK, W. S.; SINHA, S. **A new technology for manufacturing charcoal from biomass**. *Energy From Biomass & Wastes, XV Conference*, Washington, D. C., 1991.
- 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.
- AVISITE. **Peso médio do frango aumentou mais de 1% ao ano nas duas últimas décadas**. Avisite, 2019. Disponível em: <https://www.avisite.com.br/index.php?page=estatisticaseprecos>. Acesso em: 24 set. 2019.
- BEEFPOINT. **USDA**: consumo doméstico per capita de carnes vermelhas e de aves no varejo. Beefpoint, 2017. Disponível em: <https://www.beefpoint.com.br/usda-confira-relatorio-sobre-o-mercado-de-carne-bovina-dos-eua/>. Acesso em: 29 set. 2019.
- BEENACKERS, A. A. C. M.; BRIDGWATER, A. V. **Gasification and pyrolysis of biomass in Europe**. In: *Pyrolysis and gasification*, Londres: Elsevier Applied Sciences, v. 1, p. 129-155, 1989.
- BIBAR, M. P. S. **Potencial agrícola de biocarvões provenientes de biomassas alternativas**. 2014. 115p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônômico, 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.1207.
- CHAN, K. Y.; XU Z. **Biochar**: nutrient properties and their enhancement. Chapter 5. In: Lehmann J, Joseph S. editors. *Biochar for environmental management science and technology*. Earthscan, London, p. 67-84, 2009.
- CHAN, K. Y.; VAN ZWIETEN, L.; MESZAROS I.; DOWNIE A., JOSEPH S. D. Using poultry litter biochar as soil amendments. *Australian Journal of Soil Research*, v. 46, p. 437-444, 2008. DOI: 10.1071/SR08036.

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.

CUNHA, N. R. V.; MAMED, D. O.; FEITOZA, F. J. R. **Novas transformações da ciência, do meio ambiente e do direito: o comércio de certificados de créditos de carbono.** Hileia: Revista do Direito Ambiental da Amazônia, n. 19, p. 251-270, 2013.

DEMIRBAS, A. Effects of temperature and particle size on biochar yield from pyrolysis of agricultural residues. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 72, n. 2, p. 243-248, 2004.

DONI, M. C. **Granja de frangos de corte.** Site: Portal Biossistemas Brasil: Biossistemas na avicultura. 2018. Disponível em: <http://www.usp.br/portalbiossistemas/?p=8148>. Acesso em: 23 ago. 2019.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Estatísticas, desempenho da produção.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas>. Acesso em: 24 set. 2019.

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/red.v0i13.3426.

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

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: 06 jun. 2019.

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.

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.

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.

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, 2009. 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.

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, n. 1-2, p. 481-496, 2010. DOI: 10.1007/s11104-101-0544-6.

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

JONES, D. L.; ROUSK, J.; EDWARDS-JONES, G.; DELUCA, T. H.; MURPHY, D. V. Biochar-mediated changes in soil quality and plant growth in a three year field trial. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 45, p. 113-124, 2012. DOI: 10.1016/j.soilbio.2011.10.012.

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.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for environmental management**. Science and Technology. Earthscan, 2009.

LEHMANN, J.; RILLIG, M. C.; THIES, J.; MASIELLO, C. A.; HOCKADAY, W. C.; CROWLEY, D. Biochar effects on soil biota - A review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 43, n. 9, p. 1812-1836, 2011. DOI: 10.1016/j.soilbio.2011.04.022.

LEHMANN, J.; SILVA JR, J. P. S.; 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, n. 2, p. 343-357, 2003. DOI: 10.1023/A:1022833116184.

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-animal/>. Acesso em 23 ago. 2019.

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.

MAIA, C. M. B. F.; MADARI, B. E.; NOVOTNY, E. H. **Advances in Biochar Research in Brazil**. Global Science Book, p. 53-58, 2011.

MAJOR, J.; RONDON, M.; MOLINA, D.; RIHA, S. J.; LEHMANN, J. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. **Plant and soil**, v. 333, n. 1-2, p. 117-128, 2010. DOI: 10.1007/s11104-010-0327-0.

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: 07 mai. 2019.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instrução Normativa nº 10 de 19-03-2010 - MAPA**. Disponível em:

- <https://www.defesa.agricultura.sp.gov.br/legislacoes/instrucao-normativa-mapa-10-de-19-03-2010,881.html>. Acesso em: 07 mai. 2019.
- MELO, L. C. A.; COSCIONE, A. R.; ABREU, C. A.; PUGA, A. P.; CAMARGO, O. C. 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.
- MENDES. C. **Produção brasileira de carne de frango**. Avicultura Industrial, 2019. Disponível em: <https://www.aviculturaindustrial.com.br/imprensa/producao-de-frangos-deve-crescer-25-em-2020-diz-usda/20190821-083535-o022>. Acesso em: 24 set. 2019.
- 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.
- NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E.; **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. 4. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.
- 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.
- 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. 108p. 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.
- 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.
- 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.
- 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 jan. 2019.
- RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. 1. Ed. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011.
- RESENDE FILHO, M. A.; BRESSAN, V. G. F.; BRAGA, M. J.; BRESSAN, A. A. Sistemas de equações de demanda por carnes no Brasil: especificação e estimação. **RESR**, Piracicaba-SP, v. 50, n. 1, p. 33-50, 2012.

SANTOS, J. L. S. **Biocarvão como condicionador da fertilidade e da microbiota de solo de cerrado cultivado com soja**. 2013. 102f. 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. 235f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, 2011.

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. 1-8, 2002. DOI: 10.1029/2002GB001939.

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.

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.

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.

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.

SOLDERA, G. M. C. **Degradação do carbono e efeitos da aplicação de biocarvão de resíduos de aviário em latossolo**. 2016. 50p. 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.

SPOKAS, K. A. Impact of biochar field aging on laboratory greenhouse gas production potentials. **GCB Bioenergy**, v. 5, n. 2, p. 165-176, 2012. DOI: 10.1111/gcbb.12005.

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.

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, n. 1-2, p. 275-290, 2007. DOI: 10.1007/s11104-007-9193-9.

TEIXEIRA, M. G. **Aplicação de conceitos da ecologia para a produção de materiais ecológicos: o exemplo do resíduo de madeira**. 2005. 132f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gerenciamento de Tecnologias Ambientais do Processo Produtivo) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005.

TESSARO, A. A. **Potencial Energético da Cama de Aviário Produzida na Região Sudoeste do Paraná Utilizada como Substrato para a Produção de Biogás**. 2011. 79f. 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.; RILLING, M. C. **Characteristics of biochar: biological properties**. Chapter 6. In: Lehmann, J, Joseph, S. editors. *Biochar for environmental management: science and technology*. Earthscan, London, p. 85-105, 2009.

VAN ZWIETEN, L.; KIMBER, S.; MORRIS, S.; CHAN, K. Y.; DOWNIE, A.; RUST, J.; JOSEPH, S.; COWIE, A. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and soil*, v. 327, n. 1-2, p. 235-246, 2010. DOI: 10.1007/s11104-009-0050-x.

VERHEIJEN, F. G. A.; JEFFERY, S.; BASTOS, A. C.; VELDE, M. van der.; DIAFAS, I. **Biochar application to soils: A critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions**. JCR Scientific and Technical Reports. European Communities, Luxembourg, 149p. 2009.

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

WALENDORFF, R. **SP: fiscalização encontra bovinos alimentados com cama de frango**. Site: Canal Rural. 2019. Disponível em: <https://canalrural.uol.com.br/noticias/pecuaria/boi/sp-fiscalizacao-encontra-bovinos-alimentados-com-cama-de-frango/>. Acesso em: 26 set. 2019.

WIECHETECK, M. **Aproveitamento de resíduos e subprodutos florestais, alternativas tecnológicas e propostas de políticas ao uso de resíduos florestais para fins energéticos**. Sumário Executivo – Revisão 00. Projeto PNUD BRA 00/20 – Apoio às Políticas Públicas na Área de Gestão e Controle Ambiental, 2009. Disponível em https://www.mma.gov.br/estruturas/164/_publicacao/164_publicacao10012011033501.pdf. Acesso em: 07 ago. 2019.

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 jul. 2019.

CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA DE CAMA DE FRANGO PARA FABRICAÇÃO DE BIOCHAR

2.1 INTRODUÇÃO

O Brasil desponta como o segundo produtor mundial de frango de corte, com produção de 12,9 milhões de toneladas, em 2018, ficando apenas atrás dos Estados Unidos (18,7 milhões de toneladas). Em exportação, o Brasil é líder no segmento de carne de frango (4,1 milhões de toneladas em 2018) (EMBRAPA, 2019). Na região de Sorocaba-SP, cidades como Cesário Lange, Quadra, Pereiras, Porangaba e Tietê, entre outras, possuem como atividade contribuinte à economia local, a avicultura, pela criação de aves de corte (frango de corte) em galpões (granjas), predominantemente de pequenos produtores, com capacidade de até 20.000 aves, gerando de 32 a 36 toneladas de cama de frango a cada dois lotes de criação de frangos.

Na produção de frango de corte é necessária uma forragem denominada cama de frango. A cama de frango é composta por material absorvente (SCHNITZER; MONREAL, JANDL, 2008), sendo os mais comuns, a serragem de *Pinus* spp. (pinus) ou de eucalipto ou ainda a palha de arroz. Esse material tem a função de absorver os excrementos e penas das aves, além da ração e água desperdiçadas pelas aves durante a alimentação.

Após a criação de um lote são gerados cerca de 0,9 a 1,0 kg de cama por ave e cerca de 1,6 a 1,8 kg por ave quando há a criação de dois lotes na mesma cama (ORTOLANI; BRITO, 2001).

