

Temperatura e tempo de residência na produção de biochar oriundo de dejetos de galinhas poedeiras

Fernando Colen^{1*}, Filipe Ferreira Figueiredo², Luiz Arnaldo Fernandes³, Regynaldo Arruda Sampaio⁴, Mauro Franco Castro Mota⁵, Luiz Henrique de Souza⁶

Resumo

Dejetos de galinhas poedeiras contém nutrientes que podem ser reaproveitados na agricultura. Para este uso, é necessária sua estabilização, evitando contaminação ambiental. As formas de tratamentos de resíduos mais comuns são: biodigestão, lagoas de estabilização, compostagem e a produção de biochar, que é o resultado da pirólise de material orgânico. Seu uso melhora as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Assim, objetivou-se com este trabalho a produção de biochar de dejetos de galinhas poedeiras, em função da temperatura: 300, 375, 450 e 525°C e do tempo de residência: 30, 45 e 60 minutos. O material foi coletado no ICA-UFMG, seco a 105°C ± 2°C por 24 h e pirolisado em mufla. Realizou-se as análises de rendimento, pH, condutividade elétrica e número de iodo do biochar. Os resultados mostraram que com o aumento da temperatura e do tempo de residência, o rendimento do biochar diminuiu e o pH manteve-se alcalino, com maior tendência para o arranjo 525°C e 60 minutos. A condutividade elétrica apresentou comportamento parabólico, com maior valor 3,42 mS cm⁻¹ a 419°C e 60 minutos e o menor valor 2,50 mS cm⁻¹ a 300°C e 30 minutos. O número de iodo reduziu com o aumento da temperatura e do tempo de pirólise; o maior valor foi 136,66 mgI₂ g⁻¹ a 340°C e 30 minutos. Conclui-se que o tratamento dos resíduos por pirólise é eficiente e, produz um subproduto que pode ser aplicado como condicionador do solo e adsorvente de contaminantes.

Palavras-chave: Tratamento de Resíduos. Rendimento de biocarvão. Número de Iodo.

Temperature and residence time in the production of biochar from laying hens manure

Abstract

Poultry wastes have a large amount of nutrients from the feed and can be reused in agriculture. However for the reuse of this residue it is necessary to stabilize it, avoiding environmental contamination. Among the treatments of this residue the most important are: biodigestion, stabilization ponds, stored slurry and production of biochar. Biochar is a byproduct from the pyrolysis of organic waste, rich in carbon, which has specific characteristics that make it feasible to use it as a soil conditioner, to improve its chemical, physical and biological properties. The production of biochar has been studied as a method for waste treatment in the agricultural and urban environment. Thus, was aimed with this work to study the effects of temperature and residence time interactions on biochar production from poultry manure. Four pyrolysis temperatures (300, 375, 450 and 525°C) and three residence times (30, 45 and 60 minutes) were tested. The raw material was collected at the ICA-UFMG experimental farm and dried at 105°C ± 2°C for 24 h. The pyrolysis tests were carried out in a muffle furnace where the pyrolysis time was counted when the desired temperature was reached. The yield, pH, electrical conductivity and iodine number were analyzed in the

¹Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. Montes Claros, MG. Brasil.
<https://orcid.org/0000-0001-6039-1240>

²Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. Montes Claros, MG. Brasil.
<https://orcid.org/0000-0001-5142-0468>

³Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. Montes Claros, MG. Brasil.
<https://orcid.org/0000-0002-9877-1924>

⁴Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. Montes Claros, MG. Brasil.
<http://orcid.org/0000-0003-3214-6111>

⁵Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. Montes Claros, MG. Brasil.
<http://orcid.org/0000-0001-5184-2476>

⁶Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. Montes Claros, MG. Brasil.
<https://orcid.org/0000-0003-3939-4871>

*Autor para correspondência: fernandocolenufmg@gmail.com

biochars produced. The results showed interactions among the treatments, but the effects were different for each trait analyzed. With increasing temperature and residence time, the biochar yield decreased significantly, reaching lower values in the temperature of 525°C and residence time of 60 minutes.

Keywords: Waste treatment. Biochar yield. Iodine number.

Introdução

Uma das principais preocupações relacionada ao meio ambiente é a produção de resíduos de origem humana, vegetal ou animal. O crescimento da produção animal e a utilização de sistemas intensivos de engorda tem ocasionado o aumento na produção de dejetos.

Dentre a produção animal, a avicultura brasileira se sobressai como uma das mais desenvolvidas mundialmente, com avanços tecnológicos e genéticos, exportando cerca de 4,4 milhões de toneladas de carne de frango (*Associação Brasileira de Proteína Animal, 2017*). Além da carne de frango, a avicultura conta com a produção de ovos, a partir de um plantel de 218.732.693 cabeças, resultando em 3,8 bilhões de dúzias de ovos ao ano (Brasil, 2016).

Tal criação gera em média 0,15 kg de dejetos de aves por dia; perfazendo cerca de 32.809,9 t dia⁻¹ (Matos, 2014), com potencial contaminante de corpos hídricos e do solo, tanto, quimicamente ou por meio de agentes patogênicos (*Silva; Pelícia, 2012*), além da geração de gases, maus odores e chorume, tornando-se atrativas para vetores (*Delgado et al., 2017*).

