

Artigo

Caracterização da Biomassa de Cama de Frango para Fabricação de Biochar

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.*

Rev. Virtual Quim., 2019, 11 (4), 1330-1343. Data de publicação na Web: 2 de setembro de 2019

<http://rvq.sbq.org.br>

Characterization of the Poultry Litter Biomass for Production of Biochar

Abstract: Brazil emerges as the world's second-largest producer of broiler chicken. In production, there is the formation of the poultry litter, usually consisting of sawdust, water, feed, droppings and feather of the chickens. After the chicken lots are created, the material is discarded. The aim of this study was to characterize the biomass from poultry litter to analyze its potential as a raw material for biochar. The samples were collected in three different times: *Pinus* spp. sawdust, poultry litter with creation of one chicken lot and with creation of two chicken lots. Moisture tests and proximate analyzes were performed for the three materials and chemical analyzes for the two poultry litter samples. The chemical analyzes did not present significant differences among the samples. The tests showed an increase in moisture content as the chicken lots were create in the litter, reaching 22.11 % after the creation of two lots. The results indicated that from two lots of chickens it is not appropriate to create more lots with the same litter. This material is generally discarded. However, the poultry litter with creation of two lots showed potential to be harnessed as raw material in the manufacture of biochar.

Keywords: Waste utilization; poultry farming; soil recovery.

Resumo

O Brasil desponta como o segundo produtor mundial de frango de corte. Na produção, há a formação da cama de frango, geralmente constituída de serragem, água, ração, excrementos e penas das aves. Após a criação dos lotes de frango, o material é descartado. O objetivo deste trabalho foi caracterizar a biomassa oriunda da cama de frango para analisar seu potencial como matéria-prima para biochar. As amostras foram coletadas em três momentos diferentes: serragem de *Pinus* spp., cama de frango com criação de um lote e com criação de dois lotes de frango. Foram realizados ensaios de teor de umidade e análise imediata para os três materiais e análises químicas para as duas amostras de cama de frango. As análises químicas não apresentaram diferenças significativas entre as amostras. Os ensaios mostraram um aumento do teor de umidade na cama conforme foram sendo criados os lotes de frango, chegando a 22,11 % após a criação de dois lotes. Os resultados indicaram que a partir de dois lotes de criação de frangos, não é recomendado criar mais lotes com a mesma cama. Geralmente, esse material é descartado. No entanto, a cama de frango com criação de dois lotes mostrou potencial para ser aproveitado como matéria-prima na fabricação de biochar.

Palavras-chave: Utilização do resíduo; avicultura; recuperação de solo.

* Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Ciências Ambientais, Laboratório de Biomassa e Bioenergia, Campus Sorocaba, CEP 18052-780, Sorocaba-SP, Brasil.

✉ fmyamaji@ufscar.br

DOI: [10.21577/1984-6835.20190092](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20190092)

Caracterização da Biomassa de Cama de Frango para Fabricação de Biochar

Moisés E. Pereira,^a Luciano D. Varanda,^a Gabriela T. Nakashima,^a
Ana Larissa S. Hansted,^b Diego A. da Silva,^a João Otávio P. Tomeleri,^a
Gabriela B. Belini,^a Fábio M. Yamaji^{a,*}

^a Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Ciências Ambientais, Laboratório de Biomassa e Bioenergia, Campus Sorocaba, CEP 18052-780, Sorocaba-SP, Brasil.

^b Universidade Estadual Paulista, Departamento de Física e Biofísica, Laboratório de Isótopos Estáveis, Campus Botucatu, Botucatu-SP, Brasil

* fmyamaji@ufscar.br

Recebido em 3 de julho de 2019. Aceito para publicação em 12 de julho de 2019

1. Introdução
2. Material e Métodos
 - 2.1. Material
 - 2.2. Métodos
3. Resultados e Discussão
 - 3.1. Umidade
 - 3.2. Análises imediatas
 - 3.3. MEV / EDS
 - 3.4. TGA
 - 3.5. Análise química
4. Conclusão

1. Introdução

O Brasil desponta como o segundo produtor mundial de frango de corte, com produção de 13,15 milhões de toneladas, em 2017, ficando apenas atrás dos Estados Unidos (18,69 milhões de toneladas). Em exportação, o Brasil é líder no segmento de carne de frango (3,85 milhões de toneladas em 2017).¹ 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.

