

Artigo

Efeito Residual de Biocarvão e Pó de Serra nos Teores de Carbono e Nitrogênio Total em Latossolo Amarelo na Amazônia

Guimarães, R. S.;* Padilha, F. J.; Cedano, J. C. C.; Damaceno, J. B. D.; Gama, R. T.; de Oliveira, D. M.; Teixeira, W. G.; Falcão, N. P. S.

Rev. Virtual Quim., 2017, 9 (5), 1944-1956. Data de publicação na Web: 4 de outubro de 2017

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

Residual effect of biochar and saw dust powder on carbon and total nitrogen contents in Yellow Latosol in Amazonia

Abstract: The biochar (BC) acts as a physical, chemical and biological conditioner, which added to increasing doses of saw dust powder (PS) can contribute to soil improvement. The objective of this work was to verify the residual effect of BC and PS on total carbon, organic carbon, total nitrogen and carbon and nitrogen in a dystrophic yellow latosol in the central Amazon. The experiment was carried out at the experimental station of the National Research Institute of the Amazon, Manaus-AM. A randomized block design (4 blocks) was used in factorial tests, In the first plot (0, 40, 80, 120 t ha⁻¹) of BC, and in the second, 80, 120 t ha⁻¹ of PS, totaling 16 treatments and 4 replicates with 64 experimental units. Were determined the total carbon (TC) and nitrogen (NT) contents by the dry-combustion method, organic carbon (CO) by the Walkley & Black method and the carbon and total nitrogen C/N. There was a significant effect at the 1% level of significance in the CT contents at the two depths (0-10 and 0-20 cm) as the BC doses increased, with a difference of more than 80% between the Dose 0 (17.86 g kg⁻¹) and 120 (32.16 g kg⁻¹). There was significant interaction at the 5% probability level between BC and PS in depth 10-20 cm, with the interaction of doses 80 BC and 40 PS presenting the best mean with 34.67 g kg⁻¹ C. There was no significant effect for BC and PS on CO and soil organic matter (OM) in no depth. The residual effect of BC provided a significant increase at the level of 5% in total nitrogen contents at depths 0-10 and 10-20 cm. There was an increase in the C/N ratio due to the doses of BC in the three depths of the soil studied.


Keywords: Soil organic matter; Yellow Latosol; Soil Conditioner.

Resumo

O biocarvão (BC) atua como condicionador físico, químico e biológico, que somado a doses crescentes de pó de serra (PS) podem contribuir para a melhoria do solo. Objetivou-se com este trabalho verificar o efeito residual do biocarvão e do pó de serra nos teores de carbono total, carbono orgânico, nitrogênio total e a relação carbono e nitrogênio em um Latossolo Amarelo Distrófico na Amazônia Central. O experimento foi realizado na Estação Experimental do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, em Manaus-AM. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados (4 blocos), em ensaio fatorial, na primeira parcela (0, 40, 80, 120 t ha⁻¹) de BC, e na segunda foram aplicadas as doses de (0, 40, 80 e 120 t ha⁻¹) de PS, totalizando 16 tratamentos e 4 repetições com 64 unidades experimentais. Foram determinados os teores totais de carbono total (CT) e nitrogênio (NT) pelo método de combustão a seco, carbono orgânico (CO) pelo método walkley & black e relação Carbono e Nitrogênio total (C/N). Houve efeito significativo no nível de 1% de significância nos teores de CT nas duas profundidades (0-10 e 20-30 cm) medida em que as doses BC aumentaram, sendo que houve uma diferença de mais de 80 % entre a dose 0 (17,86 g kg⁻¹) e 120 t (32.16 g kg⁻¹). Houve interação significativa no nível de 5 % de probabilidade entre o BC e PS na profundidade 10-20 cm, sendo que a interação da dose 80 de BC e 40 PS apresentou a melhor média 34.67 g kg⁻¹. Não houve efeito significativo para BC e PS nos teores de CO e matéria orgânica do solo (M.O) em nenhuma profundidade. O efeito residual do BC proporcionou um aumento significativo no nível de 5 % nos teores de nitrogênio total nas profundidades 0-10 e 10-20 cm. Houve um aumento crescente da relação C/N devido às doses de BC nas três profundidades do solo estudado.

Palavras-chave: Matéria orgânica do solo; Latossolo Amarelo; Condicionador do solo.

* Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Coordenação de Tecnologia e Inovação, Caixa Postal 478, Campus III, V8, CEP 69011-970, Manaus-AM, Brasil.

 rsg_fca@yahoo.com.br

DOI: [10.21577/1984-6835.20170114](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20170114)

Efeito Residual de Biocarvão e Pó de Serra nos Teores de Carbono e Nitrogênio Total em Latossolo Amarelo na Amazônia

Rodrigo de S. Guimarães,^{a,*} Felipe J. Padilha,^a Johnny C. Cedano,^a João B. Damaceno,^a Romildo T. Gama,^a Danielle M. de Oliveira,^b Wenceslau G. Teixeira,^c Newton Paulo de S. Falcão^a

^a Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Coordenação de Tecnologia e Inovação, Caixa Postal 478, Campus III – V8, CEP 69011-970, Manaus-AM, Brasil.