O ciclo de troca da cama de frango compreende desde a chegada dos pintinhos até a saída do frango no ponto de abate. Este período dura cerca de 45 a 55 dias. Mas é comum aos produtores aproveitarem a mesma cama de frango para criar dois lotes de frango, ou mais. Nesse caso, a cama passa por alguns processos:

a) Trituração - onde com o auxílio de uma máquina agrícola (trator) ou de uma máquina elétrica, são trituradas as placas formadas pela umidade ao longo da criação das aves, pois mesmo com o revolvimento frequente durante o manejo, ainda ficam placas na cama de frango;

b) Enleiramento - onde a cama de frango, após a trituração, é amontoada em forma de linha no sentido longitudinal do galpão, geralmente uma ou duas leiras;

c) Fermentação - este processo ocorre após o enleiramento de forma natural, onde a temperatura aumenta em função da umidade do material. Em alguns casos o processo é intensificado pela cobertura da leira com uso de lona.

Esses processos duram de 7 a 10 dias e são necessários para diminuir a umidade da cama de frango. A umidade máxima da cama durante o ciclo de criação deve ser mantida entre 20 e 35% (AVILA; MAZZUCO; FIGUEIREDO, 1992). Acima desse ponto, a umidade pode interferir no ganho de massa das aves e aumentar a probabilidade de contrair doenças. Estudos mais recentes mostram que essa faixa de umidade deve estar entre 20 e 25% (VIRTUOSO et al., 2015).

A cama de frango, após a utilização nas granjas, deve ter sua destinação de forma correta e segura. Geralmente, ela é vendida para agricultores para ser utilizada como complemento na adubação. Nesse caso, após o processo de manejo das leiras, a cama de frango é ensacada, em sacas de 30 a 45 kg.

O valor de venda da cama de frango pode ser considerado baixo e nem sempre cobre o custo da preparação. No entanto, chega a certo ponto onde a troca da cama de frango é indispensável. Neste caso, o material é descartado no solo. Tanto o descarte no solo, quanto o uso exagerado como adubo pode acarretar em problemas ambientais tais como risco de contaminação de solo e da água (HODGKINSON et al., 2002).

Outro ponto bastante preocupante é que mesmo com a proibição do uso da cama de frango na alimentação animal em 2009, ainda há a utilização pelos agricultores-produtores como ração para gado, o que pode ocasionar doenças nos animais ruminantes e indiretamente problemas às pessoas que consumam o leite ou a carne desses animais (ORTOLANI; BRITO, 2001).

A fim de minimizar esses impactos, é necessário um estudo para análise de possíveis destinos mais eficazes e sustentáveis à cama de frango. Assim, o objetivo deste trabalho foi caracterizar a biomassa da cama de frango para fins de produção de biochar.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Material

Os materiais utilizados neste estudo foram a serragem de pinus, cama de frango com criação de um lote de frangos e a cama de frango com dois lotes de frangos.

As amostras de acama de frango e da serragem de pinus foram coletadas em granjas localizadas no município de Quadra-SP. Foram coletados 10 kg de serragem de pinus e 20 kg de amostras de cada uma das camas de frango (de um e dois lotes). As amostras de camas de frango foram coletadas após os procedimentos de trituração e de enleiramento.

2.2.2 Preparação das Amostras

As amostras foram levadas ao laboratório e trituradas com o auxílio de um moinho de rotor vertical com facas móveis e fixas do tipo Willey da MARCONI, modelo MA340 (Figura 3) com a utilização da peneira de 10 mesh. Exceto para a análise de umidade, as demais análises foram realizadas após este processo de preparação.

Figura 3. Moinho de rotor vertical.



Fonte: Próprio autor (2019).

2.2.3 Umidade

Para a determinação da umidade do material foram coletados entre 05 a 10 kg de amostras de forma aleatória. As amostras foram pesadas antes da moagem e levadas à uma estufa com ventilação de ar forçada da MARCONI, modelo MA035 (Figura 4), a 102 °C até atingir massa constante. A umidade em base seca foi determinada conforme a Equação 1:

$$h = \frac{(m - m_s)}{m_s} * 100 \quad (1)$$

Onde:

h = umidade (%)

m = massa inicial (g)

ms = massa final seca (g)

Figura 4. Estufa.



Fonte: Próprio autor (2019).

2.2.4 Análise Imediata

Foram realizadas as análises imediatas (teor de voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo) em todas as amostras do material, conforme a norma ASTM D1762-84 (2013). As análises foram realizadas com as amostras secas.

Os cadinhos e tampas foram calcinados no forno mufla da JUNG, modelo LF00212 (Figura 5), a 600 °C por 15 minutos.

Todas as análises foram feitas em triplicatas.

Figura 5. Forno mufla.



Fonte: Próprio autor (2019).

2.2.4.1 Teor de Voláteis

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 em um dessecador por 1 h e então foram pesados.

O teor de voláteis foi determinado conforme a Equação 2:

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

Onde:

tv = teor de voláteis (%)

mi = massa inicial (g)

mf = massa final (g)

2.2.4.2 Teor de Cinzas

Para a determinação do teor de cinzas foi utilizado o mesmo material da determinação do teor de voláteis. Foram inseridos no forno mufla os cadinhos sem tampa, 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 no dessecador 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:

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

Onde:

tc = teor de cinzas (%)

mi = massa inicial (g)

mf = massa final (g)

2.2.4.3 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 (%)

2.2.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) / Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS)

Para a análise de MEV e EDS, foram utilizadas as cinzas das amostras. Foram coletados valores em vários pontos de análise para cada tipo das amostras e os valores em percentual dos

componentes das cinzas foi o resultado da média desses pontos para cada material. O equipamento utilizado para as análises foi da HITACHI, modelo TM3000 (Figura 6).

Figura 6. Microscópio eletrônico de varredura para análises de MEV/EDS.



Fonte: Próprio autor (2019).

2.2.6 Análises Termogravimétricas (TGA)

As amostras foram moídas com o auxílio de um almofariz de porcelana com a finalidade de diminuir ao máximo a granulometria para melhor eficiência da análise em função da heterogeneidade do material. As análises de TGA foram realizadas no equipamento da PERKIN ELMER, modelo Pyris1 (Figura 7), com temperatura inicial ambiente e temperatura final de 800 °C, com atmosfera de ar sintético (10 ml min⁻¹) e com uma taxa de aquecimento de 20 °C min⁻¹.

Figura 7. Equipamento para análises termogravimétricas.



Fonte: Próprio autor (2019).

2.2.7 Análise de Macro e Micronutrientes

A análise de macro e micronutrientes foi realizada com as amostras da cama de frango, com a criação de um e de dois lotes de frango. Foram separados cerca de 500 a 600 g de cada amostra e encaminhados ao Laboratório de Fertilizantes e Corretivos do Departamento de Recursos Ambientais da UNESP, Campus Botucatu, onde foram realizadas análises de macro e micronutrientes com auxílio do espectrofotômetro da FEMTO, modelo 600 PLUS (Figura 8), de acordo com o Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos, Brasília, DF (MAPA, 2014).

Figura 8. Espectrofotômetro utilizado.



Fonte: Femto (2019).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Umidade

A Tabela 1 apresenta a umidade da serragem de pinus e cama de frango após criação de 1 e 2 lotes.

Tabela 1. Umidade dos materiais

Material	Umidade (%)
Serragem de pinus	9,06
Cama de frango (1 lote)	15,25
Cama de frango (2 lotes)	22,11

Fonte: Próprio autor (2019).

A cada lote de frango criado, a umidade foi aumentando devido a umidade dos dejetos das aves e água desperdiçada por elas nos bebedouros. A umidade após o primeiro lote (15,25%) permite o reuso. Já a umidade após o segundo lote (22,11%) é considerada alta para iniciar um novo lote (AVILA; MAZZUCO; FIGUEIREDO, 1992; VIRTUOSO et al., 2015).

Essa umidade é um complicador para utilização da queima da biomassa para energia, no entanto não causa nenhum impedimento para fins de produção de biochar.

2.3.2 Análise Imediata

A Tabela 2 apresenta os resultados das análises imediatas dos materiais.

Tabela 2. Análise imediata dos materiais

Material	Teor de voláteis (%)	Teor de cinzas (%)	Teor de carbono fixo (%)
Serragem de pinus	81,83 (1,84)	1,97 (0,13)	16,19 (1,01)
Cama de frango (1 lote)	70,69 (0,22)	12,76 (0,25)	16,55 (0,23)
Cama de frango (2 lotes)	64,35 (0,12)	16,74 (1,59)	18,91 (0,85)

Fonte: Próprio autor (2019).

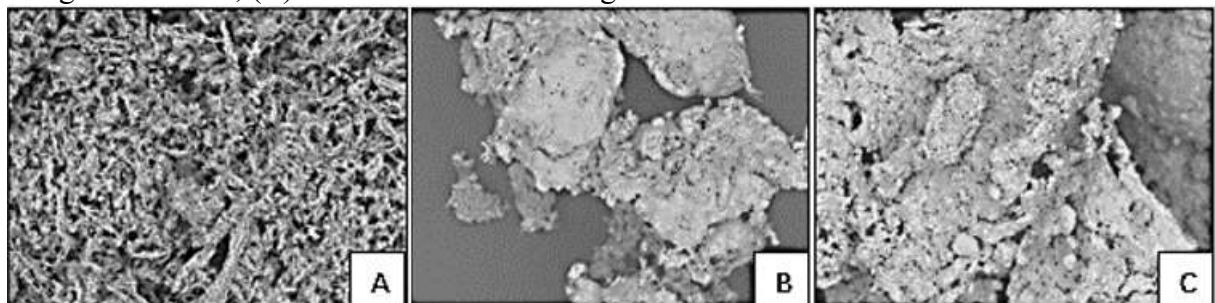
Os valores resultam da média aritmética das triplicatas de cada um dos materiais. Os valores entre parênteses representam o desvio padrão. Os resultados mostraram que os teores de voláteis foram diminuindo conforme foram criados os lotes de frango na cama, indicando que o material foi degradando ao longo do tempo. A diminuição dos voláteis favorece a produção do biochar. O teor de voláteis interfere diretamente na queima da biomassa, pois quanto mais alto o teor de voláteis, maior será a reatividade e a ignição do material (KLAUTAU, 2008).

