

Biocarvão e adubação fosfatada sob a fertilidade do solo e desenvolvimento inicial de mudas clonais de café conilon

Biochar and phosphate fertilization under soil fertility and initial development of conilon coffee clonal seedlings

Fertilización con biochar y fosfatos bajo fertilidad del suelo y desarrollo inicial de plántulas clonales de café conilón

Recebido: 03/11/2022 | Revisado: 20/11/2022 | Aceitado: 22/11/2022 | Publicado: 29/11/2022

Wylker Cruz de Castro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5512-739X>
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Brasil
E-mail: castro.wylker@hotmail.com

Luiz Dias Junior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3660-2252>
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Brasil
E-mail: diasjunior.luiz@gmail.com

Julyane Stephanie Pires Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1765-7290>
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Brasil
E-mail: julyane.florestal@gmail.com

Rafael Cunha dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9862-1136>
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Brasil
E-mail: rafaelsemagri@gmail.com

Thiago Moraes Pantoja e Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5092-1145>
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Brasil
E-mail: tmoraes121@gmail.com

Pablo Wenderson Ribeiro Coutinho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4945-3161>
Centro Universitário UniAmérica, Brasil
E-mail: pablowenderson@hotmail.com

Danielle Monteiro de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6005-337X>
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Brasil
E-mail: danielle.monteiro@inpa.gov.br

Cesar Augusto Ticona-Benavente

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3636-2324>
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Brasil
E-mail: cesar.benavente@gmail.com

Newton Paulo de Souza Falcão

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5579-0861>
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Brasil
E-mail: newton.falcao2@gmail.com

Resumo

A associação entre fontes orgânicas, como é o caso do biocarvão, com adubação fosfatada, melhoram e eficiência do P, reduzindo a adsorção do mesmo. Neste trabalho, objetivou-se determinar a influência do biocarvão e fósforo na fertilidade do solo, na nutrição e no crescimento vegetativo de mudas de café conilon. O experimento foi conduzido em ensaio fatorial (2x2x3). Sendo o fator A: dois clones de café conilon (C - 120 e C - 199); fator B: duas doses de biocarvão (0 e 40 t ha⁻¹) e o fator C: duas fontes de fósforo (superfosfato simples-SFS e superfosfato triplo-SFT) e um tratamento controle sem biocarvão e sem adubação com P. O delineamento inteiramente casualizado (DIC) foi adotado, com doze tratamentos e oito repetições, sendo cada unidade experimental composta de um vaso de 5L com uma muda. O trabalho foi conduzido em casa de vegetação com irrigação manual diária. Foram avaliadas mensalmente: altura das mudas, diâmetro do coleto e número de folhas. Após 6 meses foi avaliada a produção de matéria seca da parte aérea e das raízes. Com esses dados foram calculados: ganho foliar, ganho absoluto em altura, ganho absoluto em diâmetro, taxa de crescimento em altura, taxa de crescimento do diâmetro e matéria seca total. Para avaliar a nutrição das plantas foram determinados os teores de macronutrientes presentes nas folhas, para avaliar a fertilidade do solo foram determinados

os teores de macronutrientes e a partir desses dados calculou-se a soma de bases trocáveis, CTC efetiva e a saturação por bases. O superfosfato simples (SFS) é o fertilizante fosfatado mais eficiente para produzir mudas de café conilon quando utilizada a dose de 250 kg ha⁻¹ de P₂O₅. A aplicação do SFS proporcionou os maiores incrementos na altura da planta e na área foliar, o mesmo efeito foi observado nos nutrientes foliares. O biocarvão tem efeitos específicos sobre alguns nutrientes do solo aumentando os teores de N, Mg e diminuindo a acidez potencial no solo. E também foi observado um aumento no teor de nitrogênio na planta, porém não influenciou o crescimento da muda. Houve efeito sinérgico do biocarvão-SFS e biocarvão-SFT para aumentar os teores de cálcio, magnésio, potássio, nitrogênio, e consequentemente, tem a capacidade de elevar a soma das bases, CTC efetiva e saturação por bases. O genótipo mais adequado para produzir mudas em casa de vegetação em Manaus foi o clone BRS Ouro Preto C-120.

Palavras-chave: Nutrição de plantas; Cafeicultura; Biomassa.