^b Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu. Fazenda Experimental Lageado, Rua José Barbosa de Barros, nº 1780, Lageado, CEP 18610-307, Botucatu-SP, Brasil.

^c Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Solos, Rua Jardim Botânico, 1024, Jardim Botânico, CEP 22460-000, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

* rsg_fca@yahoo.com.br

Recebido em 30 de agosto de 2017. Aceito para publicação em 30 de agosto de 2017

1. Introdução

2. Material e Métodos

- 2.1. Descrição da área de estudo
- 2.2. Delineamento experimental
- 2.3. Amostragem do solo e preparo das amostras
- 2.4. Carbono e nitrogênio total- CHN- método da combustão
- 2.5. Carbono orgânico - Método Walkley & Black
- 2.6. Análise estatística

3. Resultado e discussão

- 3.1. Carbono total
- 3.2. Nitrogênio total
- 3.3. Carbono e matéria orgânica do solo
- 3.4. Relação carbono e nitrogênio total

4. Conclusão

1. Introdução

Os solos da região Amazônica, por serem

altamente intemperizados, possuem algumas características químicas desfavoráveis como, alta saturação por alumínio, baixa capacidade de troca de cátions, acidez elevada e baixa concentração de nutrientes.¹⁻³

Essas características associadas aos sistemas agrícolas vêm causando em ritmo acelerado a degradação dos solos, tendo como consequência redução na produção das culturas agrícolas, graves problemas ambientais, sociais e econômicos. Neste sistema, os estoques de Carbono orgânico total (CT), carbono orgânico (CO) e de Nitrogênio total (NT) no solo são também influenciados pelo manejo adotado. Em solos com intenso revolvimento, além das perdas por erosão, ocorre aumento da atividade microbiana pela maior exposição dos resíduos aos microrganismos e suas enzimas. Tendo em vista essas degradações, foram iniciadas novas pesquisas em busca de minimizar esses efeitos. O biocarvão surge como uma alternativa, pois têm como foco principal criar uma boa sintonia entre a fertilidade do solo, produção de alimentos, o sequestro de carbono, a redução dos gases do efeito estufa e redução da toxidez de elementos traços no solo.⁴⁻⁷

Os teores de carbono no solo são relativamente baixos, mas é um dos responsáveis pela emissão dos gases do efeito estufa ao fluxo atmosférico (GEE). Assim, o potencial do biocarvão no sequestro de carbono no solo, evitando que ele seja liberado para a atmosfera, tem atraído grande atenção de pesquisadores.^{8,9} O biocarvão ideal apresenta estrutura interna inerte, semelhante a grafite, que faz preservar (sequestrar) o carbono no solo por centenas ou até milhares de anos e estrutura periférica (externa) reativa (funcionalizada) para atuar como a matéria orgânica natural do ambiente.^{10,11} O biocarvão surge como uma fonte de biomassa que possui uma estrutura deliberadamente estabilizada, proporcionando um poder de armazenar carbono no solo em larga escala e suas propriedades físicas e químicas influenciam positivamente na produção das culturas agrícolas, através de suas interações dinâmicas e reversíveis com nutrientes e partículas minerais do solo.¹²

O biocarvão apresenta uma ampla gama de serviços ambientais: mitigação climática através do sequestro de carbono e redução

de emissões de óxido nitroso, produção de biocombustíveis e eliminação de resíduos.^{13,14} Assim, a utilização do biocarvão resulta da sua capacidade de sequestrar o dióxido de carbono atmosférico em excesso no sentido de aumentar o nível de equilíbrio de matéria orgânica do solo à obtenção de níveis de produtividade superiores aos atuais.

O aumento de produtividade agrícola associado ao favorecimento de ecossistemas naturais biodiversos ricos em carbono, contextualiza a utilização de biocarvão como uma estratégia para redução de alterações climáticas à escala global. Assim, torna-se conveniente proceder ao estudo deste material através da definição das suas características e propriedades, bem como da sua estrutura e potenciais aplicações para as condições edafoclimáticas da Amazonia.¹⁵

O objetivo deste trabalho foi verificar o efeito residual do biocarvão e pó de serra nos teores de carbono total, carbono orgânico e nitrogênio total em Latossolo Amarelo distrófico na Amazônia central.

2. Material e Métodos

2.1. Caracterização da área experimental

O experimento foi realizado na Estação Experimental de Fruticultura Tropical (EFTT), na região nordeste do Amazonas, distante cerca de 40 km da capital Manaus - Brasil. As coordenadas geográficas de referências da EFTT são 02°37'12" S de latitude e 060°02' 27" de longitude W. O clima da região de acordo com a classificação de Köppen é do tipo Af, com duas estações climáticas bem definidas: uma chuvosa (novembro-junho) e outra seca (julho-outubro). A precipitação média anual é de 2.286 mm, umidade relativa do ar de 80 % com variação de temperatura entre 23,3 °C a 31,4 °C e média anual de 26,7 °C.¹⁶ O solo da área do experimento foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico típico (LAd) apresentando as seguintes características químicas (tabela 1).