Entretanto, após tratamento adequado, estes podem ser destinados na agricultura, como fonte de nutrientes como N, P e K, aumentar o teor de matéria orgânica, elevar a capacidade de troca catiônica e retenção de água do solo, dentre outros (*Guerra et al., 2017; Bolan et al., 2010; Augusto, 2007; Zárate et al., 2003*).

Segundo Campos (2001), os sistemas de tratamentos comumente aplicados para resíduos animais são a compostagem, a lagoa de estabilização e os reatores anaeróbios.

Recentemente, a carbonização de resíduos tem sido utilizada para tratamento e produção de biochar, demonstrando eficiência, pois possibilita a redução de massa e estabilização e eliminação de agentes patogênicos. Biochar é o termo utilizado para designar um material sólido, com elevado teor de carbono, oriundo da pirólise da biomassa, em concentrações reduzida de oxigênio e a temperaturas variando de 300 a 800°C (*Kookana et al., 2011; Lehmann et al., 2006*).

A produção de biochar originou-se com o interesse de pesquisadores reproduzirem em laboratório um material que se assemelhasse as propriedades benéficas da Terra Preta de Índio (TPI), que é um solo antropogênico

no qual foi depositado materiais residuais da pirólise de biomassa e outras fontes de material orgânico por antigos povos indígenas (*Lehmann et al., 2006*).

Estes solos se caracterizam pela alta fertilidade, elevados teores de matéria orgânica estável, coloração escura, presença de restos de materiais arqueológicos, alto teor de nutrientes, como Ca, Zn, Mg, P e C (*Teixeira et al. 2009; Cunha et al., 2007*).

O biochar é também utilizado como condicionador do solo, proporcionando sequestro de carbono, podendo também ser usado como absorvente de baixo custo e de grande eficiência na remoção de poluentes.

As propriedades físicas e químicas do biochar dependem principalmente da fonte de matéria orgânica e das condições de pirólise, tais como temperatura, taxa de aquecimento, tempo de resfriamento, atmosfera de carbonização e pressão (*Spokas et al., 2012*).

O biochar é produzido a partir de diversas biomassas, incluindo palhas de cana de açúcar (*Pires, 2017*), e trigo (*Zhang; Liu, 2016*), casca de arroz e serragem (*Silva et al., 2017*), material lenhoso e sabugo de milho (*Demirbas, 2004*), lodo de esgoto (*Agrafioti et al., 2013*), esterco bovino (*Cao; Harris, 2010*) e de aves (*Lima et al., 2008*), entre outras fontes de matéria orgânica. Com essa variedade de biomassa e propriedades na produção é possível obter biochar com características diferenciadas, podendo aplicar-se no solo, em tratamentos de água e efluentes, dentre outros destinos.

Segundo *Mohan et al. (2014)*, o biochar poderia substituir os carvões ativados, pois a diferença básica é que o biochar é menos carbonizado, proporcionando um material com mais hidrogênio e oxigênio em sua estrutura, juntamente com as cinzas provenientes da biomassa. Assim estudos comprovam a eficiência na remoção de substâncias químicas como, cromo hexavalente (*Dong et al., 2011*), arsênio, cádmio e chumbo (*Mohan et al., 2007*), cobre e zinco (*Chen et al., 2011*) por meio da utilização do biochar.

As propriedades físicas e químicas do biochar variam conforme as condições de pirólise e as características da matéria prima utilizada (*Spokas et al., 2012*). As condições de pirólise podem afetar diretamente a química superficial do biochar, podendo assumir comportamento ácido, básico, hidrofóbico e hidrofílico, (*Lehmann;*

Stephen, 2015), influenciando também a estabilidade a longo prazo dos biochars e a sua capacidade de retenção de nutrientes, água e como fonte de matéria orgânica no solo (Sun *et al.*, 2012).

Segundo Gehrke Schneider (2016) a temperatura de pirólise é determinante para a qualidade e rendimento do biochar. Com o aumento da temperatura e do tempo de residência ocorre redução no rendimento. Essa perda de massa se dá pela maior liberação de materiais voláteis, proporcionando a maior produção de biogás e gerando um produto com uma matriz C amorfa rígida (Lu *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2015). O acréscimo da temperatura ocasiona um produto com baixa relação H/C e O/C, e com maior concentração de N, P e K (Al-Wabel *et al.*, 2013).

Biochar produzido com altas temperaturas proporciona um material mais alcalino, pois ocasiona a diminuição de grupos funcionais ácidos na superfície total e a diminuição das carboxílicas, e a produção de anéis aromáticos (Mukherjee *et al.*, 2011), viabilizando a utilização de biochar produzidos em altas temperatura para elevar o pH do solo (Lorenz; Lal, 2014).

O aumento da temperatura juntamente como o tempo de pirólise provoca um aumento significativo na porosidade do biochar, conferindo acréscimo na área superficial específica, (Hata *et al.*, 2001). Neste caso, na medida em que há aumento da temperatura, ocorre a liberação dos elementos de origem da matéria prima utilizada, sendo que o fornecimento de calor proporciona quebras, contrações, expansões e derretimento de certos componentes (Conz, 2015). A capacidade de troca catiônica (CTC) reduz com o aumento da temperatura, pois está relacionada ao teor de oxigênio presente nos grupos funcionais, que compõe a fração volátil do material (Lehmann; Stephen, 2015) manure or crop residues.