O teor de cinzas, conforme esperado, foi inversamente proporcional ao teor de voláteis. O teor de carbono fixo apresenta valores maiores que os encontrados por Bizzo et al. (2014) *apud* Jacome (2014), de 10,1%, na palha de cana-de-açúcar que é um resíduo largamente estudado como matéria-prima para biochar. O teor de cinzas da cama de frango de 1 lote (12,76%) e 2 lotes (16,74%) podem ser considerados altos em comparação com a serragem de pinus. O elevado teor de cinzas é um complicador para queima na utilização para fins energéticos (FERREIRA et al., 2016). No entanto, para a produção do biochar o teor de cinzas não tem impedimento.

2.3.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) / Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS)

A análise das cinzas dos materiais pelo MEV está na Figura 9. As três figuras estão com aumento de 180 vezes.

Figura 9. Amostras analisadas: (A) Cinzas da serragem de pinus; (B) Cinzas da cama de frango de um lote; (C) Cinzas da cama de frango de dois lotes.

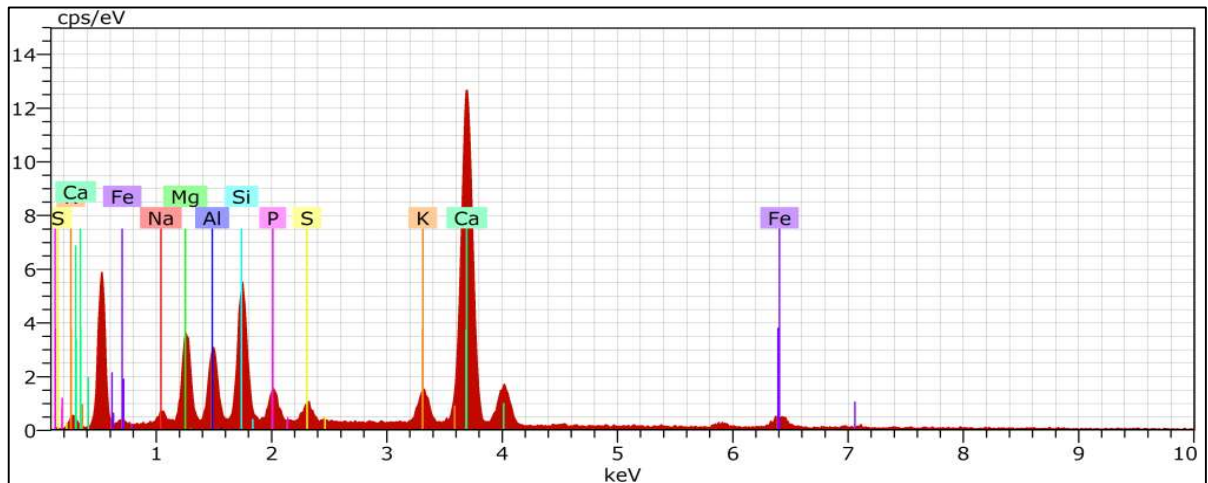


Fonte: Próprio autor (2019).

Nas cinzas da serragem de pinus (A) é possível identificar a estrutura fibrosa do material. Nas cinzas da cama de frango (B) e (C) não é possível identificar a estrutura fibrosa do pinus, indicando que o material já sofreu decomposição.

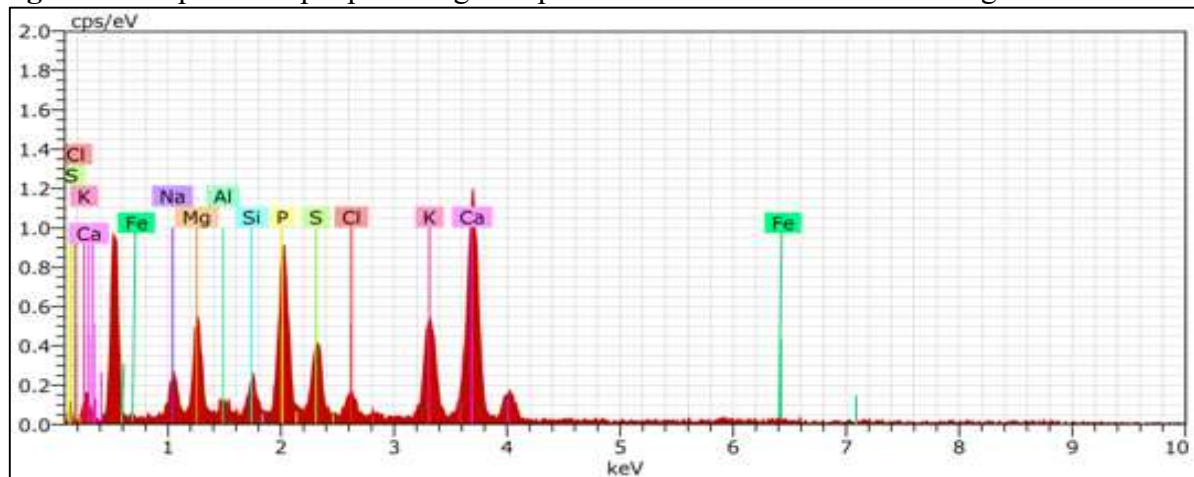
As Figuras 10 a 12, mostram os elementos contidos nas cinzas dos materiais. Nesta análise foram desconsideradas as amplitudes de $0,5 \text{ cps ev}^{-1}$ (contagem por segundo de elétron-volt) para as cinzas da serragem de pinus e de $0,1 \text{ cps ev}^{-1}$ para as cinzas das camas de frango de um e de dois lotes.

Figura 10. Espectroscopia por energia dispersiva das cinzas da serragem de pinus



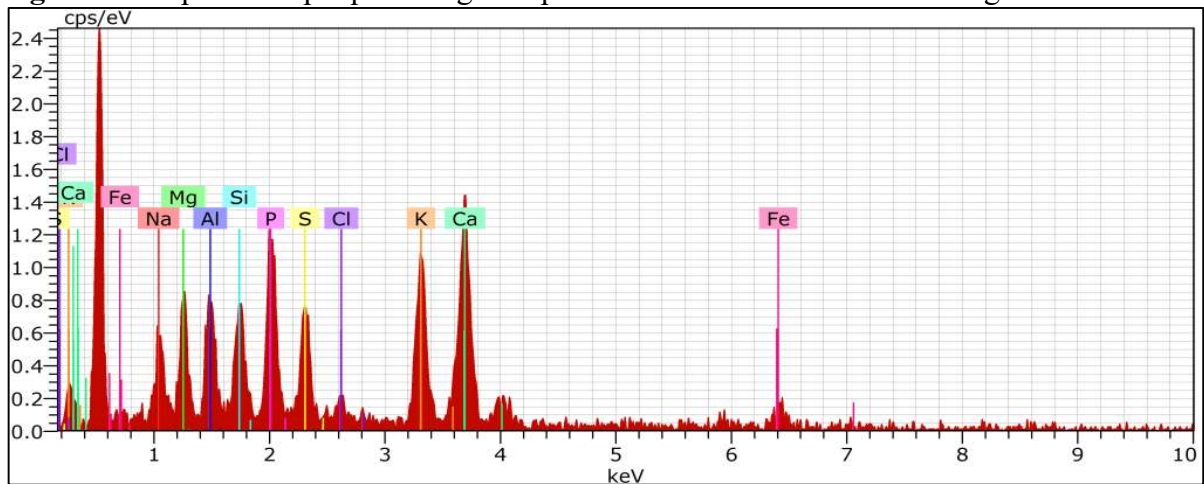
Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 11. Espectroscopia por energia dispersiva das cinzas da cama de frango de um lote.



Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 12. Espectroscopia por energia dispersiva das cinzas da cama de frango de dois lotes.



Fonte: Próprio autor (2019).

Foi possível observar nas Figuras 10 a 12, a presença dos elementos químicos em ambas as amostras, tais como: cálcio, magnésio, silício, fósforo, alumínio, potássio, enxofre, sódio.

Também foi possível notar que o N não está presente nas figuras, possivelmente pela sua concentração não ser expressiva se comparada aos demais elementos, o que corrobora a afirmação de Tan et al. (2014) que os elementos N, H e O são perdidos juntamente com os materiais voláteis.

A Tabela 3 apresenta os elementos contidos nas cinzas dos materiais. Os valores são resultados das médias dos valores obtidos nos vários pontos de análises (5 pontos de análise de cada material). Na Tabela, a coluna norm. C [wt.%], refere-se à concentração normalizada no percentual de massa do elemento.

Tabela 3. EDS das cinzas: (A) serragem de pinus; (B) cama de frango de um lote; (C) cama de frango de dois lotes.

Elemento	(A)	(B)	(C)
	norm. C [wt. %]		
Cálcio	57,12	43,06	37,06
Magnésio	8,38	9,37	7,42
Silício	6,71	7,49	7,56
Fósforo	5,99	12,27	11,34
Alumínio	5,26	0,73	7,31
Ferro	6,13	0,51	2,54
Potássio	4,23	11,08	12,16
Enxofre	3,78	9,04	8,91
Sódio	1,73	3,77	3,99
Cloro	0,67	2,68	1,71
	100,00	100,00	100,00

Fonte: Próprio autor (2019).