Tabela 1. Atributos químicos do Latossolo Amarelo utilizado no experimento AM

pH H ₂ O	Ca	Mg	Al	Acidez Potencial	K	P	Fe	Zn	Mn
	-----cmol _c kg ⁻¹ -----				-----mg kg ⁻¹ -----				
4,43	0,11	0,06	1,33	4,00	1,33	3,93	153,7	0,51	0,47

A área selecionada para o estudo é um local de experimentação de longo prazo. O preparo da área foi realizada em 2006 com técnica convencional, com corte e sem queima dos resíduos, visando posteriormente testar o efeito de doses crescentes de biocarvão e pó de serra no solo ao longo do tempo.

O biocarvão foi obtido por meio da coleta de resíduo da produção de carvão das carvoarias da região metropolitana de Manaus; produzidos em fornos artesanais conhecidos como “rabo quente”, que podem alcançar temperaturas de 270 e 600°C com

ausência de oxigênio,¹⁷ antes da instalação do experimento foi moído e peneirado a 2,00 mm, depois procedeu-se uma caracterização química (tabela 2). O pó de serra utilizado foi de serraria da zona leste da cidade de Manaus-AM e no momento da aplicação encontrava-se parcialmente decomposto e/ou em processo de mineralização.

Entre 2007 e 2008 houve uma rotação de cultura entre feijão caupi e milho, em 2012 foi realizado um único plantio de feijão caupi. Entre esses anos foi realizada adubações com fertilizantes minerais (tabela 3).

Tabela 2. Atributos químicos do biocarvão aplicado na área do experimento em 2006

Material	C	N	Ca	Mg	K	P	Zn	Mn
	-----g kg ⁻¹ -----				-----mg kg ⁻¹ -----			
Fino do Carvão	873,26	8,93	6,22	1,30	2,08	0,16	12,00	67,00

Tabela 3. Histórico de adubação química complementar da área de estudo

Ano	Ordem	Culturas	-----kg ha ⁻¹ -----		
			Ureia (45% N)	(42% P ₂ O ₅)	(60% k ₂ O)
2006	1°	Milho	66	177	100
2007	2°	Milho	66 - 133 (*)	-	-
	1°	Feijão-caupi	-	-	-
2008	3°	Milho	133	350	200
	2°	Feijão-caupi	-	-	-
2012	3°	Feijão-caupi	-	-	-

(*) adubação em duas etapas a primeira de 66 kg ha⁻¹ antes da semeadura e segunda de 133 kg

2.2. Delineamento experimental

O experimento levou em consideração o

efeito residual da aplicação de biocarvão e pó de serra realizados em 2006, mantendo o mesmo delineamento experimental de blocos casualizados em ensaio fatorial, na primeira

parcela, com 0, 40, 80, 120 t ha⁻¹ de biocarvão), e na segunda foram aplicadas as doses de 0, 40, 80 e 120 t ha⁻¹ pó de serra, totalizando 16 tratamentos e 4 blocos com 64 unidades experimentais.

2.3. Amostragem do solo e preparo das amostras

As amostras foram coletadas no ano de 2015 na área útil de cada unidade experimental com ajuda de um trado holandês nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm, sendo retiradas amostras compostas. As amostras foram devidamente identificadas e armazenadas em saco plástico de 1 kg. As mesmas foram secas, destorroadas em seguida peneiradas (usando peneira de 2,00 mm).

As análises químicas foram realizadas no laboratório Temático de Solos e Plantas (LTSP) do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, Manaus-AM.

2.4. Carbono e nitrogênio total – CHN – Método da Combustão

As determinações do carbono (C) e nitrogênio total (NT) foram determinadas pelo método de Dumas (combustão seca em alta temperatura) utilizando um analisador elementar (Vario Max CHN):¹⁸ as amostras foram transformadas em terra fina seca ao ar (TFSA), passadas em peneiras com malhas de 2,00 mm de diâmetro. Posteriormente foi colocada em uma cápsula de estanho e introduzida em uma coluna de combustão enriquecida em Oxigênio. A temperatura da coluna é de 920°C (quando se utiliza o retentor de cinza metálico), o hélio utilizado como gás carreador levou os produtos da combustão através de catalisadores (óxido de cromo e óxido de cobalto prateado) para completar a oxidação e em seguida os halogênios foram retidos na primeira coluna. Na segunda coluna preenchida com cobre reduzido, o óxido nitroso foi reduzido à N₂ e o

excesso de oxigênio retido. A água é retida numa coluna com perclorato de magnésio. Na coluna de cromatografia foram separados o N₂ e o CO₂. A detecção é efetuada com um detector de condutividade térmica e o sinal obtido é amplificado e tratado com um integrador. Para calcular a concentração de N e C utilizam-se padrões conhecidos de: ureia, acetanilida ou antropina.

2.5. Carbono orgânico - Método Walkley & Black

Método titrimétrico, usando o Dicromato de Potássio (K₂Cr₂O₇) para oxidação da matéria orgânica em meio sulfúrico, empregando-se como fonte de energia o calor desprendido do ácido sulfúrico e/ ou aquecimento.¹⁹ O excesso de dicromato após a oxidação é titulado com solução de Sulfato Ferroso (FeSO₄·7H₂O) - sal de mohr. Considerando-se que, em média, a matéria orgânica (M.O.) do solo apresenta entre 50 e 58% de carbono (C), estima-se o teor de M.O. do solo multiplicando o teor de C por 1,72 (100/58), sendo este denominado de fator de “Van Bemmelen”, ou seja, o carbono contém de concentração o equivalente a 50 % da matéria orgânica no solo.