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho a produção e caracterização de biochar a partir de dejetos de galinhas poedeiras, e a verificação da influência da temperatura e o tempo de residência nas propriedades físicas e químicas para a viabilidade deste processo como um método de tratamento deste resíduo.

Materiais e métodos

Os dejetos de galinhas poedeiras foram coletados na Fazenda Experimental Professor Hamilton de Abreu Navarro, no Instituto de Ciência Agrárias, do ICA da UFMG, Campus de Montes Claros – MG. Em cada coleta realizou-se amostragem em triplicata caracterizando os dejetos quanto à umidade, sólidos totais, voláteis e fixos, teor de cinzas, pH e condutividade elétrica (APHA, 2015).

Os dejetos foram homogêneos e produzidas “esferas ou pelotas” com uniformidade de partícula, variando entre 4 e 6 centímetros, levadas para uma pré-secagem em estufa de circulação forçada a $65^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$

por aproximadamente 24 horas. A seguir foram dispostas em estufa, a $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, por 24 horas; e esfriadas em dessecador e pesadas.

A pirólise dos dejetos para a produção do biochar deu-se em forno mufla, a partir de uma amostra 150 gramas de dejetos secos, submetidos às temperaturas de 300, 375, 450 e 525°C e tempos de residência de 30, 45 e 60 minutos. As amostras foram dispostas em recipiente de aço adaptado ao espaço interno da mufla. Após completar o tempo de residência, retirou-se o recipiente da mufla, transferindo-se imediatamente as amostras para um vasilhame com água a temperatura ambiente. Após 15 minutos as amostras foram levadas a estufa a 105°C por 24 horas. A seguir, o material foi pesado e armazenado em recipiente devidamente fechado para posterior análise química e física.

Na caracterização do biochar determinou-se: o rendimento, o pH, a condutividade elétrica (Rajkovich *et al.*, 2012) e o, número de iodo pela NBR 12073:1991 (ABNT, 1991).

Para a análise estatística utilizou-se o software R - R Development Core Team, (2013), com o auxílio do pacote Superfície Resposta - versão 0.1.0. Os dados foram submetidos à análise de variância e de regressão adotando-se o nível de significância de 5%. Foram testados 12 modelos de regressão múltipla, para ajuste dos caracteres das equações. O melhor modelo foi determinado a partir do critério de informação Bayesiano (BIC). Utilizou-se também o software Sigma-Plot - versão 11.0 para plotagem dos gráficos de superfície resposta.

Resultados e discussão

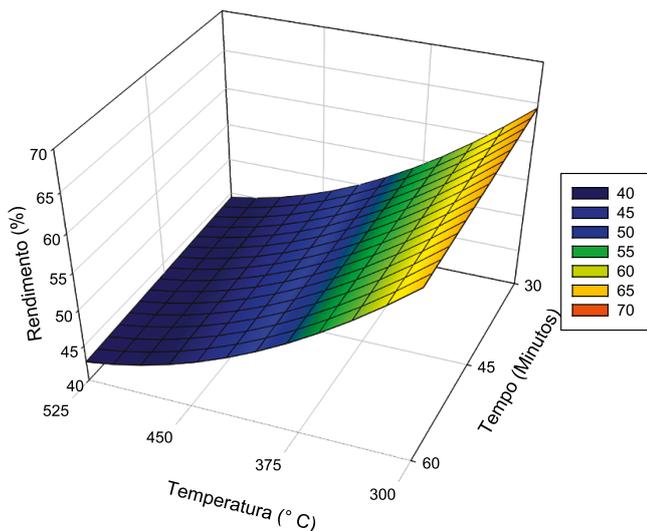
Quanto à caracterização dos dejetos de aves poedeiras observou-se: umidade de 42,80%, sólidos totais de 57,20%, teor de sólidos voláteis de 72,73% e fixos 27,27%. Semelhantemente, Orrico Júnior *et al.* (2011), encontraram valores próximos, sendo 69,21%, 30,79%, respectivamente para sólidos voláteis e fixos, demonstrando valores elevados de material orgânico, altamente desejado para a produção de biocarvão.

O valor médio do pH do resíduo foi de 6,27, com desvio padrão de 1,48%. A condutividade elétrica (CE) média foi de $3,66 \text{ mS cm}^{-1}$, com desvio padrão de 4,46. Os valores de pH demonstraram uma baixa dispersão e alta uniformidade dos dados, diferentemente do comportamento da CE. Dias *et al.* (2010) encontraram valores superiores, sendo pH de 9,64 e CE de $5,02 \text{ mS cm}^{-1}$. Tais variações são justificadas em função da alimentação e espécie animal, idade e forma de confinamento das aves (Delgado *et al.*, 2017). Tais variações podem implicar em biochars com características distintas e com aplicações diferentes, como condicionador de solos, descontaminante de águas, dentre outros.

O aumento da temperatura de pirólise e tempo residência proporcionaram redução do rendimento do biochar. Destacam-se um maior rendimento de 64,39% para a faixa de temperatura de 300°C e tempo de residência de 30 minutos e o menor rendimento foi de 42,71%, a 525°C e 60 minutos (Figura 1).