O silício presente em ambas as amostras e o ferro na amostra da serragem, são impurezas contidas provavelmente em contato com o solo.

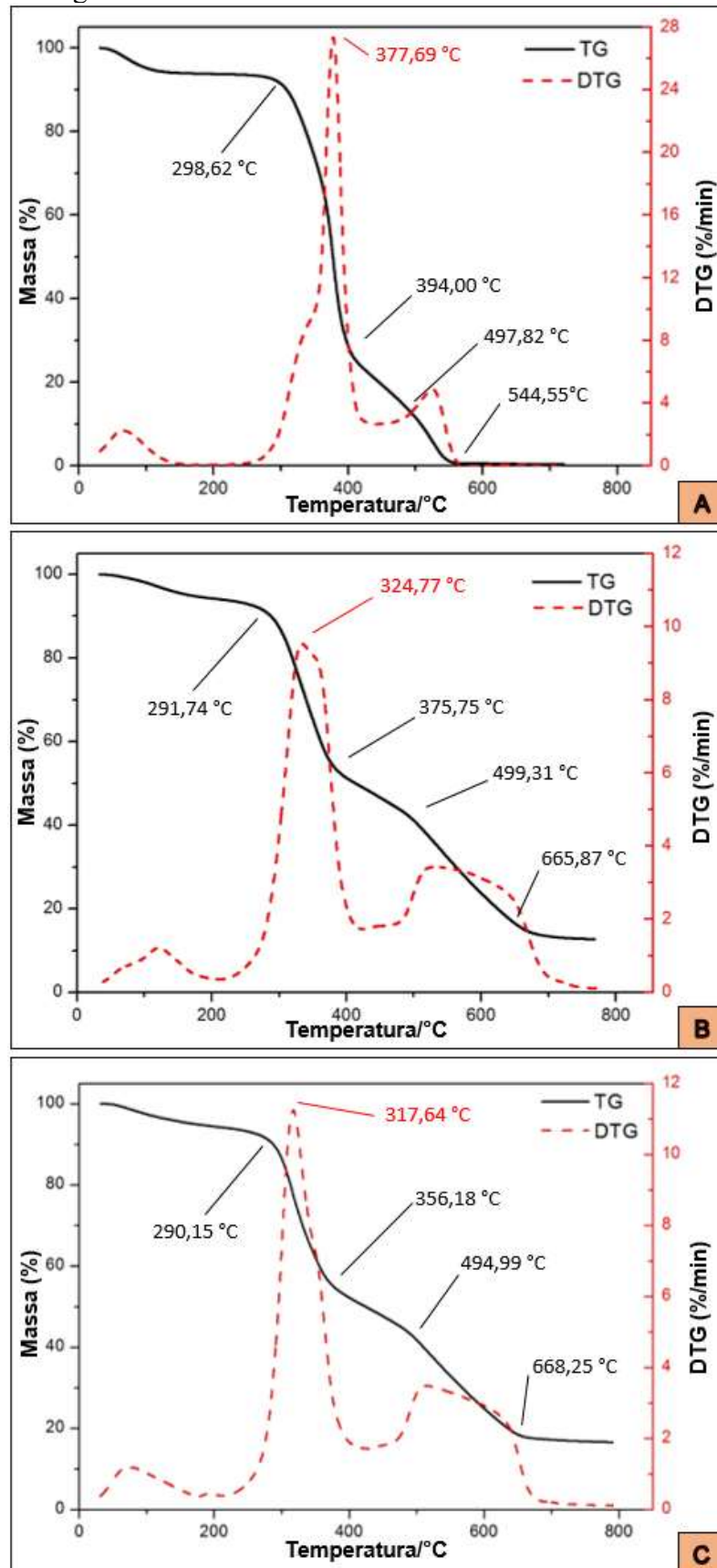
O ferro contido nas amostras das camas de frango de um e dois lotes, provavelmente está relacionado à utilização desse elemento na composição da ração das aves (VIEITES et al., 2015).

Foi possível observar que, nas cinzas de ambas as amostras de cama de frango, houve um aumento nas concentrações de fósforo (aproximadamente 100%) e de potássio (aproximadamente 200%) quando em comparação com a amostra de serragem de pinus, provavelmente relacionados à adição desses nutrientes como suplementos contidos na ração (SOUZA et al., 2004). Esses elementos fazem parte dos macronutrientes (NPK) essenciais para o desenvolvimento das plantas. O aumento da concentração desses minerais nas cinzas da cama de frango indica que o material tem um potencial para o aproveitamento na fabricação do biochar.

2.3.4 Análises Termogravimétricas (TGA)

A análise termogravimétrica (Figura 13) analisa a decomposição térmica dos materiais e análise DTG (curva da derivada da TG), destaca os pontos de maior perda de massa).

Figura 13. Análises termogravimétricas: (A) serragem de pinus; (B) cama de frango de um lote; (C) cama de frango de dois lotes.



Fonte: Próprio autor (2019).

As análises mostraram as temperaturas onde ocorrem as principais perdas de massa dos materiais e as taxas de degradação. Esses pontos estão relacionados à degradação da hemicelulose, da celulose e da lignina (BIANCHI et al., 2011; CHEN; KUO, 2010; RAMIAH, 1970). Na Figura 13A observa-se que a maior taxa de degradação foi em 377,69 °C (faixa de degradação da holocelulose). Entre 394 e 544,55 °C ocorre a decomposição da lignina. Na Figura 13B é possível observar que houve um resíduo de aproximadamente 13% (665,87 °C) e na Figura 13C o resíduo foi de aproximadamente 13% (668,25 °C). O aumento do resíduo do lote 1 para o lote 2 se deve às operações de trituração e enleiramento para a utilização no lote 2, além do maior tempo de exposição dos frangos e maior depósito de resíduos de ração.

Ainda, a Figura 13A mostra que em 400 °C houve uma decomposição de 70% do material (serragem de pinus). Nas Figuras 13 (B e C) observa-se que a decomposição a 400 °C foi de aproximadamente 50%. Isso mostra que o material após utilizado na cama de frango sofreu decomposição. Essa decomposição ocorreu na fração menos estável (açúcares) da holocelulose na faixa de 291,74 a 499,31 °C e 290,15 a 494,99 °C, respectivamente.

Na Tabela 4, são mostrados os valores dos picos de perda de massa analisados na curva da TG, possivelmente associados ao ponto de início da degradação das hemiceluloses, celulose e lignina.

Tabela 4. Picos de perda de massa dos materiais.

Material	Pontos de início de perda de massa		
	Hemiceluloses	Celulose	Lignina
Serragem de pinus	298,62 °C	394,00 °C	497,82 °C
Cama de frango (1 lote)	291,74 °C	375,75 °C	499,31 °C
Cama de frango (2 lotes)	290,15 °C	356,18 °C	494,99 °C

Fonte: Próprio autor (2019).

Em geral, no intervalo de 200 a 350 °C, ocorrem múltiplos estágios de decomposição, como por exemplo, a formação dos componentes voláteis da celulose (BIANCHI et al., 2011).

A decomposição das hemiceluloses ocorre na faixa de temperatura entre 220 a 315 °C, a celulose apresenta perdas de massa com faixas de temperaturas mais altas (315 a 400 °C) (YANG et al., 2006). A decomposição completa da celulose ocorre em temperaturas entre 300 e 500 °C, para o pinus (WHITE; DIETENBERGER, 2001).

A lignina apresenta temperaturas de perda de massa mais elevadas que a celulose e pode ser considerada mais estável termicamente (WHITE; DIETENBERGER, 2001).

2.3.5 Análise de Macro e Micronutrientes

Na Tabela 5, são apresentados os resultados da análise de macro e micronutrientes dos dois tipos de cama de frango: com um e com dois lotes de frangos.

Tabela 5: Análise de macro e micronutrientes e umidade: (A) Cama de frango de um lote; (B) Cama de frango de dois lotes.

Elementos	(A)	(B)	Unid.
	Quant.	Quant.	
N	3,17	2,93	
P ₂ O ₅	2,23	2,18	
K ₂ O	1,73	1,83	
Ca	1,84	1,98	%
Mg	0,58	0,52	
S	0,63	0,68	
Umidade	15	20	
Matéria Orgânica	73	63	
C. O.	47	44	Seca
Na	3282	5633	
Cu	234	390	
Fe	1296	1757	mg kg ⁻¹
Mn	337	352	
Zn	426	355	
Rel. C/N	13/1	12/1	
pH	7,3	8,4	-

Fonte: Próprio autor (2019).

O ponto limitante para utilizar novamente a cama de frango de dois lotes para a criação de mais lotes, é a umidade que já está em 20%, bem próxima da umidade obtida nas análises imediatas (22,11%). Esse valor de umidade é considerado elevado para iniciar um novo ciclo.

O aumento da concentração de sódio (Na) e ferro (Fe) estão possivelmente associados à utilização desses elementos na composição da ração das aves (VIEITES et al., 2015)

As recomendações de adubação (N+P₂O₅+K₂O) variam de acordo com a análise do solo e de acordo com a cultura, mas a soma dos componentes NPK deve ser maior que 21% no caso de fertilizantes minerais. Como os fertilizantes orgânicos em geral possuem baixa concentração

NPK (o que foi comprovado nesta análise de macro e micronutrientes), há a necessidade da aplicação de grandes quantidades. Assim, a alternativa é a mistura com fertilizantes minerais, chamados de fertilizantes organominerais. Neste tipo de fertilizante, a soma de NPK deve ser maior ou igual a 10% (TRANI; TRANI, 2011).

A análise de macro e micronutrientes mostrou que nas camas de frango de um e dois lotes, a soma de NPK ficou em torno de 7%.