2.6. Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), por meio de comparação das médias (Tukey a 5% de probabilidade) utilizando-se o programa estatístico R e análise de regressão visando assim comparar o efeito dos tratamentos nos teores de carbono e nitrogênio total.

3. Resultado e discussão

3.1. Carbono Total

Os teores de carbono total (CT) foram influenciados (p<0,01) pela aplicação de BC

nas três profundidades (0-10, 10-20, 20-30 cm), ocorrendo interação significativa entre o biocarvão e pó de serra apenas na profundidade 10 -20 cm (tabela 4).

Na profundidade 0-10 e 10 -20 cm houve uma diferença de mais de 80% entre testemunha sem BC e 120 t ha⁻¹ (tabela 5) corroborando com numerosas pesquisas de BC, onde se obtiveram resultados positivos para o aumento e armazenamento de CT no solo.²⁰⁻²⁴ Foram observados acréscimo nos

níveis de CT com a aplicação de BC, sendo que seus valores foram aproximadamente cinco vezes maiores que na testemunha.²⁵ Há resultados de pesquisas obtidas que verificaram aumento significativo nos teores de CT com a aplicação de BC.^{26,27} Assim como também foi averiguado que o biocarvão proporcionou aumento nos teores e estoques totais de carbono total no solo em longo prazo.²⁸

Tabela 3. Resumo da análise de variância em delineamento de blocos ao acaso em esquema fatorial para as características avaliadas no efeito residual de biocarvão e pó de serra nos teores carbono total

		0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
FV	GL	Quadrados médios		
Bloco	3	4,54	65,33	252,4
BC	3	619,79**	275,00**	160,11*
PS	3	73,79ns	57,46ns	44,71ns
BC*PS	9	18,59ns	80,07*	41,91ns
Resíduo	45	52,99	35,45	42,11
Total	63			
Média		24,54	19,46	16,92
CV(%)		29,67	30,6	38,35

** e *: significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; ns: Não significativo; FV: Fonte de variação; BC: Biocarvão; PS: pó de serra; BC*PS: interação entre Biocarvão e pó de serra; GL: graus de liberdade; CV(%): coeficiente de variação.

Tabela 5. Médias de Carbono total (CT) do solo nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm em função das doses de biocarvão

Biocarvão t ha ⁻¹	CT g kg ⁻¹		
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
0	17,86 c	14,57 b	13,12 b
40	21,50 bc	13,95 b	15,83 ab
80	26,63 ab	17,37 ab	18,24 ab
120	32,15 a	26,20 a	20,48 a

*Médias de 4 repetições seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey aplicado a 0,01 e 0,05 de probabilidade

A aplicação de biocarvão no solo é considerada uma maneira de sequestrar carbono e também melhorar as funções do

solo,²⁹ devido a sua superfície de cargas e pela alta estabilidade no solo em função de seu efeito recalcitrante e sua natureza

refratária.³⁰ A permanência do carbono em estruturas aromáticas, como é o caso do carvão vegetal, por longos anos, leva ao efeito de retenção prolongada do carbono no solo. A alta superfície específica, grande quantidade de sítios quimicamente reativos e alta porosidade podem diminuir as emissões de gases de efeito estufa, principalmente dos provenientes de adubações nitrogenadas.³¹

Nota-se que nas profundidades 0-10 e 10-20 cm um comportamento linear (figura 1),

demonstrado pela significância (1%) da regressão, em que à medida que se aumentam as doses de carvão, aumentam os teores de CT no solo, corroborando com resultados de pesquisas que também apresentaram um comportamento linear da relação BC e CT.³¹ Também, alcançaram um aumento de 33 % na concentração de CT com aplicação de biocarvão ao longo do tempo.³²

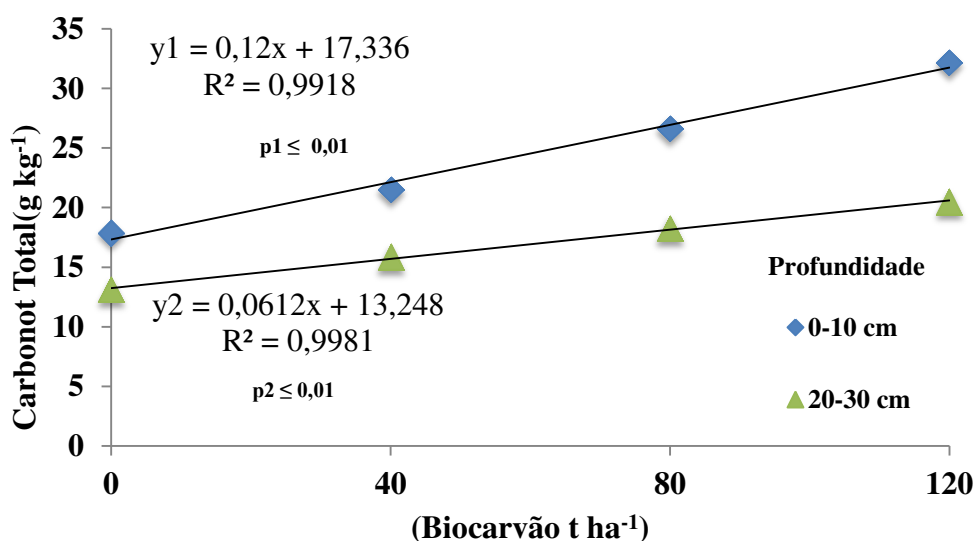


Figura 1. Teor de carbono no solo (0-10 e 20-30 cm) em função de diferentes doses de biocarvão