Estes valores estão próximos aos relatados por Song e Guo (2012), que encontraram 60,13% e 46,62%, respectivamente a 300°C e 550°C, por meio da pirólise de dejetos de aves. O biochar de dejetos de aves apresentou rendimento inferior em relação a outras fontes de matéria orgânica, como lodo de esgoto, com rendimento de 72,3% a 300°C (Hossain et al., 2011) e dejetos suínos fresco de 62,3% a 350°C (Cantrell et al., 2012), e superior ao produzido a partir de estrume de vaca, com rendimento de 58,07% a 300°C (Yue et al., 2017), sabugo de milho e casca de oliva, 30,6% e 44,6% respectivamente a 450°C (Demirbas, 2004). A descrição que melhor representa o comportamento da interação entre os fatores temperatura e tempo de residência pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 – Rendimento do biochar (%) oriundo de dejetos de galinhas poedeiras



$$Z = 0,01377*** - 0,3245***x + 0,0002852***x^2 - 0,05394*y$$

Significância: *** P<0,001; * P<0,05.

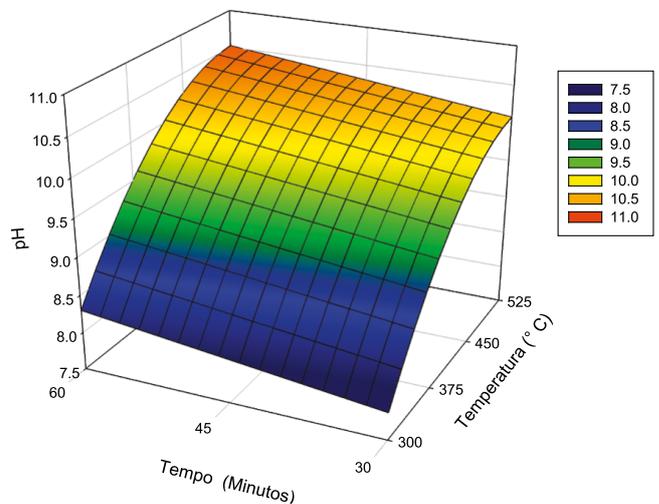
Segundo Novak et al. (2009), o rendimento da produção de biochar se dá principalmente pela eficiência ou não da pirólise em alguns compostos como celulose e hemicelulose e, a combustão de materiais orgânicos em decorrência do aumento da temperatura.

O tempo de residência apresentou pouca influência na redução do rendimento, comparado com a temperatura (Figura 2). Observou-se que, só o aumento do tempo de pirólise não foi suficiente, de modo significativo, para aumentar a gaseificação e volatilização de materiais constituintes da matéria-prima, não obstante, Liu et al. (2004); Tsai et al. (1997) afirmarem que este fator conduz a um menor rendimento de biochar. Segundo

Sensöz e Angin (2008) a temperatura destaca-se como maior fator que influência no rendimento do biochar.

Os aumentos da temperatura e do tempo de residência proporcionaram o aumento do pH do biochar produzido. O maior valor do pH foi 10,52 na faixa de temperatura de 525°C e tempo de residência de 60 minutos e o menor foi 7,86 a 300°C e 30 minutos (Figura 2). Todo biochar produzido, apresentou natureza alcalina, independentemente da temperatura e do tempo de residência. Esta natureza alcalina ocorre na maioria dos biochars, sendo comumente utilizado para aplicação em solos para neutralizar a acidez do mesmo (Chan et al., 2007) 50 and 100 t/ha.

Figura 2 – pH do biochar oriundo de dejetos de galinhas poedeiras



$$Z = 2,233** + 0,01582***x + 0,06932***y - 0,0001323**xy$$

Significância: *** P<0,001; ** P<0,01.

Observou-se na interação dos fatores um comportamento linear. Na faixa de 300°C a 450°C o aumento do pH foi maior, provocando uma maior inclinação nas temperaturas iniciais (Figura 2). Segundo Shinogi e Kanri (2003), no processo de pirólise, existe uma separação dos componentes orgânicos (carbono) e dos componentes inorgânicos (sais de metais alcalinos), chamados também de cinzas, que ocorre na faixa de 300°C a 500°C. Assim, o aumento da alcalinidade se torna mais acentuado inicialmente pela maior degradação do material de origem e maior liberação de cinzas. A partir de 450°C o pH sofre maiores incrementos, possivelmente ocasionado, por materiais de origem mais estáveis. Este comportamento também foi descrito por Cao e Harris (2010) em biochar proveniente de esterco bovino.

O biochar produzido de dejetos de galinha, teve pH superior em relação a outros resíduos com maior quantidade de lignina em sua constituição, como palha de arroz, casca de arroz e galhos de poda de macieiras, com valores de 8,62, 6,43 e 7,02 respectivamente a 400°C e 10,47, 9,68 e 10,02 respectivamente a 800°C (Jindo et al., 2014), sabugo de milho com valor de 8,97

a 350°C (Hale *et al.*, 2013), e de outros resíduos como lodo de esgoto com valor de 6,0 a 300°C (Agrafioti *et al.*, 2013), e de dejetos de suíno com valores de 7,5 e 11,44 respectivamente a 400°C e 800°C (Tsai *et al.*, 2012). O biochar produzido apresentou valores superiores de pH em relação ao material de origem em todos os ensaios realizados, que foi igual a 6,27.