Outro fator que contribui para a utilização da cama de frango de dois lotes para a fabricação de biochar é seu pH básico, o que auxilia na redução da acidez do solo. A cama de frango possui elementos como fósforo, cálcio e potássio que são importantes contribuintes à melhoria da qualidade do solo.

2.4 CONCLUSÕES

A cama de frango com criação de dois lotes apresentou alta umidade (22,11%), alto teor de cinzas (16,74%). Essas características são indesejáveis para o processo de queima direta. Porém, não causam nenhum impedimento para produção de biochar.

A partir dos resultados, conclui-se que a cama de frango apresentou potencial para a fabricação de biochar.

REFERÊNCIAS

ASTM D1102-84. **Standard Test Method for Ash in Wood**. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013. Disponível em: <http://www.astm.org/Standards/D1102>. Acesso em: 15 dezembro 2018.

AVILA, V. S.; MAZZUCO, H.; FIGUEIREDO, E. A. P. **Cama de aviário: materiais, reutilização, uso como alimento e fertilizante**. Circular Técnica EMBRAPA, 1992. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/67877/1/CUsersPiazzonDocumentsPron%20CNPSA-DOCUMENTOS-16-CAMA-DE-AVIARIO-MATERIAIS-REUTILIZACAO-USO-COMO-ALIMENTO-E-FERTILIZANTE-FL-12.pdf>. Acesso em: 26 dezembro 2018.

AVISITE. **Peso médio do frango aumentou mais de 1% ao ano nas duas últimas décadas**. Avisite, 2019. Disponível em: <https://www.avisite.com.br/index.php?page=estatisticaseprecos>. Acesso em: 24 set. 2019.

BIANCHI, O.; CASTEL, C. D.; OLIVEIRA, R. V. B.; BERTUOLLI, P. T.; HILLIG, E. Avaliação da degradação não-isotérmica de madeira através de termogravimetria-TGA. **Polímeros**, 2011.

BIZZO, W. A.; LENÇO, P. C.; CARVALHO, D. J.; VEIGA, J. P. The generation of residual biomass during the production of bio-ethanol from sugarcane, its characterization and its use in energy production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 29, p. 589-603, 2014.

CHEN, W. H.; KUO, P. C. A study on torrefaction of various biomass materials and its impact on lignocellulosic structure simulated by a thermogravimetry. **Energy**, v. 35, n. 6, p. 2580-2586, 2010. DOI: 10.1016/j.energy.2010.02.054.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – **Estatísticas, desempenho da produção**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas>. Acesso em: 24 set. 2019.

FEMTO. **Espectrofotômetro 600 Plus**. Site: Femto Indústria e Comércio de Instrumentos. 2019. Disponível em: <http://www.femto.com.br/espectrofotometro-600-plus.html>. Acesso em: 20 out. 2019.

FERREIRA, A. B.; FOLETTO, E. L.; JAHN, S. L.; COLLAZZO, G. C. **Produção de Biochar a partir de pirólise de biomassas e sua aplicação como adsorvente**. 22º CBECiMat, Natal, RN, Brasil, 2016. Disponível em: <http://www.metallum.com.br/22cbecimat/anais/PDF/408-011.pdf>. Acesso em: 30 set. 2019.

HODGKINSON, R. A.; CHAMBERSA, A. B. J.; WITHERSB, P. J. A.; CROSSC, R. Phosphorus losses to surface waters following organic manure applications to a drained clay soil. **Agricultural Water Management**, v. 57, n. 2, p. 15 2002. DOI: 10.1016/S0378-3774(02)00057-4.

JACOME, D. L. F. **Caracterização física química das cinzas de palha de cana-de-açúcar através de análises térmicas simultâneas (STA)**. 2014. 193f. Dissertação (Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2014.

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

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos**. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/assuntos/laboratorios/arquivos-publicacoes-laboratorio/manual_in-5_analiticos-oficiais-para-fertilizantes-e-corretivos_com_capa_final_03.pdf. Acesso em: 8 janeiro 2019.

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**, v. 22, p. 41-48, 2001.

RAMIAH, M. V. Thermogravimetric and differential thermal analysis of cellulose, hemicellulose, and lignin. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 14, n. 5, p. 1323-1337, 1970. DOI: 10.1002/app.1970.070140518.

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.

SOUZA, B. B.; BERTECHINI, A. G.; SANTOS, C. D.; LIMA, J. A. F.; TEIXEIRA, A. S.; FREITAS, R. T. F. Balanço de potássio e desempenho de frangos de corte suplementados com KCl no verão. **Ciências Agrotécnicas, Lavras**, v. 28, n. 5, p. 1160-1168, 2004.

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**. Oxford, v. 164, p. 47-54, 2014. DOI: 10.1016/j.biortech.2014.04.048.

TRANI, P. E.; TRANI, A. L. **Fertilizantes: Cálculo de fórmulas comerciais**. Instituto Agrônômico (IAC): Campinas, 2011. Disponível em: http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes_online/pdf/boletimtecnicoIAC-208.pdf. Acesso em 9 janeiro 2019.

VIEITES, F. M.; ARAUJO, G. M.; VALE, P. A. C. B. do; SOUZA, C. S.; NEVOA, M. L.; VARGAS JUNIOR, 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.

VIRTUOSO, M. C. S.; OLIVEIRA, D. G.; DIAS, L. N. S.; FAGUDES, P. S. F.; LEITE, P. R. S. C. Reutilização da cama de frango. **Revista Eletrônica Nutrime**, v. 12, n. 2, p. 3964-3979, 2015.

WHITE, R. H., DIETENBERGER; M. A. **Wood products:** thermal degradation and fire. in: Encyclopedia of materials: science and technology. Elsevier Science, Amsterdam, p. 9712-9716, 2001.

YANG, H.; YAN, R.; CHEN, H.; LEE, D. H.; LIANG, D.T.; ZHENG, C. Mechanism of palm oil wastes pyrolysis in a packed bed. **Energy Fuel**, v. 20, n. 3, p. 1321-1328, 2006. DOI: 10.1021/ef0600311.

CAPÍTULO 3 – CARACTERIZAÇÃO DO BIOCHAR DE RESÍDUOS DE CAMA DE FRANGO

3.1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a geração de bioprodutos a partir de biomassa é um caminho para auxiliar na minimização dos efeitos das mudanças climáticas. (SONG; GUO, 2012).

A produção do biochar pode ser um importante meio alternativo para possíveis contribuições à minimização dos impactos causados pela geração de resíduos da biomassa.

Biochar 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).

A pirólise da biomassa é um processo de degradação térmica com muito pouco ou nenhum oxigênio (SANTOS, 2011).

A cama de frango é uma biomassa gerada no processo de criação de frango de corte. É um resíduo sólido contendo material absorvente, geralmente serragem, excretas e penas das aves, além de rações e água desperdiçados durante a alimentação (SONG; GUO, 2012; RAIJ, 2011; VIEIRA, 2011).

Vale ressaltar que, ainda há pouco estudo acerca do biochar a partir da biomassa de cama de frango. Devido à alta geração da cama de frango e seus impactos ambientais, a sua utilização como matéria-prima para fabricação de biochar, é um destino fortemente plausível. Além de possuir características que tornam a biomassa de cama de frango com potencial para fabricação de biochar. (PEREIRA et al., 2019).

Considerando os impactos ambientais do resíduo de cama de frango e as propriedades benéficas do biochar, o objetivo deste trabalho foi fabricar e caracterizar o biochar a partir da biomassa de cama de frango.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Material

O material utilizado neste estudo foi a cama de frango com criação de dois lotes de frangos (ciclo de 90 a 110 dias), em função da alta umidade, o que inviabiliza a sua utilização para mais 1 lote.

3.2.2 COLETA DAS AMOSTRAS

As amostras foram coletadas em uma granja localizada no município de Quadra-SP. O ponto de coleta foi após a criação de dois lotes de frangos depois de realizados os procedimentos de trituração e de enleiramento.

3.2.3 Preparação das Amostras

As amostras foram levadas ao laboratório e trituradas com o auxílio de um moinho de rotor vertical com facas móveis e fixas do tipo Willey da MARCONI, modelo MA340 (Figura 3) com a utilização da peneira de 10 mesh.

3.2.4 Produção do Biochar

Após a preparação das amostras, foram realizadas análises termogravimétricas (TGA) com o auxílio do equipamento da PERKIN ELMER, modelo Pyris1 (Figura 8). Foram realizadas três análises com temperaturas finais diferentes (300, 450 e 750 °C), todas com temperatura inicial de 30 °C em atmosfera de nitrogênio (20 ml min⁻¹) e taxa de aquecimento de 20 °C min⁻¹ e tempo de residência (*hold*) de 60 min. O objetivo dessas análises (TGA) foram auxiliar na escolha da temperatura final para a realização dos tratamentos do biochar.

Definida a melhor temperatura, foram realizados 5 tratamentos para a produção do biochar com temperatura de 450°C, com os seguintes tempos de residência: 0,5, 1, 2, 4 e 6 horas.

Para a pirólise, os cadinhos foram completos totalmente com o resíduo de cama de frango ($\pm 12g$), com a finalidade de eliminar, ao máximo, a presença de oxigênio. Após, foram

tampados e os tratamentos foram realizados com o auxílio de um forno mufla da JUNG, modelo LF00212 (Figura 5) com a taxa de aquecimento em torno de $20\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$.

Todos os tratamentos e análises foram feitos em triplicatas.

3.2.5 Umidade

A determinação da umidade dos tratamentos do biochar foram realizados com o auxílio de uma balança determinadora de umidade da MARCONI, modelo ID200 (Figura 14). Os resultados são mostrados no display do equipamento.

Figura 14. Balança determinadora de umidade.



Fonte: Próprio autor (2019).