Na produção de frango de corte é necessária uma forragem denominada cama de frango. A cama de frango é composta por

material absorvente,² sendo os mais comuns, a serragem de *Pinus* spp. 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, a cama de frango resulta em cerca de 0,9 a 1,0 kg por ave (quando há a troca a cada lote de aves) e cerca de 1,6 a 1,8 kg por ave quando há a troca a cada dois lotes.³

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. No entanto, há produtores que aproveitam a mesma cama de frango para criar dois lotes de frango, ou mais. Nesse caso, a cama passa por um processo para moer e triturar as placas formadas. O objetivo é facilitar a secagem do material para o reaproveitamento num novo ciclo.

A cama de frango passa ainda por outros processos: enleiramento e fermentação. Este processo é necessário 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 %.⁴ 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 %.⁵

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. Mesmo com a proibição do uso da cama de frango na alimentação animal, 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 consomem o leite ou a carne desses animais.³

O valor de venda da cama de frango pode ser considerado baixo e nem sempre cobre o custo da preparação. No entanto, a troca da cama de frango é um processo necessário. Nesse caso, a cama de frango é descartada.

O descarte da cama de frango no terreno ou o uso exagerado como adubo pode acarretar problemas ambientais tais como risco de contaminação de solo e da água.⁶

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. Material e Métodos

2.1. Material

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

2.2. Métodos

2.2.1. Coleta das amostras

As amostras foram coletadas em granjas localizadas no município de Quadra-SP. A serragem de *Pinus* spp. Foi coletado na granja antes de receber as aves. A cama de frango com um lote foi coletada após a criação de um lote de frangos e a cama de frango com dois lotes foi coletada após a criação de dois lotes de frangos. As duas amostras de cama 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 MA-340 com a utilização da peneira de 10 mesh.

2.2.3. Teor de Umidade

Para a determinação do teor de umidade do material foram coletados entre 05 a 10 kg de amostras de forma aleatória. Elas foram pesadas e levadas à uma estufa com ventilação de ar forçada da MARCONI, modelo MA035, a 60 °C até atingir massa constante. A umidade em base seca foi determinada conforme a Equação 1:

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

Onde:

h = umidade (%)

m = massa inicial (g)

ms = massa final seca (g)

Todas as análises foram feitas em triplicatas.

2.2.5. 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:

2.2.4. Análises imediatas

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).⁷ As análises foram realizadas com as amostras secas.

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

$$tv = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} * 100 \quad (2)$$

Onde:

tv = teor de voláteis (%)

mi = massa inicial (g)

mf = massa final (g)

2.2.6. 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)

2.2.7. 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 (%)

2.2.8. MEV / EDS

Para a análise MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura) / EDS (Espectroscopia por Energia Dispersiva), 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.

2.2.9. TGA

Para a análise de TGA (Análises Termogravimétricas), as amostras foram trituradas com o auxílio de um moinho de rotor vertical com facas móveis e fixas do tipo Willey da MARCONI, modelo MA-340 e com a utilização da peneira de 10 mesh. Após este

processo, foram novamente trituradas 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, modelo Pyres1 da PerkinElmer, com temperatura inicial ambiente e temperatura final de 900 °C, com atmosfera de ar sintético (10 ml/min) e com uma taxa de aquecimento de 20 °C/min.

2.2.10. Análise química

A análise química foi realizada com as amostras da cama de frango, com a criação de um e de dois lotes de frango. As amostras foram secas na estufa e trituradas com o auxílio de um moinho de rotor vertical com facas móveis e fixas, com a utilização da peneira de 10 mesh. O material foi encaminhado ao Laboratório de Fertilizantes e Corretivos do Departamento de Recursos Ambientais da UNESP, Campus Botucatu, onde foram realizadas análises de macro e micronutrientes de acordo com o Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos, Brasília, DF (2014).⁸

3. Resultados e Discussão

3.1. Umidade

A Tabela 1 mostra a umidade dos materiais coletados.