A elevação da temperatura até 490°C proporcionou aumento da CE do biochar, atingindo o valor mais alto nesta temperatura. Contudo, a partir da temperatura mencionada a CE sofreu redução. O menor valor ocorreu na temperatura de 300°C e 30 minutos de tempo de residência. Por outro lado, o aumento do tempo de residência proporcionou aumento linear da CE (Figura 3)..

Song e Guo (2012), destacam que o estudo da CE é de grande importância na caracterização do biochar, pois representa a quantidade de sais presente no material, podendo estes ser tóxicos às plântulas e sementes, quando aplicado sem o devido critério ao solo. Segundo Cantrell *et al.* (2012), o biochar proveniente de dejetos de aves possui maior valor de CE em relação a outros esterco, como de suínos e bovinos, afirmando que a alta CE é devido à assimilação incompleta de nutrientes pelas aves.

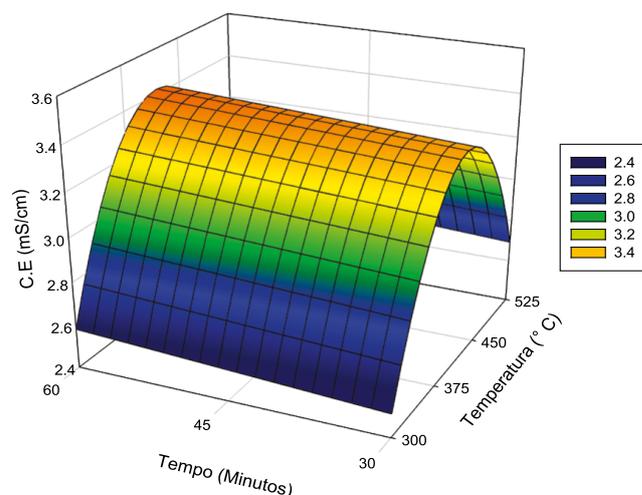
Na literatura encontrou-se valores para a CE proveniente de dejetos de aves poedeiras, de 2,8 a 31,0 mS cm⁻¹ respectivamente para 300 e 600°C e 1,40 e 2,21 mS cm⁻¹ respectivamente a 350 e 700°C (Cantrell *et al.*, 2012; Song; Guo, 2012). O biochar produzido a partir de dejetos de aves apresentou valor inferior ao do lodo de esgoto (Gonzaga *et al.*, 2018) e superior ao de estrume de vaca (Yue *et al.*, 2017).

O biochar apresentou valor de CE inferior em relação ao material de origem em todos os ensaios. A CE apresentou comportamento parabólico com o aumento da temperatura, onde o maior valor ocorreu a 490°C, sendo que o aumento do tempo de residência provocou o crescimento linear da CE (Figura 3).

Inicialmente, o aumento da temperatura de 300 a 375°C, proporcionou pequeno acréscimo no NI. O maior valor encontrado foi 136,66 mg I₂ g⁻¹, na faixa da temperatura de 340°C e tempo de residência de 30 minutos. O fator tempo de residência apresentou pouca influência no NI (Figura 4).

Segundo Choi *et al.* (2015) o NI determina a microporosidade do material, isto é, quanto maior este índice maior a quantidade de microporos do biochar. A molécula de iodo dá informação sobre a área superficial dos poros maiores que 1nm (Hu; Srinivasan, 2011).

Figura 3 – Condutividade elétrica do biochar oriundo de dejetos de galinhas poedeiras

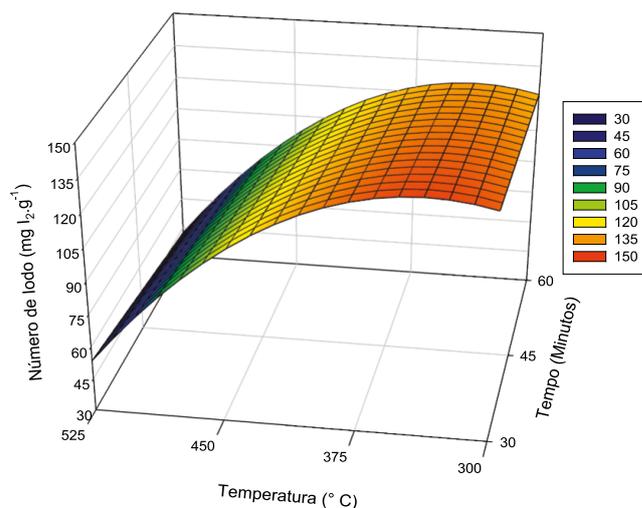


$$Z = -10,52^{**} + 0,05768^{***}x - 0,00005881^{**}x^2 + 0,07891 + y - 0,0001853 + xy$$

Significância: *** P<0,001; ** P<0,01 e + < 0,1.