Abstract

The association between organic sources, such as biochar, with phosphate fertilization, improves the efficiency of P, reducing its adsorption. This work aimed to determine the influence of biochar and phosphorus on soil fertility, nutrition and vegetative growth of conilon coffee seedlings. The experiment was conducted in a factorial assay (2x2x3). Being factor A: two conilon coffee clones (C - 120 and C - 199); factor B: two doses of biochar (0 and 40 t ha⁻¹) and factor C: two sources of phosphorus (single superphosphate-SFS and triple superphosphate-SFT) and a control treatment without biochar and without P fertilization. Completely randomized design (DIC) was adopted, with twelve treatments and eight replications, each experimental unit consisting of a 5L pot with a seedling. The work was carried out in a greenhouse with daily manual irrigation. The following were evaluated monthly: seedling height, stem diameter and number of leaves. After 6 months, shoot and root dry matter production was evaluated. With these data, leaf gain, absolute gain in height, absolute gain in diameter, rate of growth in height, rate of diameter growth and total dry matter were calculated. To evaluate the nutrition of the plants, the levels of macronutrients present in the leaves were determined, to evaluate the fertility of the soil, the levels of macronutrients were determined and from these data the sum of exchangeable bases, effective CEC and base saturation were calculated. Simple superphosphate (SFS) is the most efficient phosphate fertilizer to produce conilon coffee seedlings when a dose of 250 kg ha⁻¹ of P₂O₅ is used. The application of SFS provided the greatest increments in plant height and leaf area, the same effect was observed in leaf nutrients. Biochar has specific effects on some soil nutrients by increasing N and Mg levels and decreasing potential acidity in the soil. And an increase in the nitrogen content in the plant was also observed, but it did not influence the growth of the seedling. There was a synergistic effect of biochar-SFS and biochar-SFT to increase the levels of calcium, magnesium, potassium, nitrogen, and consequently, it has the ability to increase the sum of bases, effective CTC and base saturation. The most suitable genotype to produce seedlings in a greenhouse in Manaus was the clone BRS Ouro Preto C-120.

Keywords: Plant nutrition; Coffee crop; Biomass.

Resumen

La asociación de fuentes orgánicas, como el biochar, con la fertilización fosfatada, mejora la eficiencia del P, reduciendo su adsorción. Este trabajo tuvo como objetivo determinar la influencia del biocarbón y el fósforo en la fertilidad del suelo, la nutrición y el crecimiento vegetativo de plántulas de café conilon. El experimento se realizó en un ensayo factorial (2x2x3). Siendo factor A: dos clones de café conilon (C - 120 y C - 199); factor B: dos dosis de biocarbón (0 y 40 t ha⁻¹) y factor C: dos fuentes de fósforo (superfosfato simple-SFS y superfosfato triple-SFT) y un tratamiento testigo sin biocarbón y sin fertilización con P. Diseño completamente al azar (DIC), con doce tratamientos y ocho repeticiones, siendo cada unidad experimental una maceta de 5L con una plántula. El trabajo se realizó en un invernadero con riego manual diario. Mensualmente se evaluaron: altura de plántula, diámetro de tallo y número de hojas. Después de 6 meses, se evaluó la producción de materia seca de brotes y raíces. Con estos datos se calculó ganancia foliar, ganancia absoluta en altura, ganancia absoluta en diámetro, tasa de crecimiento en altura, tasa de crecimiento en diámetro y materia seca total. Para evaluar la nutrición de las plantas se determinaron los niveles de macronutrientes presentes en las hojas, para evaluar la fertilidad del suelo se determinaron los niveles de macronutrientes y a partir de estos datos se calculó la suma de bases intercambiables, CIC efectiva y saturación de bases. El superfosfato simple (SFS) es el fertilizante fosfatado más eficiente para producir plántulas de café conilon cuando se utiliza una dosis de 250 kg ha⁻¹ de P₂O₅. La aplicación de SFS proporcionó los mayores incrementos en altura de planta y área foliar, el mismo efecto se observó en los nutrientes foliares. El biocarbón tiene efectos específicos sobre algunos nutrientes del suelo al aumentar los niveles de N y Mg y disminuir la acidez potencial del suelo. Y también se observó un aumento en el contenido de nitrógeno en la planta, pero no influyó en el crecimiento de la plántula. Hubo un efecto sinérgico de biochar-SFS y biochar-SFT para aumentar los niveles de calcio, magnesio, potasio, nitrógeno y, en consecuencia, tiene la capacidad de aumentar la suma de bases, CTC efectivo y saturación de bases. El genotipo más adecuado para producir plántulas en invernadero en Manaus fue el clon BRS Ouro Preto C-120.

