



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Biochar de Lodo de Esgoto Aumenta a Produção e Eficiência no Uso de Água da Alface

José Romualdo de Sousa Lima¹, Maysa Bezerra de Araújo², Cássio Lopes de Oliveira², Cleyton Tenório Barros², Alyson da Silva Amorim², Antônio Lourenço Bezerra², Paulo Roberto Jaques Dill³, Érika Valente de Medeiros³, Claude Hammecker⁴, Antonio Celso Dantas Antonino⁵, Maria Camila de Barros Silva Leite⁶

¹ Dr. em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Professor Associado II, Unidade Acadêmica de Garanhuns (UAG), Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE), Av. Bom Pastor, s/n, CEP 55292-278, Garanhuns, Pernambuco. (87) 3764-5529. romualdo.lima@ufpe.br (autor para correspondência).

² Mestrandos em Produção Agrícola, Unidade Acadêmica de Garanhuns (UAG), Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE), Av. Bom Pastor, s/n, CEP 55292-278, Garanhuns, Pernambuco. (87) 3764-5529. maysa_araujo@hotmail.com; cassio.agronomo@yahoo.com; alysonamorim.ccb@hotmail.com; lourencoagronomia@gmail.com; cleytontenorio@hotmail.com

³ Dr., Professor Associado II, Unidade Acadêmica de Garanhuns (UAG), Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE), Av. Bom Pastor, s/n, CEP 55292-278, Garanhuns, Pernambuco. (87) 3764-5529. prjd72@yahoo.com.br; evmbio@gmail.com

⁴ Dr. em Física do Solo, Pesquisador, Institut de Recherche pour le Développement, UMR Eco&Sols, Supagro, 2 Place Viala, 34060 Montpellier cedex, France. E-mail: claud.hammecker@gmail.com

⁵ Dr. em Física do Solo, Professor Titular, Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, Av. Prof. Luiz Freire, 1000, CEP 50740-540 Recife, Pernambuco. (81) 2126-7973. acda@ufpe.br

⁶ Dr. em Ciência do Solo, Unidade Acadêmica de Garanhuns (UAG), Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE), Av. Bom Pastor, s/n, CEP 55292-278, Garanhuns, Pernambuco. (87) 3764-5529. camilabarross@gmail.com

Artigo recebido em 21/02/2020 e aceito em 13/07/2020

RESUMO

O lodo de esgoto (LE) é um resíduo sólido, oriundo de Estações de Tratamentos de Esgoto (ETE), rico em matéria orgânica, sendo capaz de melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Contudo, o LE pode apresentar em sua composição elementos tóxicos e agentes patogênicos que trazem malefícios para saúde humana e para o meio ambiente. A transformação do LE, por meio do processo de pirólise, em biochar, pode ser uma boa alternativa tanto do ponto de vista agrícola quanto do ambiental. Desse modo, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar o efeito de biochar de lodo de esgoto (BLE) na eficiência do uso da água (EUA), na evapotranspiração e na produção da cultura da alface. O experimento foi realizado em casa de vegetação, no delineamento inteiramente casualizado, utilizando-se quatro tratamentos, consistindo de controle (sem biochar), BLE10 (10 t ha⁻¹ de BLE), BLE20 (20 t ha⁻¹ de BLE), BLE30 (30 t ha⁻¹ de BLE), com três repetições. Foram avaliadas a biomassa, a evapotranspiração (ET) e a eficiência no uso de água (EUA) da alface. Não foram observadas diferenças significativas na ET da alface com a adição de BLE ao solo. Contudo, verificou-se que houve um aumento crescente da produção da alface e da EUA com o aumento das doses de BLE. Assim, o BLE mostrou-se uma interessante alternativa para uma destinação adequada do lodo de esgoto gerado nas ETes.

Palavras-chave: Resíduos; evapotranspiração; carbono.

Sewage Sludge Biochar Increases Yield and Water Use Efficiency in Lettuce

ABSTRACT

Sewage sludge (SS) is a solid residue, originating from Sewage Treatment Plants (STP), rich in organic matter, being able to improve the physical, chemical and biological properties of the soil. However, SS can present in its composition toxic elements and pathogenic agents that bring harm to human health and the environment. The transformation of SS, through the pyrolysis process, into biochar can be a good alternative both from an agricultural and environmental point of view. Thus, the present study aimed to evaluate the effect of sewage sludge biochar (SSB) on the water use efficiency (WUE) on evapotranspiration (ET) and on the yield of lettuce. The experiment was carried out in a greenhouse, in a completely randomized design, using four treatments, consisting of control (without SSB), SSB10 (10 t ha⁻¹ of SSB), SSB20 (20 t ha⁻¹ of SSB), SSB30 (30 t ha⁻¹ SSB), with three repetitions. Fresh biomass, evapotranspiration (ET) and water use efficiency (WUE) of lettuce were evaluated. No significant differences were observed in the lettuce ET with the addition of SSB to the soil. However, it was found that there was an increase in the yield of lettuce and the WUE with increasing doses of

SSB. Thus, the SSB proved to be an interesting alternative for an adequate destination of the sewage sludge generated in the STPs.

Key words: Waste; evapotranspiration; carbon.