O aumento da temperatura proporcionou grande redução no NI, (Figura 4). Essa redução pode ser resultado da maior liberação de cinzas com o aumento da temperatura o que pode ocasionar a obstrução dos poros do biochar (Mackay; Roberts, 1982). Na maior temperatura testada o NI foi baixo, aproximando de 50 mg I₂ g⁻¹ de biochar, apresentando pouca aplicação como adsorvente de poluentes (Antal, 1999). O material produzido apresentou valor inferior ao recomendado para carvão ativado na remoção de poluentes que deve ser de 600 mg I₂ g⁻¹ (ABNT, 1991).

Figura 4 – Número de iodo do biochar oriundo de dejetos de galinhas poedeiras



$$Z = -124,7^{*} + 1,612^{***}x - 0,002382^{***}x^2 - 0,375^{**}y$$

Significância: *** P<0,001; ** P<0,01; e * P<0,05.

Conclusão

O aumento da temperatura de pirólise e do tempo de residência reduziu a massa do resíduo e aumentou o pH e a condutividade elétrica do biochar, enquanto que, a porosidade, avaliado pelo índice de iodo, diminuiu.

Referências

- Agrafioti, E.; Bouras, G.; Kalderis, D.; Diamadopoulos, E. 2013. Biochar production by sewage sludge pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 101: 72-78. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2013.02.010>.
- Al-Wabel, M. I.; Al-Omran, A.; El-Naggar, A. H.; Nadeem, M.; Usman, A. R. 2013. Pyrolysis temperature induced changes in characteristics and chemical composition of biochar produced from conocarpus wastes. *Bioresource Technology*, 131: 374-379. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.12.165>.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1991. ABNT - NBR 12073:1991: Carvão ativado pulverizado - Determinação do número de iodo – método de ensaio.
- Associação Brasileira de Proteína Animal. 2017. Relatório Anual. Disponível em: http://abpa-br.com.br/storage/files/3678c_final_abpa_relatorio_anual_2016_portugues_web_reduzido.pdf.
- Augusto, K. V. Z. 2007. Caracterização Quantitativa e qualitativa dos resíduos em sistemas de produção de ovos: compostagem e biodigestão anaeróbia. Botucatu: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita”, 132f. Dissertação Mestrado. Disponível em: <https://bit.ly/3267vty>.
- Bolan, N. S.; Szogi, A. A.; Chuasavathi, T.; Seshadri, B.; Rothrock, M. J.; Panneerselvam, P. 2010. Uses and management of poultry litter. *World's Poultry Science Journal*, 66: 673-698. Doi: <https://doi.org/10.1017/S0043933910000656>.
- Campos, A. T. de. 2001. Tratamento e manejo de dejetos bovinos. Instrução Técnica para o Produtor de Leite, Juiz de Fora, 52.
- Cantrell, K. B.; Hunt, P. G.; Uchimiyi, M.; Novak, J. M.; Ro, K. S. 2012. Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. *Bioresource Technology*, 107: 419-428. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.11.084>.
- Cao, X.; Harris, W. 2010. Properties of dairy-manure-derived biochar pertinent to its potential use in remediation. *Bioresource Technology*, 101: 5222-5228. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.02.052>.
- Chan, K. Y.; Van Zwieten, L.; Meszaros, I.; Downie, A.; Joseph, S. 2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Australian Journal of Soil Research*, 45: 629-634. Doi: <https://doi.org/10.1071/SR07109>.
- Chen, X.; Chen, G.; Chen, L.; Chen, Y.; Lehmann, J.; McBride, M. B.; & Hay, A. G. 2011. Adsorption of copper and zinc by biochars produced from pyrolysis of hardwood and corn straw in aqueous solution. *Bioresource Technology*, 102: 8877-8884. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.06.078>.
- Choi, G. G.; Oh, S. J.; Lee, S. J.; Kim, J. S. 2015. Production of bio-based phenolic resin and activated carbon from bio-oil and biochar derived from fast pyrolysis of palm kernel shells. *Bioresource Technology*, 178: 99-107. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.08.053>.
- Conz, R. F. 2015. Caracterização de matérias-primas e biochars para aplicação na agricultura. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 133 f. Dissertação Mestrado. Disponível em: <https://bit.ly/30IDmR0>.
- Cunha, T. J. F.; Madari, B. E.; Benites, V. D. M.; Canellas, L. P.; Novotny, E. H.; Moutta, R. D. O.; Trompowsky, P. M.; Santos, G. D. A. 2007. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte a antrópico da amazônia (Terra Preta). *Acta Amazonica*, Manaus, 37: 91-98. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/aa/v37n1/v37n1a10>.
- Delgado, M. F.; Piacante, F. J.; Salla, A. 2017. Diagnóstico ambiental da produção avícola de postura: estudo sobre os dois principais sistemas de produção sob a óptica dos seus resíduos sólidos. *Revista de Micro e Pequenas Empresas e Empreendedorismo da Fatec Osasco*, Osasco, 3: 18-40. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6052573>.
- Demirbas, A. 2004. Effects of temperature and particle size on bio-char yield from pyrolysis of agricultural residues. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 72: 243-248. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2004.07.003>.
- Dias, B. O.; Silva, C. A.; Higashikawa, F. S.; Roig, A.; Sánchez-Monedero, M. A. 2010. Use of biochar as bulking agent for the composting of poultry manure: effect on organic matter degradation and humification. *Bioresource Technology*, 101: 1239-1246. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.09.024>.
- Dong, X.; Ma, L. Q.; Li, Y. 2011. Characteristics and mechanisms of hexavalent chromium removal by biochar from sugar beet tailing. *Journal of Hazardous Materials*, 190: 909-915. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.04.008>.
- Gonzaga, M. I. S.; Mackowiak, C.; de Almeida, A. Q.; Carvalho Júnior, J. I. T. 2018. Biocarvão de lodo de esgoto e seu efeito no crescimento e nas características morfológicas de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden Seedlings. *Ciência Florestal*, 28: 687-695. Doi: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509832067>.
- Guerra, A. M. N. M.; Ferreira, J. B. A.; Vieira, T. S.; Franco, J. R.; Costa, A. C. M.; Tavares, P. R. F. 2017. Avaliação da produtividade de grãos e de biomassa em dois híbridos de milho submetidos à duas condições de adubação no município de Santarém - PA. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, 7: 20-27. Doi: <https://doi.org/10.21206/bjsa.v7i4.431>.
- Hale, S. E.; Alling, V.; Martinsen, V.; Mulder, J.; Breedveld, G. D.; Cornelissen, G. 2013. The sorption and desorption of phosphate-P and ammonium-N and nitrate-N in cacao shell and corn cob biochars. *Chemosphere*, 91: 1612-1619. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.12.057>.
- Hata, T.; Imamura, Y.; Ishihara, S. 2001. Adsorption capacities and related characteristics of wood charcoals carbonized using a one-step or two-step process. *Journal of wood science*, 47: 48-57 Doi: <https://doi.org/10.1007/BF00776645>.
- Hossain, M. K.; Strezov, V.; Chan, K. Y.; Ziolkowski, A.; Nelson, P. F. 2011. Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge biochar. *Journal of Environmental Management*, 92: 223-228. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.09.008>.