Palabras clave: Nutrición vegetal; Cultivo de café; Biomasa.

1. Introdução

As principais classes de solos amazônicos são os Latossolos e Argissolos. Estes apresentam elevados teores de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, baixa capacidade de troca de cátions, acidez elevada, baixos teores de bases trocáveis (Ca, Mg, K e Na) e fósforo disponível. Por isso, para cultivar café na Amazônia é imprescindível incorporar no solo aditivos que melhorem a fertilidade do solo.

Uma forma prática de aumentar a fertilidade do solo é incorporando matéria orgânica como o biocarvão (BC). Tem-se demonstrado que ele pode aumentar o pH, reter nutrientes, e disponibilizá-los para a planta (Lehmann & Joseph 2009). O BC é produzido a partir da conversão termoquímica de biomassa vegetal ou animal, com suprimento limitado de oxigênio sobre temperaturas em torno de 500°C (Lehmann & Joseph, 2009). Sua estrutura é porosa com capacidade de neutralizar a superfície dos argilominerais responsáveis pela adsorção de nutrientes (Sigua et al., 2016; Andrade et al., 2016).

Apesar dessas propriedades do BC é necessário tanto ajustar sua dose como dos nutrientes, de forma que não exista efeito antagônico entre ambos. No estudo de Lusiba et al. (2017), foi observado que o tratamento que combinava BC (5 t ha⁻¹) com P (90 t ha⁻¹) apresentou os maiores ganhos de matéria seca em plântulas de grão-de-bico. Além disso, o uso do biocarvão combinado com fertilizantes nitrogenados também se mostrou eficiente quanto ao ganho de matéria seca de arroz, onde o tratamento com as doses 6 t ha⁻¹ de BC e 30 t ha⁻¹ de N tiveram os maiores rendimentos (Oladele et al., 2019). Corroborando com estes estudos, Widowati e Asnah (2014) observaram que o BC (30 t ha⁻¹) combinado ao KCl (50 t ha⁻¹) proporcionou o maior ganho de matéria seca do milho quando comparado ao tratamento controle.

Para o cafeeiro canéfora (*Coffea canephora*) são escassos os estudos sobre o efeito do BC na produção de mudas. No entanto, estudos com mudas de outras espécies vem mostrando um efeito positivo no crescimento e no ganho de matéria seca, tais como angico (Lima et al., 2016), teca (Rezende et al., 2016) e castanha-do-Brasil (Damaceno, 2016).

A produção de mudas saudáveis e vigorosas é um requisito indispensável para a implantação de lavouras de café. Desta forma, este trabalho testou os efeitos do biocarvão, fontes fosfatadas e do genótipo. Sendo avaliado a interação desses três fatores na fertilidade do solo, na nutrição da planta e no crescimento das mudas.

2. Metodologia

O experimento foi conduzido de abril a setembro de 2019, em uma casa de vegetação localizada no Campus III, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), (3°5'29" S e 59°59'37" W), Manaus – AM. De acordo com a classificação de Köppen o clima de Manaus é classificado em Af (Tropical úmido) com temperatura média anual de 27,4 °C (Alvares et al., 2013).

O experimento foi conduzido em vasos de 5L preenchidos com solo, sendo este coletado da camada de 0 a 20 cm de profundidade de uma área de capoeira, com aproximadamente 30 anos de idade, na Estação Experimental de Fruticultura Tropical, do INPA, a Km 45 de Manaus. O solo da área foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico (Santos et al., 2018). As características físicas e químicas desse solo são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades químicas e físicas do Latossolo Amarelo distrófico coletado da Estação Experimental de Fruticultura Tropical/INPA a 45 km de Manaus. 2019.

pH	K	Ca	Mg	Al	P	Fe	Zn	Mn
-- H ₂ O --	----- cmol _c dm ⁻³ -----				----- mg dm ⁻³ -----			
3,57	0,1	0,73	0,25	0,70	3,95	255,34	2,59	3,5
H+Al	T	T	V	m	Argila	Silte	Areia	
----- cmol _c dm ⁻³ -----	----- % -----		----- g dm ⁻³ -----					
5,57	2,64	1,78	39,3	16,2	418	432	150	

H+Al: acidez Potencial; T: capacidade de troca de cátions potencial; t: capacidade de troca de cátions efetiva; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio. Fonte: Autores.