3.2.6 Rendimento Gravimétrico

A determinação do rendimento gravimétrico dos tratamentos do biochar foram obtidos a partir da Equação 5:

$$rg = \frac{mf}{mi} * 100 \quad (5)$$

Onde:

rg = rendimento gravimétrico (%)

mi = massa inicial de cama de frango (g)

mf = massa final de biochar (g)

3.2.7 Análise Imediata

Foram realizadas as análises imediatas (teor de voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo) em todos os tratamentos do biochar, conforme a norma ASTM D1762-84 (2013). As análises foram realizadas com as amostras secas.

Os cadinhos e tampas foram calcinados no forno mufla a 600 °C por 15 minutos.

3.2.7.1 Teor de Voláteis

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 em um dessecador por 1 h e então foram pesados.

O teor de voláteis foi determinado conforme a Equação 6:

$$tv = \frac{(mi - mf)}{mi} * 100 \quad (6)$$

Onde:

tv = teor de voláteis (%)

mi = massa inicial (g)

mf = massa final (g)

3.2.7.2 Teor de Cinzas

Para a determinação do teor de cinzas foi utilizado o mesmo material da determinação do teor de voláteis. Foram inseridos no forno mufla os cadinhos sem tampa, 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 no dessecador 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 7:

$$tc = \frac{mf}{mi} * 100 \quad (7)$$

Onde:

tc = teor de cinzas (%)

mi = massa inicial (g)

mf = massa final (g)

3.2.7.3 Teor de Carbono Fixo

Para a determinação do teor de carbono fixo foi utilizada a Equação 8:

$$tcf = 100 - (tc + tv) \quad (8)$$

Onde:

tcf = teor de carbono fixo (%)

tc = teor de cinzas (%)

tv = teor de voláteis (%)

3.2.8 Poder Calorífico Superior

A análise do poder calorífico superior (PCS) dos biochar foram realizados para com o auxílio de uma bomba calorimétrica da IKA, modelo C200 (Figura 15A). As amostras secas foram pesadas, cerca de 500 a 600 mg com o auxílio de uma balança de precisão da SHIMADZU, modelo AUY220 (Figura 15B). Logo a pós a amostra foi preparada no vaso de pressão da bomba calorimétrica, onde o mesmo foi fechado e preenchido com ar comprimido a pressão de aproximadamente 30 bar.

A bomba calorimétrica foi ligada e seu reservatório foi enchido com aproximadamente 2 litros de água em torno de 20 °C.

Após essa etapa, o vaso de pressão foi inserido na bomba calorimétrica e foi fechada a tampa do equipamento. Em seguida foi iniciado o processo de análise. Os resultados são mostrados no display do equipamento.

Figura 15. (A) Bomba calorimétrica; (B) Balança de precisão.



Fonte: Próprio autor (2019).

3.2.9 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) / Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS)

Para as análises de MEV e EDS, foram utilizadas as amostras dos tratamentos de biochar. Foram coletados valores em vários pontos de análise para cada tipo das amostras e os valores em percentual dos componentes das amostras foi o resultado da média desses pontos para cada material. O equipamento utilizado para as análises foi da HITACHI, modelo TM3000 (Figura 6).

3.2.10 Análise Estatística

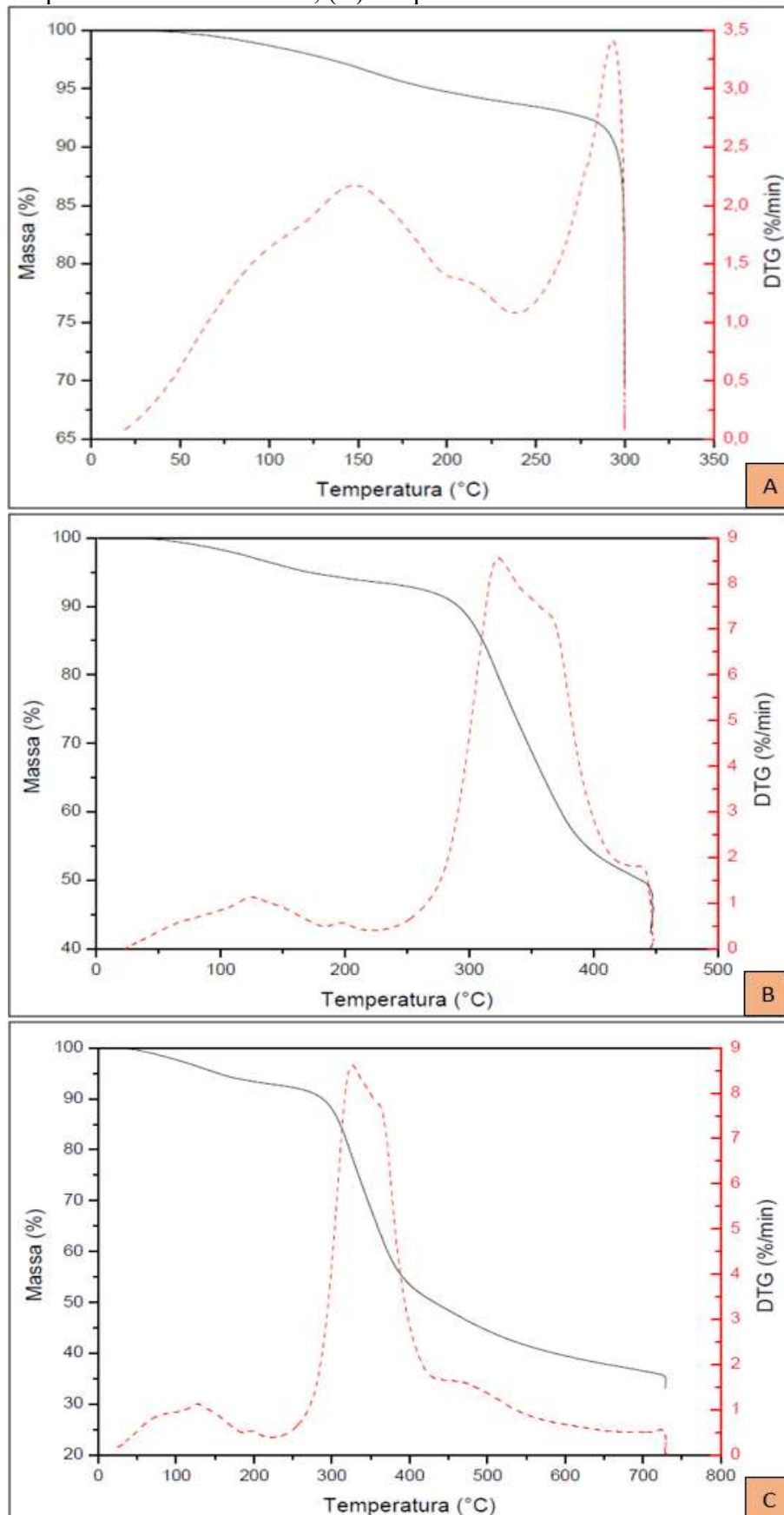
Foram realizadas análises de variância (ANOVA) e teste de Tukey (para a comparação das médias) para todas as análises.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Tratamentos do biochar

As análises termogravimétricas com as temperaturas finais de 300, 450 e 750 °C, estão dispostas na Figura 16.

Figura 16. Análises termogravimétricas da pirólise da cama de frango: (A) temperatura final de 300 °C; (B) temperatura final de 450 °C; (C) temperatura final de 750 °C.



Fonte: Próprio autor (2019).

A Figura 16 mostrou que o pico de degradação ocorreu em torno de 320 °C em ambas as amostras nas figuras 16B (450 °C) e 17C (750 °C). A figura 16A mostra possivelmente o mesmo pico de degradação, porém como foi até 300 °C não foi possível verificar. Então a pirólise a 300 °C pode ser considerada não ideal para o biochar de cama de frango.

A faixa de maior degradação térmica ocorreu em temperatura próxima a 450 °C em ambas as figuras (16B e 16C). A 750 °C a degradação é relativamente pequena após a maior degradação térmica, o que não justifica o gasto de energia. Então possivelmente a melhor temperatura para os tratamentos do biochar é a de 450 °C.

Alguns estudos também corroboram a temperatura de 450 °C como sendo a ideal para a pirólise de biomassa. Além de ser a temperatura de pirólise do carvão energético (carvão vegetal), segundo Fernandes et al. (2013), o biochar é um produto não totalmente carbonizado, porque a sua produção pela pirólise é, frequentemente, realizada a temperaturas mais baixas (<500 °C).

Segundo estudos de Song e Guo (2012), a temperatura de pirólise também foi um fator de influência nos estudos de determinação da capacidade de retenção de água, pois os autores encontraram maior capacidade de retenção de água no solo após adição do biochar pirolisado a 450 °C.

Estudos de Bridgwater, Czernik e Piskors (2001) com madeira seca mostraram que para a carbonização, as melhores temperaturas ficaram em torno de 400 a 450 °C, conforme mostra a Tabela 6.