Introdução

Com o aumento da população mundial surgem vários problemas ambientais e sanitários, e dentre eles, pode-se citar o aumento do lodo de esgoto (LE), que é um resíduo sólido, oriundo de Estações de Tratamentos de Esgoto (ETE). O LE pode afetar tanto o meio ambiente como a saúde humana (Tao et al., 2019).

De acordo com a resolução nº 375 de 29 de agosto de 2006 do CONAMA (CONAMA, 2006), o LE apresenta algumas restrições no uso agrícola decorrentes da presença de coliformes fecais, metais pesados e componentes tóxicos contidos em diferentes concentrações no resíduo.

Assim, várias pesquisas estão propondo transformar o LE, por meio do processo de pirólise, em biochar (Hossain et al., 2010; Agrafioti et al., 2013; Faria et al., 2018; Figueiredo et al., 2018; Barry et al., 2019).

O biochar é um produto rico em carbono, geralmente alcalino, e que pode melhorar as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo e, consequentemente, a produtividade vegetal (Lima et al., 2018; Faloye et al., 2019; Fischer et al., 2019). O biochar pode ser produzido a partir de diversos materiais, como casca de café, borra de café, casca de feijão, madeira de diversas espécies (eucalipto, pinus, cajueiro), sabugo de milho, casca de arroz, etc. (Canuto et al., 2019).

A utilização do LE como matéria prima para a produção do biochar (BLE) pode ser uma boa alternativa tanto do ponto de vista agrícola, uma vez que o BLE pode melhorar as características do solo e aumentar a produtividade das culturas, quanto ambiental, já que o BLE daria um uso adequado aos resíduos.

De acordo com Yuan et al. (2015), o BLE, ao contrário do LE, é mais seguro de ser aplicado ao solo, devido a disponibilidade de metais pesados (chumbo, cobre, cádmio, crômio, zinco, arsênio, etc.) ser menor no BLE que no LE. Por exemplo, em trabalho realizado no Brasil, Figueiredo et al. (2019) mediram os teores de metais pesados em biochar feito de lodo de esgoto, e encontraram que todos os metais pesados estavam abaixo do limite máximo permitido pelo CONAMA, demonstrando que o BLE pode ser usado em solos agrícolas.

Nesse sentido, trabalhos no Brasil (Sousa e Figueiredo, 2016; Gonzaga et al., 2017; Faria et al., 2018; Figueiredo et al., 2018; Figueiredo et al.,

2019; Penido et al., 2019) e no mundo (Hossain et al., 2010; Méndez et al., 2012; Gascó et al., 2016; Gwenzi et al., 2016; Gonzaga et al., 2017; Khanmohammadi et al., 2017) começaram a avaliar o efeito do BLE na produção de culturas agrícolas, bem como na remoção de metais pesados do solo, com resultados bastante positivos.

Sousa e Figueiredo et al. (2016) avaliaram o efeito de diferentes doses de BLE na cultura do rabanete em casa de vegetação nas condições do cerrado brasileiro, e encontraram que o BLE promoveu uma melhoria das propriedades químicas do solo e da produtividade da cultura.

Também no cerrado do Brasil, Faria et al. (2018) conduziram um experimento sob condições de campo com a aplicação de 15 t ha⁻¹ de BLE, sozinho ou em combinação com fertilizantes minerais em duas estações de cultivo (2015 e 2016). Esses autores encontraram que o BLE melhorou as propriedades químicas do solo e a produtividade do milho.

Gascó et al. (2016) realizaram um experimento em casa de vegetação com a cultura da alface adubada com vários tipos de biochar, entre eles o BLE, e não encontraram diferenças significativas na produtividade de biomassa aérea nos diferentes tratamentos.

Contudo, até o momento, nenhuma das pesquisas que usaram o BLE avaliaram seus efeitos na evapotranspiração (ET) e na eficiência no uso de água (EUA) de culturas agrícolas, quer sob condições de campo, quer sob condições de casa de vegetação.

Sabe-se que a ET é a principal saída de água de áreas com culturas agrícolas, pastagens e ecossistemas florestais (Silva et al., 2014; Machado et al., 2015; Silva et al., 2017).

A EUA, que é a relação entre a captura de carbono, por meio do processo de fotossíntese, e a perda de água (Tang et al., 2014), ou seja, a relação entre a produção da cultura e a sua ET (Katerji e Mastrorilli, 2009), é um importante parâmetro para se compreender o metabolismo dos ecossistemas terrestres (Tang et al., 2014), quer sejam agrícolas ou florestais.

Assim, valores mais elevados de EUA são desejáveis, uma vez que maiores valores de EUA estão associados com o aumento da produtividade e/ou com a redução das perdas de água das culturas.

O biochar pode aumentar a EUA das culturas de duas formas: 1) aumentando a produção das culturas, devido às mudanças no pH, nos teores de nutrientes e carbono do solo (Sousa e Figueiredo, 2016; Lima et al., 2018) e 2) reduzindo as perdas de água, ou seja, menor ET (Lima et al., 2018; Lima et al., 2019).