O biocarvão foi obtido da termelétrica 'BK Energia', a qual está localizada no município de Itacoatiara - AM, a 270 km de Manaus. Amostras deste BC foram caracterizadas quimicamente (Tabela 2).

Tabela 2 - Propriedades químicas do biocarvão da Termoelétrica BK Energia. Itacoatiara-AM. 2019.

pH	N	P	K	Ca	Mg	S
H ₂ O	----- g/kg ⁻¹ -----					
8,8	0,12	0,6	0,11	26,8	7,0	1,4
	Fe	Zn	Mn	Cu	B	
	----- mg/kg ⁻¹ -----					
	8521,5	13,4	250,0	9,0	41,0	

Fonte: Autores.

Mudas de dois genótipos de café conilon foram adquiridas na Associação Solidariedade Amazonas (ASA), localizada no município de Silves - AM (2°50'07" S e 58°13'03" W). Os genótipos foram os clones BRS Ouro Preto C-120 e C-199. Essas mudas tinham quatro meses, com altura média de 20 cm, diâmetro de coleto de 3,0 mm, quatro folhas completamente expandidas e um ramo ortotrópico. Para o experimento se selecionaram apenas aquelas que não tinham doenças, que eram mais vigorosas e que eram de tamanho semelhante.

Para simular o desenvolvimento inicial do cafeeiro do transplante ao nível de campo, o experimento foi conduzido em ensaio fatorial (2x2x3) sendo o fator A: dois clones BRS (C-120 e C-199); fator B: biocarvão (0 e 20 t ha⁻¹) e o fator C: duas fontes de fósforo (superfosfato simples-SFS; superfosfato triplo-SFT), aplicadas numa quantidade equivalente a 250 kg de P₂O₅ ha⁻¹, e mais um tratamento controle sem P. O delineamento adotado foi inteiramente casualizado (DIC), com doze tratamentos e oito repetições.

O experimento teve duração de seis meses em casa de vegetação, sendo realizadas avaliações biométricas mensais e após a retirada das mudas foram realizadas as análises químicas de tecido vegetal e dos atributos químicos do solo.

As avaliações biométricas foram realizadas aos 0, 30, 60, 90, 120 e 150 dias após o transplante. Durante esse período, foram avaliadas o número de folhas expandidas, a altura das mudas (do colo até a gema apical) e o diâmetro do caule (a 3,0 cm do nível do solo) utilizando um paquímetro digital STARRET® (0 - 150 mm).

A partir dos resultados mensais, calculou-se o ganho foliar (GF) (Equação 1), ganho absoluto em altura e diâmetro (GAA e GAD) (Equação 2), taxa de crescimento absoluto em altura e diâmetro (TCAA e TCAD) (equação 3), conforme metodologia de Davanso *et al.* (2002).

No nono mês, as raízes e a parte aérea das plantas foram secadas separadamente em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C por 48 horas. Posteriormente, as matérias secas foram pesadas. Sendo a matéria seca total (MST) obtida a partir da soma da matéria seca das raízes (MSR) e matéria seca da parte aérea (MSPA).

Posteriormente, as folhas que apresentavam aspectos fitossanitários saudáveis foram selecionadas para análise, sendo secadas e trituradas. Em seguida, foi pesado 0,25 g das folhas trituradas para realizar a digestão nitro-perclórica em temperatura crescente de 50 °C por 30 minutos até alcançar 210 °C (Embrapa, 1979). Desse extrato foi realizada a determinação do P através da espectrofotometria a 725 nm e para o K a determinação foi feita através da espectrofotometria de absorção atômica (Embrapa, 1999). Para a determinação a concentração de N, pesou-se 0,1g do material triturado, submetendo-o a pré-digestão durante 12 horas, posteriormente esse material foi submetido a digestão sulfúrica ($H_2O_2 + H_2SO_4$) em temperatura gradativa até alcançar 350 °C. Posteriormente, determinou-se o N utilizando a metodologia de Kjeldahl, a partir de uma alíquota de 25 mL do extrato puro (Miyzawa et al., 1999).