Na profundidade 10-20 cm houve interação significativa entre o BC e PS (tabela 6), sendo a dose 80 t ha⁻¹ de BC e 40 t ha⁻¹ de PS obtiveram a melhor média 34.67 g kg⁻¹. O mecanismo que confere ao BC capacidade de atuar no sequestro de carbono nos solos é a sua alta estabilidade química, apresentando uma estrutura interna estável, semelhante ao grafite, uma estrutura periférica reativa, devido à presença de diferentes grupos

químicos capazes de se ligar a substâncias orgânicas, à água e a elementos químicos que atuam como nutrientes para as plantas.³³ Existem indicações que apenas uma pequena porção do biocarvão sofre decomposição pelos microorganismos e que a maior parte do carbono recalcitrante remanescente contribui diretamente para a manutenção do carbono no solo em longo prazo.³⁴

Tabela 6. Médias dos teores de Carbono total (g kg^{-1}) total do solo na profundidade de 10-20 cm em função da interação das doses de biocarvão e pó de serra aplicada

PS (t ha^{-1})	Biocarvão (t ha^{-1})							
	0		40		80		120	
0	14.57	Ab	13.95	Ab	17.37	Bab	26.20	Aa
40	16.82	Ab	18.80	Ab	34.67	Aa	18.35	Ab
80	16.35	Aa	17.97	Aa	24.65	ABa	18.50	Aa
120	17.17	Aa	14.10	Aa	22.85	Ba	18.97	Aa

Médias seguidas pelas mesmas letras minúscula na HORIZONTAL não diferem estatisticamente entre si. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula na VERTICAL não diferem estatisticamente entre si.

3.2. Nitrogênio total

nenhuma profundidade, porém nas profundidades 0-10 e 10-20 cm ocorreu efeito significativo ($p < 0,05$) para o fator BC (tabela 7).

Não houve resultados significativos para a interação entre BC e PS e para o fator PS em

Tabela 4. Resumo da análise de variância em delineamento de blocos ao acaso, em esquema fatorial para as características avaliadas no efeito residual de biocarvão e pó de serra nos teores nitrogênio total (CT)

FV	GL	Quadrados médios		
Bloco	3	0,15	0,13	0,25
BC	3	0,19*	0,14*	0,05ns
PS	3	0,07ns	0,14ns	0,04ns
BC*PS	9	0,03ns	0,05ns	0,05ns
Resíduo	45	0,05	0,04	0,04
Total	63			
Média		1,50	1,27	1,10
CV(%)		15,17	17,05	18,64

** e *: significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; ns: Não significativo; FV: Fonte de variação BC: Biocarvão; PS: pó de serra; BC*PS: interação entre Biocarvão e pó de serra; GL: grau de liberdade; CV(%): coeficiente de variação.

Na profundidade 0-10 cm o melhor resultado foi na dose 120 t ha^{-1} com 1.63 g kg^{-1} , e na profundidade 10-20 cm, a dose 80 t ha^{-1} obteve o melhor resultado com 1.40 g kg^{-1} (tabela 8). Há relatos de aumento de nitrogênio após 1, 2 e 10 anos após a aplicação do biocarvão.³⁵⁻³⁷ Na profundidade

20-30 cm não houve efeito significativo. No geral, a aplicação de biocarvão pode ser efetiva na mitigação das emissões de N_2O e na redução da lixiviação de N-inorgânico dos solos, obtendo benefícios econômicos e ambientais nos sistemas agrícolas. Sendo que a quantidade a ser utilizada varia de acordo

com o material e a temperatura de pirólise do qual o biocarvão é produzido, do seu envelhecimento e das características do solo onde ele será aplicado.³⁸ Contudo, o

mecanismo responsável pelos efeitos do na mitigação das emissões de N₂O e nas perdas por lixiviação de nutrientes do solo ainda não é bem conhecido.³⁹

Tabela 8. Médias de nitrogênio total (NT) do solo nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm em função das doses de biocarvão

Biocarvão	NT		
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
t ha ⁻¹	-----g kg ⁻¹ -----		
0	1,39 b	1,23 ab	1,04 a
40	1,44 ab	1,18 b	1,07 a
80	1,58 ab	1,40 a	1,16 a
120	1,63 a	1,28 ab	1,15 a

*Médias de 4 repetições seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey aplicado a 0,01 e 0,05 de probabilidade.