Além disso, de acordo com Canuto et al. (2019), em face dos problemas projetados pelas mudanças climáticas globais, tais como aumento da temperatura do ar, o que tende a elevar o consumo hídrico das culturas, faz-se necessário pesquisas para reduzir a ET, ou seja, aumentar a EUA. Esse aumento da EUA é ainda mais urgente nas culturas hortícolas, devido ao elevado consumo hídrico das mesmas.

Dentre as hortaliças primárias cultivadas no Brasil e principalmente no Nordeste brasileiro, destaca-se a alface, com uma produção de 70.136 mil toneladas (IBGE, 2017).

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma planta herbácea, anual, originária da Ásia, pertencente à família Asteraceae. Hortaliça utilizada em saladas, sendo a folhosa mais consumida no planeta, contendo vitaminas do complexo B e C e alguns minerais: Ca, Fe, Mg, P, K e Na (Nunes et al., 2009; Heredia et al., 2010).

Desse modo, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de diferentes doses de BLE na produção, ET e EUA da alface, sob condições de casa de vegetação.

Material e métodos

Localização, Clima e Solo da Área Experimental

O trabalho foi desenvolvido em casa de vegetação localizada na área experimental da Unidade Acadêmica de Garanhuns, da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UAG/UFAPE), sob as coordenadas 08°53'25" S; 36°29'34" O, com altitude média de 896 m.

O clima é tropical chuvoso, com verão seco; a estação chuvosa se inicia no outono e engloba o inverno e o início da primavera. A temperatura média anual é de 21°C e a precipitação pluviométrica média anual é de 897 mm, sendo os meses mais chuvosos: maio, junho, julho e agosto (Borges Júnior et al., 2012).

O solo utilizado no experimento é um Argissolo Amarelo, e foi coletado numa área da Fazenda Didática da UAG, no município de Garanhuns, na camada de 0-0,20 m, posto para secar ao ar, peneirado e distribuído em vasos com capacidade de 5 kg.

Foi realizada a caracterização física do solo, constando de análise textural pelo método do densímetro; capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP), usando-se o aparelho Extrator de Richards, nas pressões de 0,01 e 1,5 MPa, respectivamente. Essas características físicas do solo, que estão apresentadas na Tabela 1, foram determinadas de acordo com metodologias contidas em Donagema et al. (2017).

Tabela 1. Granulometria (areia, silte e argila), classificação textural, capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) do Argissolo Amarelo usado no experimento em Garanhuns – PE.

Caatinga	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classificação textural	CC m ³ m ⁻³	PMP m ³ m ⁻³
0-20 cm	71,7	6,2	22,1	Franco argilo arenosa	0,268	0,155

Coleta do lodo de esgoto (LE) e produção do biochar de lodo de esgoto (BLE)

O lodo de esgoto foi coletado na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), localizada em Garanhuns-PE.

Após coletado, o LE foi colocado para secagem ao ar livre e em seguida foi colocado num forno caseiro, do mesmo tipo usado por Lima et al. (2018), para proceder ao processo de pirólise lenta,

durante um período de 10-12 h, onde a temperatura chegou a 530 °C. Após esse processo de pirólise foi obtido o biochar de lodo de esgoto (BLE).

Tanto no LE quanto no BLE foram feitas análises para determinar as características químicas (pH, carbono orgânico, teor de fósforo), de acordo com metodologias contidas em Donagema et al. (2017).

Condução do experimento e design experimental

O experimento foi realizado em casa de vegetação, em vasos com capacidade de 5 kg, no período de 07 de novembro a 09 de dezembro de 2019, sendo disposto em delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), com quatro tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram de quatro doses de BLE, quais sejam: 0 (BE0), 10 (BLE10), 20 (BLE20) e 30 (BLE30) t ha⁻¹. O BLE foi incorporado no solo (na camada de 0-10 cm).

A alface foi semeada em bandeja de poliestireno com 200 células e após a emissão da terceira folha, foi realizado o transplante para os vasos, sendo irrigadas uma vez ao dia, repondo-se o solo para a CC. Após o transplante da alface para os vasos, iniciaram-se as pesagens dos mesmos.

A colheita da alface foi realizada aos 33 dias após o transplante (DAT), sendo avaliada a biomassa fresca (BF) da parte aérea, por pesagem em balança analítica.

Determinação da ET e da EUA

A evapotranspiração (ET) da alface foi obtida por diferença de massa, por meio da Tabela 2. Características químicas do lodo de esgoto (LE) e do seu biochar (BLE).

	pH	Fósforo mg kg ⁻¹	COT g kg ⁻¹
LE	5,20	2554,9	272,3
BLE	10,12	4301,4	143,6

Observa-se que o LE apresentou um pH de 5,2 (ácido), enquanto o BLE apresentou um pH alcalino (10,12).

A alcalinização do BLE, ou seja, aumento do pH, ocorre devido a uma maior proporção de cinzas, as quais contêm quantidades significativas de KOH (Lima et al., 2018). Ademais, como dito por Penido et al. (2019), durante o processo de pirólise, as bases do solo são convertidas para hidróxidos e óxidos que ficam incorporadas ao carvão e em contato com a água tem a habilidade de aumentar o pH do material.