Após a retirada das mudas, foram coletadas de cada unidade experimental cinco amostras simples (sub-amostras) de solo para compor uma amostra composta de aproximadamente 500 g (Malavolta 1992). Posteriormente, as amostras foram secas ao ar, peneiradas em malha de 2,0 mm. Foram determinados o pH, a acidez potencial ($H^+ Al^{3+}$), alumínio trocável (Al^{3+}) e macronutrientes (P, K, Ca e Mg).

O pH foi determinado por meio de eletrodo imerso em suspensão da solução na relação solo: água (1:2,5). A acidez potencial ($H + Al^{3+}$) foi extraída através do acetato de cálcio ($C_2H_3O_2Ca$) à 20,5 M e determinada por titulometria com hidróxido de sódio NaOH 0,025 M. O alumínio trocável (Al^{3+}), o Ca e o Mg foram extraídos através da solução de cloreto de potássio; (KCl) 1 M, sendo o Al^{3+} determinado por titulometria com NaOH, o Ca e Mg determinados por espectrofotometria de absorção atômica.

P foram extraídos com solução Mehlich 1 (HCl 0,05 M + H_2SO_4 0,0125 M), determinando-se o P pelo método azul de molibdato e por espectrofotometria ($\lambda=660$ nm) e o K por espectrofotometria de absorção atômica (Embrapa, 1999). O N total foi determinado pelo método de Kjeldahl (Embrapa, 1999) (Figura 4).

A partir dos dados obtidos nas análises de solo foram calculados a soma de bases (SB) (Equação 4), a capacidade de cátions efetiva (t) (Equação 5) e a saturação por bases (v%).

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de médias de Duncan com nível de significância de 5%. O programa estatístico utilizado foi o SAS 9.1.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC) procedimento PROC GLM.

3. Resultados e Discussão

Neste trabalho não foi observada interação significativa BC x P x Genótipo para todas as características morfológicas do café conilon. Indicando que a avaliação do efeito de cada fator deve ser feita isoladamente (Tabela 3).

Tabela 3 - Resumo da análise de variância (ANOVA) para os efeitos do biocarvão (BC), fósforo (P), genótipo e a interação destes nos parâmetros biométricos.

FATOR	GL	QUADRADO MÉDIO							
		GF	GAA	GAD	TCAA	TCAD	MSR	MSPA	MST
BC	1	5,04 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,66 ^{ns}	1,27 ^{ns}
P	2	36,64 ^{**}	35,50 ^{**}	0,66 ^{**}	0,99 ^{**}	0,02 ^{**}	1,22 ^{**}	9,71 ^{**}	17,37 ^{**}
G	1	26,04 ^{ns}	45,38 ^{**}	0,32 [*]	1,27 ^{**}	0,01 [*]	0,24 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,07 ^{ns}
BC*P	2	1,57 ^{ns}	5,19 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,21 ^{ns}	4,32 ^{ns}	6,40 ^{ns}
BC*G	1	0,16 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,20 ^{ns}	4,15 ^{ns}	6,20 ^{ns}
P*G	2	4,26 ^{ns}	0,98 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,03 ^{ns}	1,45 ^{ns}	1,96 ^{ns}
BC*P*G	2	5,32 ^{ns}	2,70 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,67 ^{ns}	1,92 ^{ns}
Erro		6,99	5,37	0,06	0,15	0,00	0,21	1,79	2,99
Total	10								
Média Geral		5,04	4,30	0,60	0,72	0,11	1,13	4,94	6,08
CV (%)		52,43	53,86	39,31	53,86	39,23	40,14	27,08	28,45

** e * significativo a 1 e 5% pelo teste de Duncan, respectivamente; ns: não significativo; BC: biocarvão; P: fósforo; BC x P: Interação biocarvão x fósforo; BC x G: biocarvão x genótipo; P x G: fósforo x genótipo; BC x P x G: biocarvão x fósforo x genótipo; CV: Coeficiente de Variação. Fonte: Autores.

O ganho de foliar (GF) em cinco meses apresentou diferença significativa apenas para o fator P. O teste de médias mostrou que o SFS teve o maior GF (54%) seguido do SFT (33%) durante os cinco meses (Tabela 4). Monteiro et al. (2018), identificaram que a ausência do fósforo nas mudas de café arábica reduz a produção de folhas. Fato com o qual concordam os resultados.