Os resultados das análises mostraram que a serragem de *Pinus* spp. (9,06 %) pode ser considerado um material seco. A cada lote de frango criado, a umidade foi aumentando.

Esse fenômeno é devido a umidade dos dejetos das aves e água desperdiçada por elas nos bebedouros. A umidade após o primeiro lote (15,25 %) permitiu o reuso. Já a umidade após o segundo lote (22,11 %) é considerada alta para iniciar um novo lote.

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

Tabela 1. Umidade dos materiais

Material	Umidade (%)
Serragem de <i>Pinus</i> spp.	9,06
Cama de frango (1 lote)	15,25
Cama de frango (2 lotes)	22,11

3.2. Análises imediatas

A Tabela 2 apresenta os resultados da análise imediata dos materiais.

Os valores resultam da média aritmética das triplicatas de cada um dos materiais. Os resultados mostraram que os teores de voláteis foram diminuindo conforme foram criados os lotes de frango na cama, indicando que ao longo do tempo o material foi degradando.

O teor de cinzas foi inversamente proporcional ao teor de voláteis. 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.⁹ O teor de cinzas da cama de frango de 1 lote (12,76 %) e 2 lotes (16,74 %) podem ser considerados altos. O elevado teor de cinzas é um complicador para utilização para fins energéticos. No entanto, para a produção do biochar o teor de cinzas não tem relevância.

Tabela 2. Análise imediata dos materiais

Material	Teor de voláteis (%)	Teor de cinzas (%)	Teor de carbono fixo (%)
Serragem de <i>Pinus</i> spp.	81,83	1,97	16,19
Cama de frango (1 lote)	70,69	12,76	16,55
Cama de frango (2 lotes)	64,35	16,74	18,91

3.3. MEV / EDS

A análise das cinzas dos materiais pelo MEV está na Figura 1.

Nas cinzas da serragem de *Pinus* spp. (A) é possível identificar a estrutura fibrosa do material. Nas cinzas da cama de frango (B) e (C) já não é possível identificar as fibras da

madeira, indicando que o material já sofreu uma decomposição.

As Figuras 2, 3 e 4, mostram os elementos contidos nas cinzas dos materiais. Nesta análise foram desconsideradas as amplitudes de 0,5 cps/ev (contagem por segundo de elétron-volt) para as cinzas da serragem de *Pinus* spp. e de 0,1 cps/ev para as cinzas das camas de frango de um e de dois lotes.

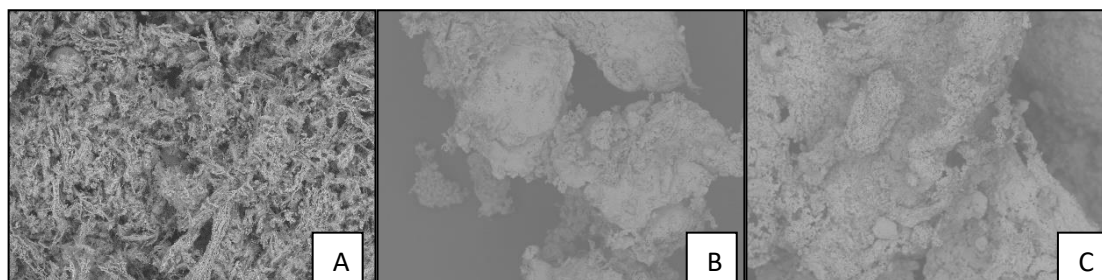


Figura 1. Amostras analisadas: (A) MEV das cinzas da serragem de *Pinus* spp.; (B) MEV das cinzas da cama de frango de um lote; (C) MEV das cinzas da cama de frango de dois lotes