Esses resultados estão condizentes com os trabalhos de Figueiredo et al. (2019), os quais analisando o efeito do LE e do BLE nos teores de metais pesados de um Latossolo Vermelho em Brasília, encontraram que o pH do LE foi de 4,8 enquanto os do BLE variaram de 5,8 a 6,5. Outros autores (Hossain et al. 2010; Gascó et al., 2016; Sousa e Figueiredo 2016; Gonzaga et al., 2017;

pesagem diária dos vasos, de acordo com procedimentos descritos em Lima et al. (2018).

Com os dados de BF (em g planta⁻¹) e de ET (em mm), obteve-se a EUA (g planta⁻¹ mm⁻¹) por meio da equação:

$$EUA = \frac{BF}{ET} \quad (1)$$

Análise estatística

Para avaliar o efeito do BLE na produção, na ET e na EUA da alface os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e quando significativos as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico SISVAR (versão 5.6).

Resultados e discussão

Características químicas do LE e do BLE

A caracterização química do LE e do BLE é apresentada na Tabela 2.

Frišták et al., 2018; Penido et al., 2019) também encontraram pH variando de neutro a alcalino em BLE.

Em relação aos teores de fósforo (Tabela 2), observa-se que o BLE teve valores mais elevados que o LE. De acordo com Fachini (2018), esse aumento do teor de fósforo no BLE decorre do fato de que no processo de pirólise ocorrem perdas gasosas de certos elementos como C, H, O e N, sendo que a maior parte do P presente no LE está na forma inorgânica que é resistente a perdas por volatilização. O aumento dos teores de fósforo do BLE em relação ao LE também foi encontrado por Frišták et al. (2018).

Quanto aos teores de fósforo no LE quanto no BLE, vários autores encontraram resultados similares aos da nossa pesquisa (Costa et al., 2014; Gascó et al., 2016; Figueiredo et al., 2018; Figueiredo et al., 2019).

O LE apresentou valores mais elevados de carbono orgânico total (COT) que o BLE (Tabela 2). Essa diminuição do teor de COT no BLE pode ser devido a temperatura no processo de pirólise, já que com temperaturas mais elevadas (acima de 500 °C), como na nossa pesquisa (a temperatura chegou a 530 °C), pode ocorrer perdas de elementos como o carbono. Resultados semelhantes foram obtidos por Agrafioti et al. (2013), os quais encontraram uma redução nos teores de carbono de 397 g kg⁻¹ para 98 g kg, quando os biochar de LE foram produzidos nas temperaturas de 300 e 500 °C, respectivamente.

Frišták et al. (2018), ao avaliarem os teores de COT em lodo de esgoto urbano e industrial e seus respectivos biochar na Áustria, também encontraram similares ao da nossa pesquisa.

Costa et al. (2014), avaliando o efeito do LE em propriedades químicas de um Latossolo, encontraram que o LE possuía 274 g kg⁻¹ de COT, ou seja, resultados similares ao da nossa pesquisa.

Os teores de COT no BLE em nossa pesquisa encontram-se dentro dos valores obtidos na literatura, os quais podem variar de 60 a 397 g kg⁻¹ (Agrafioti et al., 2013; Sousa e Figueiredo, 2016; Figueiredo et al., 2019), os quais dependem da temperatura, do tempo de residência e da taxa de aquecimento durante o processo de pirólise (Agrafioti et al., 2013).

A biomassa fresca da alface em função dos diferentes tratamentos é apresentada na Figura 1. Observa-se que ocorreu um aumento linear da BF ($R^2 = 0,995$) com o aumento das doses de BLE. No tratamento controle (0 t ha⁻¹ de BLE) a BF foi de 16,7 g planta⁻¹, enquanto na maior dose (30 t ha⁻¹ de BLE) foi de 95,0 g planta⁻¹, o que representou um aumento de 470% em relação à testemunha.

O mesmo ocorreu quando se comparou os outros tratamentos (BLE10 e BLE20) com a testemunha, com aumento de 170 e 290%, respectivamente.

Essas maiores produções de biomassa nos tratamentos que receberam BLE, são devidas, provavelmente, aos elevados valores de pH e de fósforo encontrados no BLE (Tabela 2). Sabe-se que o biochar pode promover aumento da disponibilidade de fósforo para as plantas (Glaser and Lehr, 2019), devido ao aumento do pH do solo (Lima et al., 2018), conferindo um ambiente mais propício para o desenvolvimento vegetal.

Gunes et al. (2014) avaliaram o efeito de biochar feito de esterco de aviário na biomassa da

cultura da alface e encontraram que o biochar promoveu um aumento significativo de 446%, quando comparado com o tratamento testemunha, corroborando, portanto, os resultados de nossa pesquisa.

Sousa e Figueiredo (2016), avaliando doses de BLE na cultura do rabanete num Latossolo argiloso sob condições de casa de vegetação, encontraram que as diferentes doses de BLE aumentaram os teores de nutrientes no solo, principalmente o fósforo. Essa melhoria na fertilidade do solo fez com que ocorresse um aumento na produtividade do rabanete.

Outros autores avaliaram o efeito do BLE na produtividade vegetal, a exemplo de Hossain et al. (2010), e encontraram um aumento da produtividade da cultura do tomate com o aumento das doses de BLE.