O ganho de foliar (GF) em cinco meses apresentou diferença significativa apenas para o fator P. O teste de médias mostrou que o SFS teve o maior GF (54%) seguido do SFT (33%) durante os cinco meses (Tabela 4). Monteiro et al. (2018), identificaram que a ausência do fósforo nas mudas de café arábica reduz a produção de folhas. Fato com o qual concordam os resultados.

O ganho de foliar (GF) em cinco meses apresentou diferença significativa apenas para o fator P. O teste de médias mostrou que o SFS teve o maior GF (54%) seguido do SFT (33%) durante os cinco meses (Tabela 4). Monteiro et al. (2018), identificaram que a ausência do fósforo nas mudas de café arábica reduz a produção de folhas. Fato com o qual concordam os resultados.

Tabela 4 - Médias do ganho foliar (GF), ganho absoluto em altura (GAA), ganho absoluto em diâmetro (GAD), taxa de crescimento absoluto em altura (TCAA), taxa de crescimento absoluto em diâmetro (TCAD), matéria seca das raízes (MSR), matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca total (MST).

Fatores	Níveis do fator	GF	GAA	GAD	TCAA	TCAD	MSR	MSPA	MST
		un.	cm	mm	cm/mês	mm/mês	-----g-----		
Biocarvão	0 t ha	4,81 a	4,24 a	0,67 a	0,73 a	0,11 a	1,17 a	4,86 a	6,19 a
	40 t ha	5,27 a	4,37 a	0,58 a	0,71 a	0,10 a	1,10 a	5,03 a	5,96 a
Fontes de P	SFS	6,03 a	5,37 a	0,75 a	0,90 a	0,13 a	1,25 a	5,44 a	6,69 a
	SFT	5,19 ab	4,29 ab	0,66 a	0,71 ab	0,11 a	1,25 a	5,04 a	6,29 a
	Sem P	3,91 b	3,26 b	0,47 b	0,54 b	0,08 b	0,91 b	4,35 b	5,26 b
Genótipo	C-199	4,52 a	3,62 b	0,57 b	0,60 b	0,10 b	1,08 a	4,92 a	6,00a
	C-120	5,56 a	4,99 a	0,68 a	0,83 a	0,12 a	1,18 a	4,97 a	6,15 a
CV (%)		52,43	53,86	39,31	53,86	39,23	40,14	27,08	28,45

¹medias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem estatisticamente entre si. Fonte: Autores.

O crescimento das plantas está diretamente ligado à produção e distribuição de fotoassimilados nos diversos órgãos dreno (Goldschmidt & Huber, 1992). Nas fases iniciais do vegetal ocorre um balanço positivo dos fotoassimilados, em que as folhas fotossinteticamente ativas são as fontes e parte dos fotoassimilados são usados pelas próprias folhas para manutenção da atividade fisiológica (Peluzio et al., 1999). As folhas têm como função de fornecer fotoassimilados para suportar os drenos (inflorescência, frutos, ápice caulinar e sistema radicular) (Wien, 1997).

O ganho de altura (GAA), o crescimento absoluto do diâmetro do coleto (GAD), a taxa de crescimento absoluto em altura (TCAA) e a taxa de crescimento absoluto em diâmetro (TCAD) apresentaram diferença significativa para os fatores P e genótipo (Tabela 4).

O teste de médias mostrou que o SFS teve o maior GAA (65%) que o SFT (32%). Esse aumento pode ser explicado pelo aumento do GF, que produz mais fotoassimilados. O genótipo também influenciou o GAA. O genótipo BRS Ouro Preto clone 120 (C-120) teve um ganho de altura de 38% sobre o clone 199 (C-199). Esse aumento demonstra que ele é melhor adaptado às condições de casa de vegetação em Manaus. Para Fernandes e Muraoka (2002), C-120 estaria mais adaptado a solos com baixa fertilidade, isso ocorre porque existe variabilidade genética entre esses clones apesar de serem da mesma espécie. Nas pesquisas de Martins et al. (2013) e Silva et al. (2019), foi observado que o crescimento vegetativo de mudas clonais de café conilon e de eucalipto, respectivamente, apresentavam comportamento diferenciado sob as mesmas condições de fertilidade do solo.