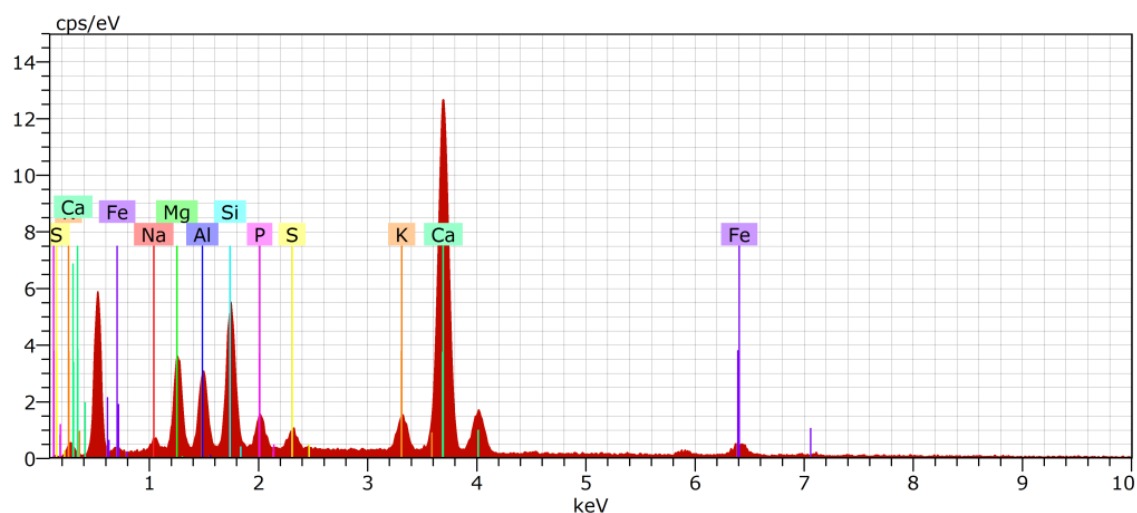


Figura 2. EDS das cinzas da serragem de *Pinus* spp

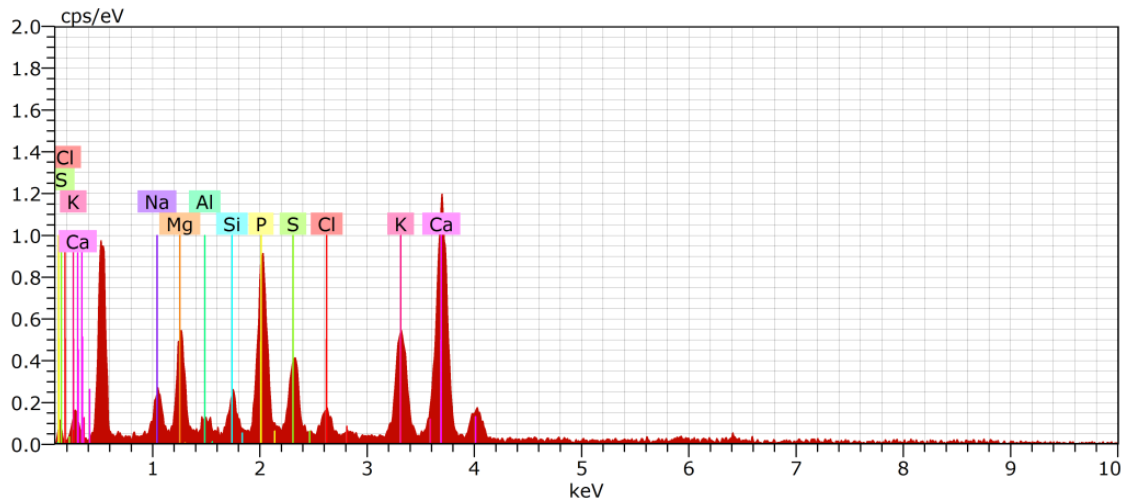


Figura 3. EDS das cinzas da cama de frango de um lote

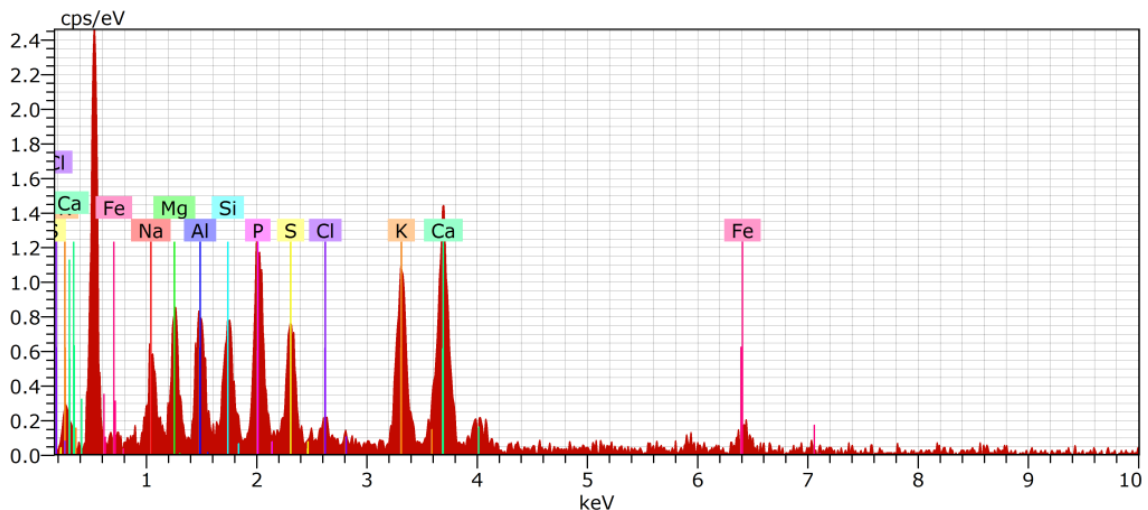


Figura 4. EDS das cinzas da cama de frango de dois lotes

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

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). Nas Tabelas, as colunas norm. C [wt.%], referem-se à concentração normalizada no percentual de peso do elemento.

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

Elemento	NA	(A)	(B)	(C)
		norm. C	norm. C	norm. C
		[wt . %]	[wt . %]	[wt . %]
Cálcio	20	57,12	43,06	37,06
Magnésio	12	8,38	9,37	7,42
Silício	14	6,71	7,49	7,56
Fósforo	51	5,99	12,27	11,34
Alumínio	13	5,26	0,73	7,31
Ferro	26	6,13	0,51	2,54
Potássio	19	4,23	11,08	12,16
Enxofre	16	3,78	9,04	8,91
Sódio	11	1,73	3,77	3,99
Cloro	17	0,67	2,68	1,71
		100,00	100,00	100,00

Os elementos alumínio, ferro e silício presentes em ambas as amostras são impurezas contidas provavelmente pelo contato com o solo.

Foi possível observar que nas cinzas da cama de frango houve um aumento nas concentrações de fósforo (aproximadamente 100 %) e de potássio (aproximadamente 200 %). 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.

3.4. TGA

A análise termogravimétrica (TGA) analisa a decomposição térmica dos materiais e análise DTG (curva da derivada da TG, que destaca os pontos de maior perda de massa). Figura 5.