- Hu, Z.; Srinivasan, M. P. 2011. Mesoporous high-surface-area activated carbon. *Microporous and Mesoporous Materials*, 43: 267-275. [https://doi.org/10.1016/S1387-1811\(00\)00355-3](https://doi.org/10.1016/S1387-1811(00)00355-3).
- Jindo, K.; Mizumoto, H.; Sawada, Y.; Sanchez-Monedero, M. A.; Sonoki, T. 2014. Physical and chemical characterization of biochars derived from different agricultural residues. *Biogeosciences*, 11: 6613-6621. Doi: <https://doi.org/10.5194/bg-11-6613-2014>.
- Kookana, R. S.; Sarmah, A. K.; Van Zwieten, L.; Krull, E.; Singh, B. 2011. Biochar application to soil: agronomic and environmental benefits and unintended consequences. *Advances in Agronomy*, 112: 103-143. Doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-385538-1.00003-2>.
- Lehmann, J.; Gaunt, J.; Rondon, M. 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems - A review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11: 403-427. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11027-005-9006-5>.
- Lehmann, J.; Stephen, J. 2015. *Biochar for environmental management: science, technology and implementation*. 2. ed. Routledge, Nova York. Disponível em: <https://bit.ly/2PSog7i>.
- Lima, I. M.; Mcaloon, A.; Boateng, A. A. 2008. Activated carbon from broiler litter: Process description and cost of production. *Biomass and Bioenergy*, 32: 568-572. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.11.008>.
- Lorenz, K.; Lal, R. 2014. Biochar application to soil for climate change mitigation by soil organic carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177: 651-670. Doi: <https://doi.org/10.1002/jpln.201400058>.
- Lu, H.; Zhang, W.; Wang, S.; Zhuang, L.; Yang, Y.; Qiu, R. 2013. Characterization of sewage sludge-derived biochars from different feedstocks and pyrolysis temperatures. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 102: 137-143. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2013.03.004>.
- Mackay, D. M.; Roberts, P. V. 1982. The influence of pyrolysis conditions on yield and microporosity of lignocellulosic chars. *Carbon*, 20: 95-104. Doi: [https://doi.org/10.1016/0008-6223\(82\)90413-4](https://doi.org/10.1016/0008-6223(82)90413-4).
- Matos, A. T. 2014. *Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos*. Editora UFV, Viçosa.
- Mohan, D.; Pittman Jr, C. U.; Bricka, M.; Smith, F.; Yancey, B.; Mohammad, J.; Steele, P. H.; Franco, M. F. A.; Serrano, V. S.; Gong, H. 2007. Sorption of arsenic, cadmium, and lead by chars produced from fast pyrolysis of wood and bark during bio-oil production. *Journal of Colloid and Interface Science*, 310: 57-73. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2007.01.020>.
- Mohan, D.; Sarswat, A.; Ok, Y. S.; Pittman Jr, C. U. 2014. Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar, a renewable, low cost and sustainable adsorbent – A critical review. *Bioresource Technology*, 160: 191-202. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.120>.
- Mukherjee, A.; Zimmerman, A. R.; Harris, W. 2011. Surface chemistry variations among a series of laboratory-produced biochars. *Geoderma*, 163: 247-255. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.04.021>.
- Novak, J. M.; Lima, I.; Xing, B.; Gaskin, J. W.; Steiner, C.; Das, K. C.; Schomberg, H. 2009. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. *Annals of Environmental Science*, 3: 195-206. Disponível em: <https://openjournals.neu.edu/aes/journal/article/view/v3art5/v3p195-206>.
- Orrico Júnior, M. A. P.; Orrico, A. C. A.; Lucas Júnior, J. 2011. Produção animal e o meio ambiente: uma comparação entre potencial de emissão de metano dos dejetos e a quantidade de alimento produzido. *Engenharia Agrícola*, 31: 399-410. Doi: <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162011000200020>.
- Pires, I. C. D. S. A. 2017. *Produção e caracterização de biochar de palha de cana-de-açúcar (Saccharum sp.)*. Sorocaba: Universidade Federal de São Carlos, 45f. Dissertação Mestrado. Disponível em: <https://bit.ly/2zuey2Y>.
- Rajkovich, S.; Rajkovich, S.; Enders, A.; Hanley, K.; Hyland, C.; Zimmerman, A. R.; Lehmann, J. 2012. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. *Biology and Fertility of Soils*, 48: 271-284. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00374-011-0624-7>.
- Schneider, B. G. 2016. *Biochar de lodo de esgoto e sua influência nas propriedades químicas do solo cultivado com milho*. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Disponível em: http://bdm.unb.br/bitstream/10483/16372/1/2016_BrunaGehrkeSchneider_tcc.pdf.
- Sensöz, S.; Angin, D. 2008. Pyrolysis of safflower (*Charthamus tinctorius* L.) seed press cake: Part 1. The effects of pyrolysis parameters on the product yields. *Bioresource Technology*, 99, 5492-5497. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.10.046>.
- Shinogi, Y.; Kanri, Y. 2003. Pyrolysis of plant, animal and human waste: physical and chemical characterization of the pyrolytic products. *Bioresource Technology*, 90: 241-247. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00147-0](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00147-0).
- Silva, H. W.; Pelícia, K. 2012. Manejo de dejetos sólidos de Poedeiras pelo processo de biodigestão anaeróbica. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, 2: 151-155. Disponível em: [file:///C:/Users/HP/Downloads/2669-12420-1-PB%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/HP/Downloads/2669-12420-1-PB%20(1).pdf).
- Silva, I. C. B.; Basílio, J. J. N.; Fernandes, L. A.; Colen, F.; Sampaio, R. A.; Frazão, L. A. 2017. Biochar from different residues on soil properties and common bean production. *Scientia Agrícola*, 74: 378-382. Doi: <https://dx.doi.org/10.1590/1678-992x-2016-0242>.
- Song, W.; Guo, M. 2012. Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 94: 138-145. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2011.11.018>.
- 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.; Nicholss, K. A. 2012. Biochar: a synthesis of its agronomic impact beyond carbon sequestration. *Journal of Environment Quality*, 41: 973-989. Doi: <https://doi.org/10.2134/jeq2011.0069>.
- Sun, H.; Hockaday, W. C.; Masiello, C. A.; Zygourakis, K. 2012. Multiple controls on the chemical and physical structure of biochars. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 51: 3587-3597. Doi: <https://doi.org/10.1021/ie201309r>.
- Teixeira, W. G.; Kern, D. C.; Madari, B. E.; Lima, H. N.; Woods, W. 2009. *As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas*. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. Disponível em: [file:///C:/Users/HP/Downloads/terrapreta%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/HP/Downloads/terrapreta%20(1).pdf).
- Tsai, W. T.; Chang, C. Y.; Lee, S. L. 1997. Preparation and characterization of activated carbons from corn cob. *Carbon*, 35: 1198-1200. Disponível em: <https://scholars.lib.ntu.edu.tw/bitstream/123456789/76496/1/14.pdf>.