3.3. Carbono orgânico e matéria orgânica do solo

Os parâmetros CO e MO não sofreram efeito significativo para os fatores BC e PS (tabela 9), corroborando com os resultados de trabalhos anteriores onde não se obteve resposta significativa em nenhuma profundidade para essas variáveis sobre o efeito do BC.⁴⁰ Isso pode ser explicado pela

estabilidade do C contido no carvão vegetal que não é oxidável, ou somente pouco oxidável, e pelo reagente utilizado na determinação do carbono orgânico, que é o dicromato de potássio, um agente oxidante, mas que não oxida o carbono nas estruturas aromáticas do biocarvão. Assim, com esse método (Walkley Black) não foi possível medir o aumento no teor de C orgânico no solo.³¹

Tabela 5. Médias de carbono orgânico (CO) e matéria orgânica do solo (M.O) do solo nas profundidade de 0-10, 10-20 e 20-30 cm

Biocarvão	0-10 cm		10-20 cm		20-30 cm	
	CO	M.O	CO	M.O	CO	M.O
t ha ⁻¹	-----g kg ⁻¹ -----					
0	15,50 a	26,67 a	14,86 a	25,56 a	12,35 a	21,24 a
40	14,97 a	25,75 a	14,52 a	24,97 a	12,82 a	22,05 a
80	14,33 a	24,65 a	14,84 a	25,52 a	12,53 a	21,55 a
120	16,95 a	29,15 a	15,72 a	27,04 a	12,96 a	22,28a

*Médias de 4 repetições seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey aplicado a 0,01 e 0,05 de probabilidade.

3.4. Relação Carbono e nitrogênio (C/N)

O pó de serra não influenciou significativamente a relação C/N, todavia como pode ser observado na tabela 10 o biocarvão influenciou o parâmetro nas três profundidades estudadas corroborando com dados apresentados por pesquisas anteriores, que obtiveram como resultado um aumento da relação C/N nas maiores doses de biocarvão, sendo que na profundidade 0-10 cm houve uma diferença

de mais de 80 % entre a testemunha (12,84) e a dose máxima (19,41) de biocarvão.^{24,31} A presença de estruturas aromáticas e a alta relação C/N do biocarvão foram determinantes para que ocorressem essas diferenças significativas. A estabilidade da sua estrutura tem grande influência sobre os estoques de CT, uma vez que a decomposição desse material é mais lenta e a sua presença juntamente com o aporte anual de resíduos vegetais ao solo contribuiu de forma significativa para o aumento dos estoques de CT.²⁸

Tabela 10 Médias de carbono e nitrogênio total do solo nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm

Biocarvão t ha ⁻¹	C/N		
	0-10 cm	10- 20cm	20-30 cm
0	12,84 c	14,27 b	12,47 b
40	14,82 bc	21,76 a	14,77 ab
80	16,88 ab	17,05 ab	15,33 ab
120	19,41 a	17,85 ab	16,93 a

*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey aplicado 0,05 de probabilidade

A relação C/N do biocarvão determina os processos químicos do N, tendo em vista que valores acima de 20 favorecem a imobilização, enquanto abaixo, o processo de mineralização é desencadeado.⁴¹ Alguns autores evidenciaram que a imobilização do N é estimulada com relação C/N entre 20 e 32 g kg⁻¹,^{42,43} no entanto, outros consideram que este valor esteja acima de 32 g kg⁻¹.^{26,44-46}

4. Conclusão

A pesquisa demonstrou que o biocarvão é um meio efetivo de aumento do teor carbono total e nitrogênio total em profundidades, como consequência da sua natureza refrataria e sua resistência à degradação, permitindo que o mesmo aja no

solo mesmo depois de 9 anos de sua incorporação. Os tratamentos que receberam 120 t ha⁻¹ de biocarvão independente da dose de pó de serra, aumentaram o seu teor de carbono total em mais de 80% em todas as profundidades. O nitrogênio total obteve os melhores resultados na dose 120 t ha⁻¹ na camada superficial de 0-10 cm. A relação C/N do solo aumentou progressivamente graças ao efeito residual do biocarvão. O biocarvão não alterou os teores e estoques totais de carbono orgânico e matéria orgânica do solo. O pó de serra demonstrou efeito somente no parâmetro carbono total na profundidade 10-20 cm.

Agradecimentos

Fundação de amparo à pesquisa do

Amazonas (FAPEAM).