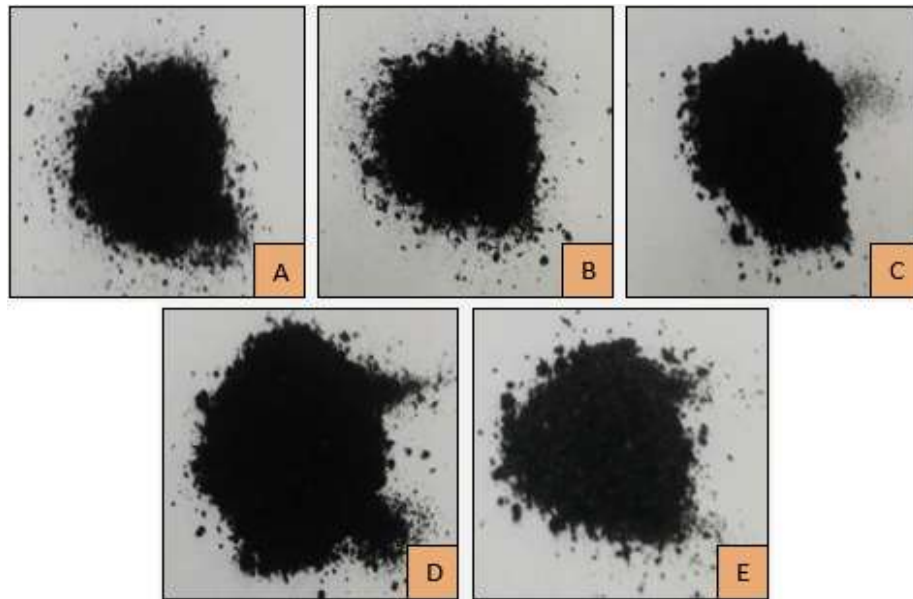
Tabela 6. Produtos dos diferentes tipos de pirólise

Tipo de pirólise	Temperaturas	Líquido	Carvão (sólido)	Gás
Carbonização	Baixas (400-450 °C)	30%	35%	35%
Pirólise rápida	Moderadas (450-500°C)	75%	12%	13%
Gaseificação	Alta (900°C)	5%	10%	85%

Fonte: Adaptada de Bridgwater, Czernik e Piskors (2001).

Tendo isso em vista, a temperatura adotada aos tratamentos do biochar, foi a de 450 °C. A Figura 17 mostra os diferentes tratamentos realizados ao biochar com 450 °C.

Figura 17. Aspectos do biochar de cama de frango de 2 lotes após 5 tempos de residência: (A) 0,5 hora; (B) 1 hora; (C) 2 horas; (D) 4 horas; (E) 6 horas.



Fonte: Próprio autor (2019).

É possível verificar que o tratamento com tempo de residência de 6 horas apresentou coloração ligeiramente mais clara com alguns pontos esbranquiçados. Isso mostra que ao tempo de 6 horas, o material degradou a ponto de apresentar cinzas. Desse ponto resulta que o tratamento com 6 horas de residência não foi ideal para a produção do biochar de cama de frango.

3.3.2 Umidade e Rendimento Gravimétrico

A Tabela 7 apresenta a umidade e o rendimento gravimétrico dos tratamentos do biochar.

Tabela 7. Umidade e rendimento gravimétrico dos tratamentos do biochar

Biochar (450 °C)	Umidade (%)	Rendimento Gravimétrico (%)
Tratamento (0,5 h)	4,3 (0,10) a	37,21 (0,12) a
Tratamento (1 h)	3,3 (0,15) b	36,74 (0,23) b
Tratamento (2 h)	2,9 (0,25) c	36,11 (0,01) c
Tratamento (4 h)	2,1 (0,25) d	35,41 (0,19) d
Tratamento (6 h)	1,4 (0,20) e	32,45 (0,05) e

Fonte: Próprio autor (2019).

Os valores entre parênteses representam o desvio padrão e as letras diferentes indicam, pelo Teste de Tukey que há diferença entre os valores ao nível de 5% de erro. Os resultados das análises mostraram que ambos os tratamentos do biochar apresentaram umidade relativamente baixa se comparada com o material *in natura* (22, 11%) (PEREIRA et al., 2019).

O rendimento gravimétrico, como esperado, diminuiu com o aumento do tempo de residência dos tratamentos. O rendimento gravimétrico foi maior quando comparado com o biochar de outras biomassas, tais como o biochar de palha de cana-de-açúcar, onde Nakashima (2019) encontrou valores de 26,2% e 19,4% para tratamentos de biochar a 450 °C com os tempos de residência de 2 e 4 horas respectivamente. E também para tratamento de biochar com amostras de árvore híbrida de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, onde Róz et al. (2015) encontraram valor de 25,4% com temperatura de 450 °C e tempo de residência de 4 horas, bem próximo do valor de 25,12% que Pires (2017) encontrou com biochar de palha de cana-de-açúcar a 400 °C e tempo de residência de 3h.

3.3.3 Análise Imediata e Poder Calorífico Superior (PCS)

A Tabela 8 apresenta os resultados das análises imediatas dos tratamentos do biochar.

Tabela 8. Análise imediata e PCS dos tratamentos do biochar

Biochar (450 °C)	Teor de voláteis (%)	Teor de cinzas (%)	Teor de carbono fixo (%)	PCS (J/g)
Tratamento (0,5 h)	23,13 (0,47) a	33,66 (1,44) a	43,19 (0,97) a	18.907 a
Tratamento (1 h)	21,49 (0,13) b	37,94 (0,69) b	40,55 (0,76) a	18.968 a
Tratamento (2 h)	15,88 (0,50) c	38,92 (0,67) c	45,19 (0,55) a	19.030 a
Tratamento (4 h)	13,81 (0,49) d	45,59 (1,33) d	43,59 (1,00) a	18.951 a
Tratamento (6 h)	12,09 (0,25) e	53,79 (2,50) e	34,10 (2,57) b	16.852 b

Fonte: Próprio autor (2019).

Os valores resultam da média aritmética das triplicatas de cada um dos materiais e os valores entre parênteses representam o desvio padrão. O teor de voláteis, como esperado diminuiu com o aumento do tempo de residência. O teor de cinzas também comportou-se conforme o esperado em função do tempo de residência, pois houve maior degradação do material. O valor alto do teor de cinzas pode não ser um problema do material e sim em função de impurezas.

Os resultados dos tratamentos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao Teste de Tukey ao nível de 5% de erro, onde as letras diferentes indicam que há diferença entre os valores. As análises de teor de carbono fixo e de PCS, mostraram que os tratamentos de 0,5 hora, 1 hora, 2 horas e 4 horas não se diferem estatisticamente (acompanhados da letra a). No entanto, o tratamento de 6 horas (acompanhado da letra b) difere-se aos demais. O valor menor de teor de carbono fixo e de poder calorífico superior no tratamento de 6 horas, possivelmente está relacionado com a parcela de cinzas que o biochar possui.

O PCS pode ser considerado baixo, pois apresenta valores próximos a valores de biomassas *in natura*, tais como o caroço de azeitona (19.000 J g^{-1}), casca de amêndoas (18.800 J g^{-1}) e casca de avelã (19.300 J g^{-1}) encontrados em estudos de Demirbas (2006) *apud* Figueiredo (2009). O que indica não ser ideal para utilização em geração de energia, no entanto para biochar (utilização no solo) os valores do PCS não apresentam nenhum impedimento.

O teor de carbono fixo é ligeiramente baixo se comparado com o biochar da palha de cana de açúcar, por exemplo, onde Pires (2017) encontrou valor de 64,78% com tratamento de biochar a $400 \text{ }^\circ\text{C}$ com tempo de residência de 3 h e Nakashima (2019) encontrou valores de 60,1 e 55,5% aos tratamentos com tempos de residência de 2 e 4 h respectivamente, ambos a $450 \text{ }^\circ\text{C}$.

Os resultados do alto rendimento gravimétrico, do baixo poder calorífico superior e do baixo teor de carbono fixo, possivelmente estão relacionados ao alto teor de cinzas do material.

3.3.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) / Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS)

A Tabela 9 apresenta os elementos contidos nos diferentes tratamentos do biochar. Os valores são resultados das médias dos valores obtidos em 3 pontos de análise de cada material. Na Tabela 9, a coluna norm. C [wt. %], refere-se à concentração normalizada no percentual de massa do elemento.

Tabela 9. EDS dos diferentes tratamentos do biochar.

Elemento	0,5 h	1 h	2 h	4 h	6 h
	norm. C [wt. %]				
Potássio	37,31	36,50	36,43	36,25	30,98
Cálcio	20,06	17,04	17,70	16,86	20,52
Cloro	13,36	16,98	16,94	16,46	10,37
Sódio	6,95	6,37	6,06	7,30	7,87
Fósforo	5,26	5,17	5,07	5,22	8,86
Enxofre	5,06	4,66	4,72	4,80	6,25
Silício	3,61	4,16	4,59	4,16	3,31
Magnésio	3,18	3,01	3,18	3,23	5,68
Alumínio	2,68	2,99	2,78	2,87	3,02
Ferro	2,52	3,13	2,53	2,84	3,15
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: Próprio autor (2019).

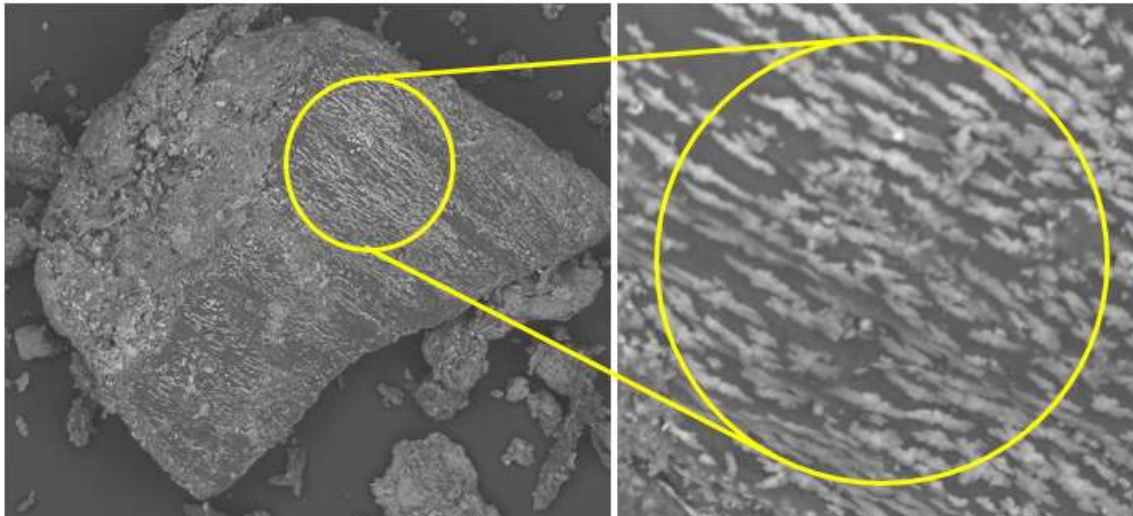
O silício presente nos tratamentos é impureza, possivelmente em contato da cama de frango com o solo.