Tsai, W. T.; Liu, S. C.; Chen, H. R.; Chang, Y. M.; Tsai, Y. L. 2012. Textural and chemical properties of swine-manure-derived biochar pertinent to its potential use as a soil amendment. *Chemosphere*, 89: 198-203. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.05.085>.

Yue, Y.; Lin, Q.; Xu, Y.; Li, G.; Zhao, X. 2017. Slow pyrolysis as a measure for rapidly treating cow manure and the biochar characteristics. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 124: 355-361. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2017.01.008>.

Zárate, A. N. H.; Vieira, M. Do C.; Bratti, R. 2003. Efeitos da cama-de-frangos e da época de colheita sobre a produção e a renda bruta de cebolinha “todo ano”. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 33: 73-78. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/pat/article/view/2350>.

Zhang, D.; Pan, G.; Wu, G.; Kibue, G. W.; Li, L.; Zhang, X.; Zheng, J.; Zheng, J.; Cheng, K.; Joseph, S.; Liu, X. 2016. Biochar helps enhance maize productivity and reduce greenhouse gas emissions under balanced fertilization in a rainfed low fertility inceptisol. *Chemosphere*, 142: 106-113. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.04.088>.

Zhang, J.; Liu, J.; Liu, R. 2015. Effects of pyrolysis temperature and heating time on biochar obtained from the pyrolysis of straw and lignosulfonate. *Bioresource Technology*, 176: 288-291. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.11.011>.