Referências Bibliográficas

- ¹ Sanchez, P. A.; Bandy, D. E.; Villachica, J. H.; Nicholaides, J. J. Amazon Basin soils: management for continuous crop production. *Science* **1982**, *216*, 821. [CrossRef]
- ² Moreira, A. Variação das propriedades químicas e físicas do solo e na matéria orgânica em agroecossistemas da Amazônia Ocidental (Amazonas), 1a. ed., CENA/USP: Piracicaba, 2002.
- ³ Osakada A.; dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 2009. [Link]
- ⁴ Biederman, L. A.; Harpole, W. S. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *Global Change Biology Bioenergy* **2013**, *5*, 202. [CrossRef]
- ⁵ Chan, K. Y.; Zwieten, L. V.; Meszaros, I.; Downie, A.; Joseph, S. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Soil Research* **2007**, *45*, 629. [CrossRef]
- ⁶ Karhu, K.; Mattila, T.; Bergström, I.; Regina, K. Biochar addition to agricultural soil increased CH₄ uptake and water holding capacity. *Agriculture Ecosystems and Environment* **2011**, *140*, 309. [CrossRef]
- ⁷ Rizwan, M.; Ali, S.; Qayyum, M. F.; Ibrahim, M.; Zia-ur-Rehman, M.; Abbas, T.; Ok, Y. S. Mechanisms of biochar-mediated alleviation of toxicity of trace elements in plants: a critical review. *Environmental Science and Pollution Research* **2016**, *23*, 2230. [CrossRef]
- ⁸ Liang, B.; Lehmann, J.; Solomon, D.; Sohi, S.; Thies, J. E.; Skjemstad, J. O.; Wirick, S. Stability of biomass-derived black carbon in soils. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **2008**, *72*, 6069. [CrossRef]
- ⁹ Woolf, D.; Amonette, J. E.; Street-Perrott, F. A.; Lehmann, J.; Joseph, S. Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature Communications* **2010**, *1*, 56. [CrossRef]
- ¹⁰ Rezende, E. I. P.; Angelo, L. C.; dos Santos, S. S.; Mangrich, A. S. Biocarvão (Biochar) e Sequestro de Carbono. *Revista Virtual Química* **2011**, *3*, 426. [CrossRef]
- ¹¹ Wang, J.; Xiong, Z.; Kuzyakov, Y. Biochar stability in soil: meta-analysis of decomposition and priming effects. *Global Change Biology Bioenergy* **2016**, *8*, 512. [CrossRef]
- ¹² Van Zwieten, L.; Kimber, S.; Morris, S.; Chan, Y. K.; Downie, A.; Joseph, S.; Cowie, A. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant Soil* **2010**, *327*, 235. [CrossRef]
- ¹³ Jeffery, S.; Bezemer, T. M.; Cornelissen, G.; Kuyper, T. W.; Lehmann, J.; Mommer, L.; Sohi, S.P.; Van de Voorde, T. F. J.; Wardle, D. A.; Van Groenigen, J. W. The way forward in biochar research: targeting trade-offs between the potential wins. *Global Change Biology Bioenergy* **2015**, *7*, 1. [CrossRef]
- ¹⁴ Jiang, X.; Haddix, M. L.; Cotrufo, M. F. Interactions between biochar and soil organic carbon decomposition: Effects of nitrogen and low molecular weight carbon compound addition. *Soil Biology and Biochemistry* **2016**, *100*, 92. [CrossRef]
- ¹⁵ Dias, C. M. F.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Coimbra, 2014. [Link]
- ¹⁶ Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; de Moraes, G.; Leonardo, J.; Sparovek, G. Köppen's. Climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* **2013**, *22*, 711. [CrossRef]
- ¹⁷ Swami, S. N.; Steiner, C.; Teixeira, W. G.; Lehmann, J.; *Charcoal Making in the Brazilian Amazon: Economic Aspects of Production and Carbon Conversion Efficiencies of Kilns*, W. I., Teixeira, W. G., Lehmann, J., Steiner, C., WinklerPrins, A., & Rebellato, L., eds.; Berlin: Springer, 2008, cap. 23.
- ¹⁸ Nelson, D. W.; Sommers L. E.; *Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter*, Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H. eds.; Madison, 1996, cap. 33.
- ¹⁹ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Brasília, 1999, 370pp.