Portanto, tanto os resultados desses autores, como os resultados de nossa pesquisa, demonstram o potencial do BLE para ser usado como um fertilizante.

A evapotranspiração (ET) total da cultura da alface, durante o período experimental nos diferentes tratamentos, é apresentada na Figura 2.

Observa-se que não ocorreram diferenças significativas da ET entre os diferentes tratamentos. A ET para o tratamento controle (dose 0 t ha⁻¹ de BLE) foi 257,2 mm, enquanto para o tratamento BLE10 (10 t ha⁻¹ de BLE) foi 243,2 mm. Nos tratamentos BLE20 e BLE30 a ET foi de 247,0 e 257,3 mm, respectivamente. Considerando-se o período experimental que foi de 33 dias, a ET média diária nos tratamentos BLE0, BLE10, BLE20 e BLE30 foi 7,8; 7,4; 7,5 e 7,8 mm d⁻¹, respectivamente.

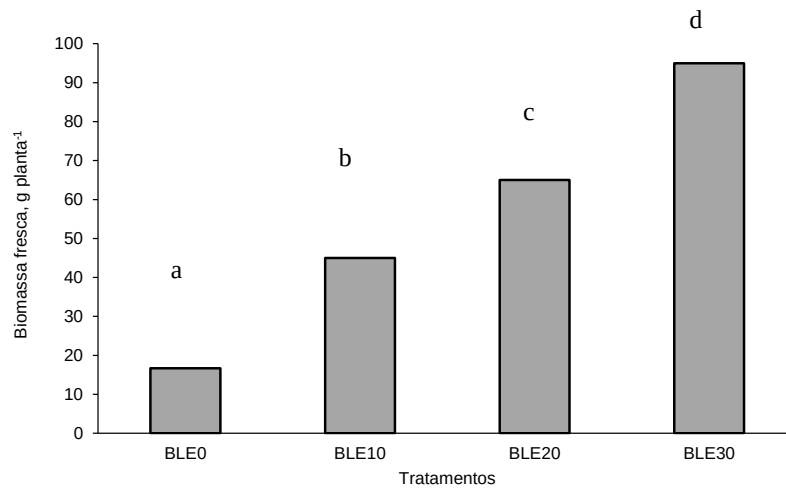


Figura 1. Biomassa aérea fresca da alface em função das diferentes doses de biochar de lodo de esgoto (BLE). BLE0: 0 t ha⁻¹ de BLE; BLE10: 10 t ha⁻¹ de BLE; BLE20: 20 t ha⁻¹ de BLE; BLE30: 30 t ha⁻¹ de BLE. Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Esses valores de ET total e diária estão dentro dos encontrados por outros autores para a cultura da alface (Nunes et al., 2009), contudo estão acima dos encontrados por Canuto et al. (2019). Essas diferenças nos valores de ET da mesma cultura podem ser devido às condições climáticas, de solo, de manejo da cultura, dentre outros fatores.

O efeito do biochar na ET não é bem estabelecido na literatura. Em pesquisas que

encontraram uma redução da ET em função da aplicação de biochar, os autores explicam que isso ocorre devido a maior área superficial específica do biochar, aumentando a retenção de água no solo e diminuindo as perdas por evaporação do solo (Lima et al., 2018; Canuto et al., 2019). Nas pesquisas em que o biochar aumentou a ET, os autores atribuem ao fato do biochar aumentar a água disponível no solo para as plantas (Fischer et al., 2019), aumentando a transpiração e, consequentemente, a ET.

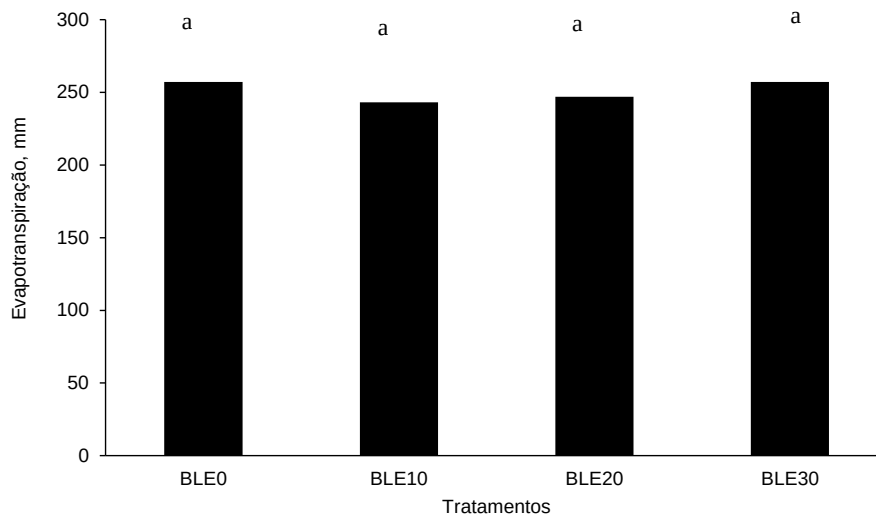


Figura 2. Evapotranspiração (ET) total durante o ciclo da alface em função das diferentes doses de biochar de lodo de esgoto (BLE). BLE0: 0 t ha⁻¹ de BLE; BLE10: 10 t ha⁻¹ de BLE; BLE20: 20 t ha⁻¹ de BLE; BLE30: 30 t ha⁻¹ de BLE. Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Essa variação dos efeitos do biochar na ET e propriedades do solo tem relação com as características do biochar, as quais vão depender da temperatura no processo de pirólise, como observado por vários autores, em biochar feito de lodo de esgoto (Yuan et al., 2015; Figueiredo et al., 2018).