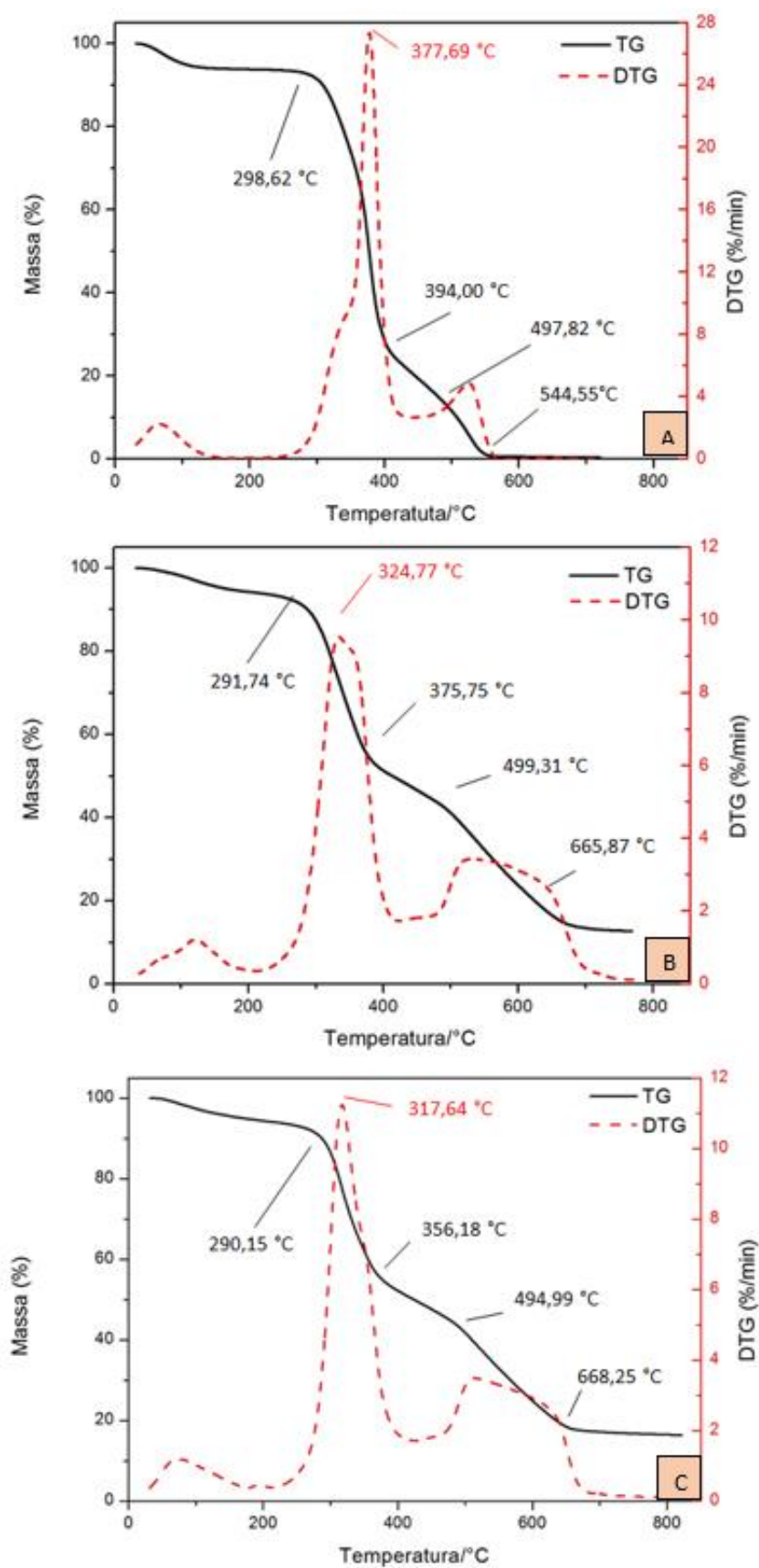


Figura 5. Análises termogravimétricas: (A) serragem de *Pinus* spp.; (B) cama de frango de um lote; (C) cama de frango de dois lotes

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,¹⁰⁻¹² Na Figura 5A observa-se que a maior taxa de degradação foi em 377,69 °C (faixa de degradação da holocelulose). Entre 394 °C e 544,55 °C ocorre a decomposição da lignina. Na Figura 5B é possível observar que houve um resíduo de aproximadamente 15 % (665,87 °C) e na Figura 5C o resíduo foi de aproximadamente 20 % (668,25 °C). Os resultados mostram que as camas de frango acumulam impurezas. Isso pode ser explicado pelas operações de enleiramento e retirada do material do chão da granja. Ainda, a Figura

5A mostra que em 400 °C houve uma decomposição de 70 % do material (serragem de *Pinus* spp.). Nas Figuras 5B e 5C observa-se que a decomposição a 400 °C foi de aproximadamente 50 % e 45 % respectivamente. 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 °C a 499,31 °C e 290,15 °C 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 da hemicelulose, celulose e lignina.

Tabela 4. Picos de perda de massa dos materiais

Material	Pontos de início de perda de massa		
	Hemicelulose	Celulose	Lignina
Serragem de <i>Pinus</i> spp.	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

Em geral, no intervalo de 200 a 350 °C, ocorrem múltiplos estágios de decomposição, como por exemplo, a formação dos componentes voláteis da celulose.¹³

A decomposição da hemicelulose 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).¹⁴ A decomposição completa da celulose ocorre em temperaturas entre 300 e 500 °C, para o *Pinus* spp.¹⁹

A lignina apresenta temperaturas de perda de massa mais elevadas que a celulose e pode ser considerada mais estável termicamente.¹⁵

3.5. Análise química

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

Tabela 5. Análise química: (A) Cama de frango de um lote; (B) Cama de frango de dois lotes

	(A)	(B)	
Elementos	Quant.	Quant.	Unid.
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	
Umid.	15	20	
M.O.	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	-

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.