- ²⁰ Singh, B. P.; Cowie, A. L.; Smernik, R. J. Biochar carbon stability in a clayey soil as a function of feedstock and pyrolysis temperature. *Environmental Science & Technology* **2012**, *46*, 11770. [[CrossRef](#)]
- ²¹ Fang, Y.; Singh, B.; Singh, B. P.; Krull, E. Biochar carbon stability in four contrasting soils. *European Journal of Soil Science* **2014**, *65*, 60. [[CrossRef](#)]
- ²² Singh, B. P.; Cowie, A. L. Long-term influence of biochar on native organic carbon mineralisation in a low-carbon clayey soil. *Scientific Reports* **2014**, *4*, 3687. [[CrossRef](#)]
- ²³ Yang, F.; Zhao, L.; Gao, B.; Xu, X.; Cao, X. The interfacial behavior between biochar and soil minerals and its effect on biochar stability. *Environmental Science & Technology* **2016**, *50*, 2264. [[Link](#)]
- ²⁴ Yao, Q.; Liu, J.; Yu, Z.; Li, Y.; Jin, J.; Liu, X.; Wang, G. Changes of bacterial community compositions after three years of biochar application in a black soil of northeast China. *Applied Soil Ecology* **2017**, *113*, 11. [[CrossRef](#)]
- ²⁵ Lehmann, J.; Gaunt, J.; Rondon, M. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems - a review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* **2006**, *11*, 395. [[CrossRef](#)]
- ²⁶ Novak, J. M.; Busscher, W. J.; Laird, D. L.; Ahmedna, M.; Watts, d. W.; Niandou, A. S. Impact of Biochar Amendment on Fertility of a Southeastern Coastal Plain Soil. *Soil Science* **2009**, *174*, 105. [[CrossRef](#)]
- ²⁷ Petter, F. A.; Madari, B. E. Biochar: Agronomic and environmental potential in Brazilian savannah soils. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* **2012**, *16*, 761. [[CrossRef](#)]
- ²⁸ Lima, L. B.; *Tese De doutorado*, Universidade Federal de Goiás Goiânia, 2014. [[Link](#)]
- ²⁹ Verheijen, F.; Jeffery, S. L.; Bastos, A. C.; Van Der Velde, M.; Diafas, I. Biochar Application to Soils. A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions. *Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability* **2010**, *144*, 175. [[CrossRef](#)]
- ³⁰ Madari, B. E.; Costa, A. R.; Castro, L. M.; Santos, J. L. S.; Benites, V. M.; Rocha, A. O.; Machado, P. L. O. A. Carvão vegetal como condicionador de solo para arroz de terras altas (cultivar Primavera): um estudo prospectivo. *Embrapa Arroz e Feijão* **2006**, comunicado técnico. [[Link](#)]
- ³¹ Petter, F. A.; *Tese de Doutorado*, Universidade Federal de Goiás, 2010. [[Link](#)]
- ³² Gao, S.; Hoffman-Krull, K.; Bidwell, A. L.; DeLuca, T. H. Locally produced wood biochar increases nutrient retention and availability in agricultural soils of the San Juan Islands, USA. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **2016**, *233*, 43. [[CrossRef](#)]
- ³³ Mangrich, A. S.; Maia, C. M. B. F.; Novotny, E. H. Biocarvão: As terras pretas de índios e o sequestro de carbono. *Ciência Hoje* **2011**, *47*, 48. [[Link](#)]
- ³⁴ Lehmann, J.; Joseph, S.; *Biochar for environmental management: science, technology and implementation*, 2a. Ed.; Routledge, 2015.
- ³⁵ Bai, S. H.; Reverchon, F.; Xu, C. Y.; Xu, Z.; Blumfield, T. J.; Zhao, H.; Van Zwieten, L.; Wallace, H. M. Wood biochar increases nitrogen retention in field settings mainly through abiotic processes. *Soil Biology & Biochemistry* **2015**, *90*, 232. [[CrossRef](#)]
- ³⁶ Zhao, R.; Coles, N.; Wu, J. Carbon mineralization following additions of fresh and aged biochar to an infertile soil. *Catena* **2015**, *125*, 183. [[CrossRef](#)]
- ³⁷ Hosseini Bai, S.; Xu, C. Y.; Xu, Z. H.; Blumfield, T. J.; Wallace, H. M.; Walton, D. A.; Randall, B. W.; Van Zwieten, L. Wood base biochar alters inorganic N. *Acta Horticulturae* **2016**, *1109*, 151. [[CrossRef](#)]
- ³⁸ Nóbrega, Í. P. C.; *Tese de Doutorado*, Universidade Técnica de Lisboa, 2011. [[Link](#)]
- ³⁹ Pratt, K.; Moran, D. Evaluating the cost-effectiveness of global biochar mitigation potential. *Biomass and Bioenergy* **2010**, *34*, 1149. [[Link](#)]
- ⁴⁰ Carvalho, M. T. M.; Madari, B. E.; Bastiaans, L.; Oort, P. A. J. V.; Heinemann, A. B.; Silva,

M. A. S.; Maia, A. H. N.; Meinke, H. Biochar improves soil fertility of a clay soil in the Brazilian Savannah: short term effects and impact on rice yield. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics* **2013**, *114*, 101. [\[Link\]](#)

⁴¹ Chan, K. Y.; Xu, Z. Biochar: nutrient properties and their enhancement; Lehmann, J.; Joseph, S. (Eds.), Biochar for Environmental Management. *Science and Technology* **2009**, *1*, 67.

⁴² Kuzyakov, Y.; Friedel, J. K.; Stahr, K. Review of mechanisms and quantification of priming effects. *Soil Biology & Biochemistry* **2000**, *32*, 1485. [\[CrossRef\]](#)

⁴³ Sullivan, D. M.; Miller, R. O. Compost Quality Attributes, Measurements, and Variability, 1a. ed., Boca Raton: Florida, 2001.

⁴⁴ Zavalloni, C.; Alberti, G.; Biasiol, S.; Delle Vedove, G.; Fornasier, F.; Liu, J., Peressotti, A. Microbial mineralization of biochar and wheat straw mixture in soil: a short-term study. *Applied Soil Ecology* **2011**, *50*, 45. [\[CrossRef\]](#)

⁴⁵ Bruun, E. W.; Ambus, P.; Egsgaard, H.; Hauggaard-Nielsen, H. Effects of slow and fast pyrolysis biochar on soil C and N turnover dynamics. *Soil Biology & Biochemistry* **2012**, *46*, 73. [\[CrossRef\]](#)

⁴⁶ Xu, C. Y.; Bai, S. H.; Hao, Y.; Rachaputi, R. N.; Wang, H.; Xu, Z.; Wallace, H. Effect of biochar amendment on yield and photosynthesis of peanut on two types of soils. *Environmental Science and Pollution Research* **2015**, *22*, 6112. [\[CrossRef\]](#)