A eficiência no uso de água (EUA) da alface aumentou linearmente ($R^2 = 0,994$) com o incremento das doses de BLE. No tratamento controle (BLE0), a EUA foi de $0,06 \text{ g planta}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, enquanto no tratamento com 10 t ha^{-1} de BLE (BLE10) a EUA foi de $0,19 \text{ g planta}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ (aumento de 188% em relação ao controle). Nas doses de 20 e 30 t ha^{-1} de BLE (BLE20 e BLE30) a EUA foi de 0,27 e $0,37 \text{ g planta}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, respectivamente, com aumento de 309 e 472% em relação ao controle (Figura 3).

Como a EUA é a relação entre a biomassa de uma determinada cultura e a quantidade de água perdida por ET (Katerji e Mastrorili, 2009), esses maiores valores de EUA foi devido, às maiores produções de biomassa fresca (Figura 1), uma vez que os tratamentos não tiveram efeito na ET (Figura 2).

Canuto et al. (2019) avaliaram o efeito de se adicionar 30 t ha^{-1} de biochar de casca de café ou de borra de café, juntamente com 50 t ha^{-1} de esterco bovino, na EUA da alface. Os resultados

mostraram que os tratamentos que continham biochar e esterco bovino aumentaram a EUA, independentemente do tipo de biochar.

Trabalhando com diferentes doses de biochar de casca de café e de borra de café (0, 4, 8, 12 e 16 t ha^{-1}) na cultura do feijão, Lima et al. (2018) encontraram que o incremento nas doses do biochar proporcionou um aumento linear na EUA dessa cultura. Os autores atribuíram esse fato tanto ao aumento da produção da cultura quanto a redução da ET, a qual diminuiu linearmente com o incremento das doses de biochar.

Fischer et al. (2019) realizaram uma revisão de literatura para avaliar o efeito do biochar na produção e EUA de culturas agrícolas. Esses autores encontraram que em 75% das pesquisas ocorreu um aumento na produção das culturas com a adição de biochar. Já em 35% das pesquisas ocorreu um aumento tanto da produção quanto da EUA. Para esses autores, o principal mecanismo para esses resultados é o aumento da retenção de água no solo. Eles também afirmam que o biochar pode aumentar o rendimento agrícola e a resiliência à variabilidade das chuvas.

Na pesquisa de Fischer et al. (2019), foram usados 34 artigos que avaliaram o efeito do biochar na produção, na retenção de água no solo, na ET e na EUA de culturas agrícolas.

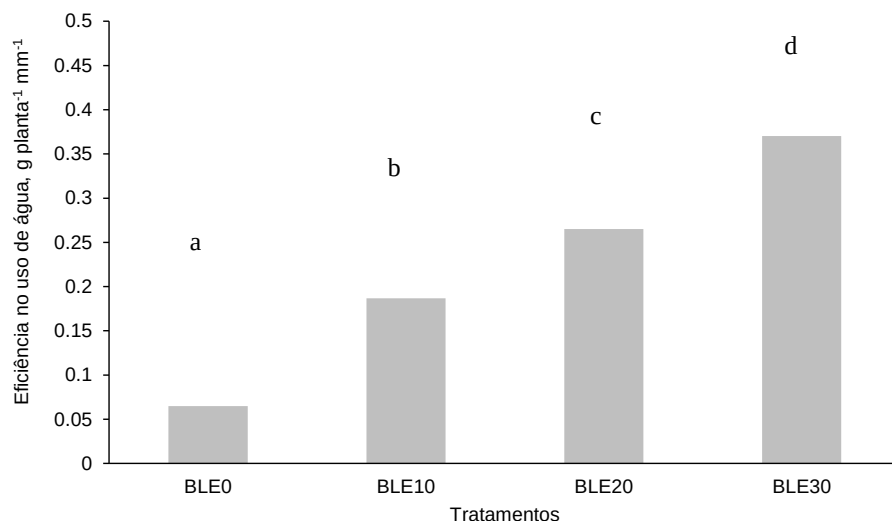


Figura 3. Eficiência no uso de água (EUA) da alface em função das diferentes doses de biochar de lodo de esgoto (BLE). BLE0: 0 t ha^{-1} de BLE; BLE10: 10 t ha^{-1} de BLE; BLE20: 20 t ha^{-1} de BLE; BLE30: 30 t ha^{-1} de BLE. Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Conclusões

A eficiência no uso de água e a produção da alface aumentaram linearmente com o incremento das doses de biochar de lodo de esgoto.

As perdas de água por evapotranspiração não sofreram efeito das diferentes doses de lodo de esgoto.