O ferro contido nas amostras dos biochar, provavelmente estão relacionadas à utilização desses elementos na composição da ração das aves (VIEITES et al., 2015). E os valores do ferro contido nos tratamentos do biochar estão bem próximos ao valor encontrado na cama de frango com criação de dois lotes (2,54%) (PEREIRA, 2019).

A presença do sódio nos tratamentos auxilia na manutenção do pH do solo, deixando-o mais alcalino. O sódio é importante às plantas, pois controla a pressão osmótica nas células, o que implica numa utilização mais eficiente da água (KS MINERAL AND AGRICULTURE, 2019).

Em ambos os tratamentos há presenças de partes esbranquiçadas nas superfícies das partículas do biochar (Figura 18). As partes esbranquiçadas são cloreto de potássio, explicando a grande concentração de cloro e potássio nas amostras.

Figura 18. Presença de cloreto de potássio.



Fonte: Próprio autor (2019).

Outros elementos em concentrações consideráveis, são o fósforo, o cálcio e o enxofre. O fósforo é um nutriente essencial para as plantas, funcionando como uma catálise na conversão de diversas reações bioquímicas importantes nas plantas (NUTRIÇÃO DE SAFRAS, 2019).

Segundo o site Laborsolo Laboratórios (2019), o Cálcio é muito importante ao desenvolvimento das plantas, atua compondo a parede celular e também é muito importante para a germinação das sementes, também auxiliando na redução da acidez do solo. O enxofre e o magnésio também são muito importantes à agricultura, pois o enxofre possui funções, entre outras, de auxiliar a planta em seu sistema de defesa contra pragas e no controle hormonal para o crescimento e diferenciação celular e o Magnésio é um componente importante da clorofila e auxilia na fixação de carbono no solo (LABORSOLO, 2019).

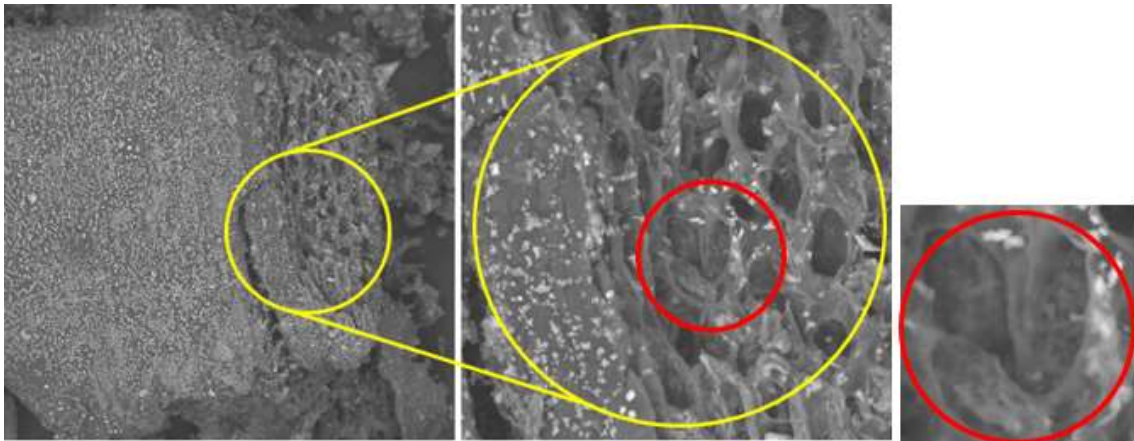
Foi possível observar que, exceto o tratamento de 6 h, os demais tratamentos possuem elementos com o percentual de concentração bem próximos.

Foi possível notar a presença de macroporos (Figura 19), com diâmetro em torno de 5 a 10 μm (destaque em amarelo) e de cerca de 1 μm de diâmetro (destaque em vermelho) nos tratamentos do biochar. Conforme a Tabela 10, são considerados macroporos os poros que possuem diâmetro maiores que 50 nm.

Tabela 10. Classificação dos poros de acordo com a IUPAC

Classificação	Tamanho do poro
Microporo	Diâmetro < 2 nm
Mesoporo	2 nm < Diâmetro < 50 nm
Macroporo	Diâmetro > 50 nm

Fonte: Adaptada de Santos et al (2016).

Figura 19. Porosidade.

Fonte: Próprio autor (2019).

Segundo Bueno (2017), a macroporosidade é uma característica importante no biochar, pois alimentam os meso e microporos no transporte de fluídos, tornando o biochar importante material adsorvente.

3.4 CONCLUSÕES

O tratamento do biochar com tempo de residência de 6 h não apresentou boas condições para o biochar em função de possuir parcelas já em forma de cinzas.

O biochar de cama de frango não é indicado para utilização em energia, uma vez que possui valor relativamente baixo de PCS e valor relativamente alto de teor de cinzas. No entanto, para aplicação no solo esses pontos não são impedimentos.

Os demais tratamentos apresentaram boas condições para o biochar com destaque para seu alto rendimento gravimétrico. Considerando não haver diferenças estatisticamente significativas aos valores do teor de carbono fixo referente aos tratamentos de 0,5, 1, 2 e 4 horas, o tempo de residência indicado ao biochar de cama de frango é o de 0,5 h, considerando a temperatura de 450 °C.

REFERÊNCIAS

- BRIDGWATER, A. V.; CZERNIK, S. PISKORZ, J. **An overview of fast pyrolysis**. Progress in thermochemical biomass conversion. London: Blackwell Science, v. 2, p. 977-997, 2001.
- BUENO, C. C. **Biochar**: caracterização estrutural e interações com nutrientes e microorganismos pedológicos. 2017. 158f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2017.
- CHAN, K. Y.; ZWIETEN V. L.; MESZAROS I.; DOWNIE A., JOSEPH S. D. Using poultry litter biochar as soil amendments. **Australian Journal of Soil Research**, v. 46, p. 437-444, 2008. DOI: 10.1071/SR08036.
- DEMIRBAS, A. Effect of temperature on pyrolysis products from four nut shells. **Journal of analytical and applied pyrolysis**, v. 76, p. 285-289, 2006.
- FIGUEIREDO, F. A. B. **Pirólise e gaseificação de casca de castanha de caju**: avaliação da produção de gás, líquidos e sólidos. 2009. 114p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Térmica e de Fluidos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2009.
- KS MINERAL AND AGRICULTURE. **Nutrientes e elementos benéficos**. Disponível em: http://www.ks-minerals-and-agriculture.com/ptpt/fertiliser/advisory_service/nutrients/. Acesso em: 05 novembro 2019.
- LABORSOLO LABORATÓRIOS. **Macronutrientes**: conhecendo o cálcio. Disponível em: <https://www.laborsolo.com.br/analise-quimica-de-solo/macronutrientes-conhecendo-o-calcio/>. Acesso em: 06 novembro 2019.
- NAKASHIMA, G. T. **Biochar de palha de cana-de-açúcar**: produção, melhorador de solo e fixação de carbono. 2019. 40f. Qualificação (Doutorado em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2019.
- NUTRIÇÃO DE SAFRAS. **Deficiência de fósforo nas plantas**. Disponível em: <https://www.nutricaoadesafra.com.br/fosforo/>. Acesso em: 06 novembro 2019.
- 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.
- PIRES, I. C. S. A. **Produção e caracterização de biochar de palha de cana-de-açúcar**. 2017. 42f. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2017.
- RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. 1. Ed. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011.

RÓZ, A. L.; RICARDO, J. F. C.; NAKASHIMA, G. T.; SANTOS, L. R. O.; YAMAJI, F. M. Maximização do teor de carbono fixo em biocarvão aplicado ao sequestro de carbono. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 8, p. 810-814, 2015.

SANTOS, A. S.; VIANA, M. M.; MEDEIROS, F. H. A.; MOHALLEN, N. D. S.; O incrível mundo dos materiais porosos – características, propriedades e aplicações. **Química Nova**, v. 38, n. 1, p. 4-11, 2016.

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

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.

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

CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

4.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de caracterização da cama de frango mostrou as seguintes conclusões:

- A cama de frango possui características indicativas de grande potencial para utilização como matéria-prima para fabricação de biochar para uso no solo.

- O uso da cama de frango para energia não mostrou ser indicado em função do alto teor de cinzas e umidade.

A partir do estudo com os diversos tratamentos para a fabricação do biochar, foi possível concluir que:

- O tratamento do biochar com temperatura de pirólise de 450 °C mostrou ser o mais indicado.

- O tempo de residência indicado, em função das características do biochar, foi o de 0,5 h.

- O biochar de cama de frango, assim como o material *in natura*, indicou não ser ideal para utilização em energia, principalmente em função do alto teor de cinzas e do baixo poder calorífico superior.

Ainda considerando demais estudos acerca do biochar de cama de frango, como possível caminho para estudos futuros, pode-se considerar:

- Aplicação do biochar no solo para estudos da eficácia.

- Também é bastante plausível um estudo de biochar da blenda de cama de frango com palha de cana de açúcar em função do alto rendimento gravimétrico do biochar da cama de frango e o alto teor de carbono fixo do biochar da palha de cana de açúcar comparando ambas as biomassas.