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 química), 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 %.¹⁶

A análise química 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 com criação de dois lotes de frango possui elementos como fósforo, cálcio e potássio que são importantes contribuintes à melhoria da qualidade do solo.

4. Conclusão

É recomendado criar, no máximo, dois lotes de frangos na mesma cama, devido ao aumento da umidade desse material. A partir dos resultados, conclui-se que a cama de

frango apresentou potencial de utilização na fabricação de biochar. A cama de frango com criação de dois lotes apresentou alta umidade (22,11 %), alto teor de cinzas (16,74 %) e pH básico (8,4). A maioria dessas características são indesejáveis para o processo de combustão da biomassa. Porém, não causam nenhum impedimento para produção de biochar.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e ao Conselho nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil (CNPq) – Processo 159635/2018-7.

Referências Bibliográficas

- ¹ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas/frangos/mundo>>. Acesso em: 23 novembro 2018.
- ² Schnitzer, M.; Monreal, C. M.; Jandl, P. The conversion of chicken manure to biooils by fast pyrolysis. III. Analyses of chicken manure biooils, and biochar by pyrolysis-field ionization mass spectrometry (Py-FIMS) and of biooils by pyrolysis-field desorption mass spectrometry, *Journal of Environmental Science and Health, Part B* **2008**, *42*, 71. [CrossRef]
- ³ 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* **2001**, *22*, 41. [Link]
- ⁴ 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/CUsersPiazzonDocumentsProntosCNPSA-DOCUMENTOS-16-CAMA-DE-AVIARIO-MATERIAIS-REUTILIZACAO-USO-COMO-ALIMENTO-E-FERTILIZANTE-FL-12.pdf>>. Acesso em: 26 dezembro 2018.
- ⁵ Virtuoso, M. C. S.; Oliveira, D. G.; Dias, L. N. S.; Fagundes, P. S. F.; Leite, P. R. S. C. Reutilização da cama de frango. *Revista Eletrônica Nutrime* **2015**, *12*, 3964. [Link]
- ⁶ Hodgkinson, R. A.; Chambersa, A. B. J.; Withersb, P. J. A. e Crossc, R. Phosphorus losses to surface waters following organic manure applications to a drained clay soil. *Agricultural Water Management* **2002**, *57*, 155. [CrossRef]
- ⁷ ASTM D1102-84(2013), Standard Test Method for Ash in Wood, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013. [Link]
- ⁸ Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 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.
- ⁹ Klautau, J. V. P.; *Dissertação de Mestrado*. Universidade Federal do Paraná, Brasil, 2008. [Link]
- ¹⁰ 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* **2010**, *35*, 2580. [CrossRef]
- ¹¹ Dermibas, A.; Arin, G. An Overview of Biomass Pyrolysis. *Energy Sources* **2002**, *24*, 471. [CrossRef]
- ¹² Ramiah, M. V. Thermogravimetric and differential thermal analysis of cellulose, hemicellulose, and lignin. *Journal of Applied Polymer Science* **1970**, *14*, 5. [CrossRef]
- ¹³ 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* **2010**, *20*, 395. [CrossRef]

- ¹⁴ Yang, H.; Yan, R.; Chen, H.; Lee, D. H.; Liang, D. T.; Zheng, C. A study on the mechanism of palm oil wastes pyrolysis in a packed bed. *Energy Fuel* **2006**, *20*, 1321. [[Link](#)]
- ¹⁵ White, R. H., Dietenberger; M. A. Wood products: thermal degradation and fire, Em: *Encyclopedia of materials: science and technology*; Buschow, K. H. J.; Cahn, R. W.; Flemings, M. C.; Ilshner, B.; Kramer, E. J. & Mahajan, S. (ed.), Elsevier Science: Amsterdam, 2001. [[Link](#)]
- ¹⁶ Trani, P. E.; Trani, A. L.; Fertilizantes: Cálculo de Fórmulas Comerciais. Instituto Agronômico (IAC): Campinas, 2011. [[Link](#)]