O biochar de lodo de esgoto é uma alternativa promissora para aumentar a produção e a eficiência no uso de água de culturas agrícolas, além de ser uma forma alternativa e segura para se descartar adequadamente os resíduos sólidos das estações de tratamento de esgoto.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES – Código de Financiamento 001), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processos 307335/2017-8, 409990/2018-3, 465764/2014-2, 448504/2014-6, 441305/2017-2, 438596/2018-8, 310537/2017-7), do Projeto BINSAH (Biochar e o Nexus Segurança Alimentar e Hídrica), e do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia – Observatório Nacional da Dinâmica da Água e de Carbono no Bioma Caatinga (INCT-ONDACBC). Os autores também agradecem a COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento) pela disponibilização do lodo de esgoto.

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. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2013.02.010>
- Barry, D., Barbiero, C., Briens, C., Berruti, F., 2019. Pyrolysis as an economical and ecological treatment option for municipal sewage sludge. *Biomass and Bioenergy* 122, 472-480. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.01.041>
- Borges Júnior, J.C.F., Anjos, R.T., Silva, T.J.A., Lima, J.R.S., Andrade, C.L.T., 2012. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 16, 380-390. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000400008>
- Canuto, C., Andrade, D.S., Lima, E.M., Goes, M.C.C., Almeida, M.M.V., Lima, J.R.S., 2019. Biochar e esterco bovino aumentam a eficiência no uso de água da alface. *Diversitas Journal* 4, 1082-1091. <https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v4i3.822>
- CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2006. Resolução 375 de 29 de Agosto de 2006. Disponível: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>. Acesso: 06 dez. 2019.
- Costa, V.L., Maria, I.C., Otávio A. Camargo, O.A., Grego, C.R., Melo, L.C.A., 2014. Distribuição espacial de fósforo em Latossolo tratado com lodo de esgoto e adubação mineral. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 18, 287-293. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000300007>
- Donagema GK, Campos DVB, Calderano SB, Teixeira WG, Viana JHM., 2011. Manual de Métodos de Análises de Solo. Rio de Janeiro (RJ): Embrapa Solos.
- Fachini, J., 2018. Efeitos residuais do biochar de lodo de esgoto nas propriedades químicas e biológicas do solo, na nutrição e produtividade do milho. Dissertação (Mestrado). Brasília, UNB.
- Faloye, O.T., Alatise, M.O., Ajayi, A.E., Ewulo, B.S., 2019. Effects of biochar and inorganic fertiliser applications on growth, yield and water use efficiency of maize under deficit irrigation. *Agricultural Water Management* 217, 165–178. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.02.044>
- Faria, W.M., Figueiredo, C.C., Coser, T.R., Vale, A.T., Schneider, B.G., 2018. Is sewage sludge biochar capable of replacing inorganic fertilizers for corn production? Evidence from a two-year field experiment. *Archives of Agronomy and Soil Science* 64, 505-519. <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1360488>

- Figueiredo, C.C., Chagas, J.K.M., Silva, J., Paz-Ferreiro, J., 2019. Short-term effects of a sewage sludge biochar amendment on total and available heavy metal content of a tropical soil. *Geoderma* 344, 31–39. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.01.052>
- Figueiredo, C.C., Lopes, H., Coser, T., Vale, A., Busato, J., Aguiar, N., Novotny, E., Canellas, L., 2018. Influence of pyrolysis temperature on chemical and physical properties of biochar from sewage sludge. *Archives of Agronomy and Soil Science* 64, 881–889. <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1407870>
- Fischer, B.M.C., Manzoni, S., Morillas, L., Garcia, M., Johnson, M.S., Steve W. Lyon, S.W., 2019. Improving agricultural water use efficiency with biochar – A synthesis of biochar effects on water storage and fluxes across scales. *Science of the Total Environment* 657, 853–862. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.312>
- Frišták, V., Pipíska, M., Soja, G., 2018. Pyrolysis treatment of sewage sludge: a promising way to produce phosphorus fertilizer. *Journal of Cleaner Production* 172, 1772–1778. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.015>
- Gascó, G., Cely, P., Paz-Ferreiro, J., Plaza, C., Méndez, A., 2016. Relation between biochar properties and effects on seed germination and plant development. *Biological Agriculture & Horticulture* 32, 237–247. <https://doi.org/10.1080/01448765.2016.1166348>
- Glaser, B., Lehr, V-I., 2019. Biochar effects on phosphorus availability in agricultural soils: A meta-analysis. *Scientific Reports* 9, 9338. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45693-z>
- Gonzaga, M.I.S., Mackowiak, C.L., Comeford, N.B., Moline, E.F.V., Shirley, J.P., Guimarães, D.V., 2017. Pyrolysis methods impact biosolids-derived biochar composition, maize growth and nutrition. *Soil & Tillage Research* 165, 59–65. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.07.009>
- Gunes, A., Inal, A., Taskin, M.B., Sahin, O., Kaya, E.C., Atakol, A., 2014. Effect of phosphorus-enriched biochar and poultry manure on growth and mineral composition of lettuce (*Lactuca sativa* L. cv.) grown in alkaline soil. *Soil Use and Management* 30, 182–188. <https://doi.org/10.1111/sum.12114>
- Gwenzi, W., Muzava, M., Mapanda, F., Tauro, T.P., 2016. Comparative short-term effects of sewage sludge and its biochar on soil properties, maize growth and uptake of nutrients on a tropical clay soil in Zimbabwe. *Journal of Integrative Agriculture*, 1395–1406. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(15\)61154-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61154-6)
- Heredia, N.A., Vieira, M.C., Helmich, M., Heid, D.M., Menegati, C.T., 2010. Produção agroecônômica de três variedades de alface: cultivo com e sem amontoa. *Revista Ciência Agrônômica* 41, 646–653.
- Hossain, M.K., Strezov, V., Chan, K.Y., Nelson, P.F., 2010. Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Chemosphere* 78, 1167–1171. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.01.009>
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017. Números de estabelecimento agropecuários e quantidade produzida, por produtos da horticultura. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6954#resultado>. Acesso em: 06 dez. 2019.
- Katerji, N., Mastrorilli, M., 2009. The effect of soil texture on the water use efficiency of irrigated crops: Results of a multi-year experiment carried out in the Mediterranean region. *European Journal of Agronomy* 30, 95–100. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.07.009>
- Khanmohammadi, Z., Afyuni M., Mohammad Reza Mosaddeghi, M.R., 2017. Effect of sewage sludge and its biochar on chemical properties of two calcareous soils and maize shoot yield. *Archives of Agronomy and Soil Science* 63, 198–212. <https://doi.org/10.1080/03650340.2016.1210787>
- Lima, J.R.S., Oliveira, J.E.S., Moura, A.S., Silva, C.F., Medeiros, E.V., Hammecker, C., 2019. Produção e eficiência no uso de água do feijão comum adubado com biochar. *Diversitas Journal* 4, 1146–1155.

<https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v4i3.837>

- Lima, J.R.S., Silva, W.M., Medeiros, E.V., Duda, G.P., Correa, M.M., Filho Martins, A.P., Clermont-Dauphin, C., Antonino, A.C.D., Hammecker, C., 2018. Effect of biochar on physicochemical properties of a sandy soil and maize growth in a greenhouse experiment. *Geoderma* 319, 14–23. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.12.033>
- Machado, C.B., Lima, J.R.S., Antonino, A.C.D., Alves, E.M., Souza, E.S., Ribeiro, A.A., Firmino, F.H.T., 2015. Fluxos de água no consórcio milho-pastagem na microbacia hidrográfica do Rio Mundaú, Pernambuco. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 20, 731-740. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v20n3.p731-740>
- Melo, W.J., Marques, M.O., Santiago, G., Cheli, R. A., Leite, S.A.S., 1994. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 18, 449-455.
- Méndez, A., Gómez, A., Paz-Ferreiro, J., Gascó, G., 2012. Effects of sewage sludge biochar on plant metal availability after application to a Mediterranean soil. *Chemosphere* 89, 1354-1359. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.05.092>
- Nunes, A.L., Bispo, N.B., Hernandez, R.H., Navarini, L., 2009. Evapotranspiração e coeficiente de cultura da alface para a região sudoeste do Paraná. *Scientia Agraria*, 10, 397-402. <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v10i5.15198>
- Penido, E.S., Martins, G.C., Mendes, T.B.M., Melo, L.C.A., Guimarães, I.R., Guilherme, L.R.G., 2019. Combining biochar and sewage sludge for immobilization of heavy metals in mining soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 172, 326-333. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.01.110>
- Silva, P.F., Lima, J.R.S., Antonino, A.C.D., Souza, R., Souza, E.S., Silva, J.R.I., Alves, E.M., 2017. Seasonal patterns of carbon dioxide, water and energy fluxes over the Caatinga and grassland in the semi-arid region of Brazil. *Journal of Arid Environments* 147, 71–82. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.09.003>
- Silva, R.A.B., Lima, J.R.S., Antonino, A.C.D., Gondim, P.S.S., Souza, E.S., Barros Júnior, G., 2014. Balanço hídrico em Neossolo Regolítico cultivado com braquiária (*Braquiária decumbens* Stapf). *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 38, 147-157. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000100014>
- Sousa, A.T.C., Figueiredo, C.C., 2016. Sewage sludge biochar: effects on soil fertility and growth of radish. *Biological Agriculture & Horticulture* 32, 127-138. <https://doi.org/10.1080/01448765.2015.1093545>
- Tang, X., Li, H., Desai, A.R., Nagy, Z., Luo, J., Kolb, T.E., Olmos, A., Xu, X., Yao, L., Kutsch, W., Pilegaard, K., Köstner, B., Ammann, C., 2014. How is water-use efficiency of terrestrial ecosystems distributed and changing on Earth? *Scientific Reports* 4, 7483. <https://doi.org/10.1038/srep07483>
- Tao, S., Yang, J., Hou, H., Liang, S., Xiao, K., Qiu, J., Hu, J., Liu, B., Yu, W., Huali Deng, H., 2019. Enhanced sludge dewatering via homogeneous and heterogeneous Fenton reactions initiated by Fe-rich biochar derived from sludge. *Chemical Engineering Journal* 372, 966–977.
- Yuan, H., Lu, T., Huang, H., Zhao, D., Kobayashi, N., Chen, Y., 2015. Influence of pyrolysis temperature on physical and chemical properties of biochar made from sewage sludge. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 112, 284–289. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2015.01.010>