O GAD foi maior para o SFS (60%) que para o SFT (41%) (Tabela 4). Assim também, C-120 se mostrou novamente o mais adaptado às condições edafoclimáticas de Manaus, tendo 12% de GAD a mais que C-199. A TCAA mostra a taxa de crescimento em altura do caule por mês. Observou-se que o tratamento com SFS teve a maior taxa (66%) que o tratamento com SFT (31%). Por sua parte, o genótipo que apresentou a maior TCAA foi o clone C-120 (12%). Ramalho et al. (2014), afirmam que os clones C-120 e C-199 são altamente produtivos e também são exigentes quanto às condições ambientais como a adubação química. Portanto, nas condições testadas se observa que o C-120 tem melhor desenvolvimento.

A TCAD indica a taxa de crescimento do diâmetro do caule por dia. Por esta característica, observou-se que o uso de SFS teve as maiores taxas (63%) que o SFT (37%) (Tabela 4). Em relação ao efeito do genótipo, observou-se que o clone C-120 teve a maior taxa, demonstrando assim, o efeito do genótipo no café conilon. Para as características de matéria seca das raízes (MSR), matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca total (MST), não foi observado interação entre os fatores estudados, de forma que os fatores foram estudados isoladamente. Apresentando para as três variáveis diferença significativa apenas para o

fator P (Tabela 4). Martins et al. (2013), já haviam demonstrado que os clones de café conilon reagem de maneiras distintas à adubação fosfatada e dependem da quantidade de P₂O₅ fornecida.

3.1 Teor de nutrientes nas plantas

Para os aspectos nutricionais das mudas de café conilon, não foi observado interação significativa para o BC x P x Genótipo, desta forma os fatores foram estudados com interação entre dois fatores e isoladamente. Apresentando interação significativa de P x Genótipo para o teor de P na parte aérea. As demais características foram estudadas isoladamente (Tabela 5).

Tabela 5 - Resumo da análise de variância (ANOVA) para os efeitos de biocarvão (BC), do Fósforo (P), do Genótipo e a interação destes nos aspectos nutricionais das mudas de café conilon.

FATOR	GL	QUADRADO MÉDIO		
		N	P	K
BC	1	44,04*	0,06 ^{ns}	0,15 ^{ns}
P	2	5,70 ^{ns}	23,84**	1,65*
G	1	73,61*	1,24**	0,31 ^{ns}
BC*P	2	30,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,18 ^{ns}
BC*G	1	0,71 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,09 ^{ns}
P*G	2	20,94 ^{ns}	0,72**	0,91 ^{ns}
BC*P*G	2	0,78 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,79 ^{ns}
Erro		10,63	0,07	0,52
Total	10			
Média Geral		21,01	1,19	5,73
CV (%)		14,92	23,12	12,66

** e * significativo a 1 e 5% pelo teste de Duncan, respectivamente; ns: não significativo; BC: biocarvão; P: fósforo; BC x P: Interação biocarvão x fósforo; BC x G: biocarvão x genótipo; P x G: fósforo x genótipo; BC x P x G: biocarvão x fósforo x genótipo; CV: Coeficiente de Variação. Fonte: Autores.

Para Prezzot et al (2007), a faixa ideal de P nas folhas das mudas de cafeeiro deve estar entre 1,2 a 1,6 g kg⁻¹, neste estudo observou-se que apenas os tratamentos controle não estavam dentro dessa faixa (Tabela 6). O teor de P no tecido foliar apresentou maiores taxas quando utilizado o SFS e esse acréscimo foi de 885% para o clone 199 e 641% para o clone 120, quando comparados aos controles, é possível que o enxofre presente no SFS tenha proporcionado este aumento, pois para Malavolta (2006), esse elemento é responsável por processos metabólicos e pela produção de proteínas, e consequentemente esses fatores contribuem para o desenvolvimento do vegetal. O mesmo resultado foi observado em trabalhos com a espécie florestal jatobá-do-cerrado por Soares et al. (2013) e Alves et al. (2015). Quando se verifica o teor de P foliar entre os genótipos, pode ser observado que o clone 199 combinado adubado com SFS apresentou o maior teor de P na sua concentração. Porém, quando se observa os parâmetros morfológicos, o clone 120 é o que apresenta os maiores ganhos morfométricos (Tabela 6), o que indica que esse clone metaboliza mais rápido o nutriente e consequentemente, a planta também se desenvolve mais rápido.

Tabela 6 - Teores de fósforo (P) na parte aérea de dois genótipos de café conilon sobre a influência do biocarvão e fontes de P.

G x P	P na planta (g/kg ⁻¹)	
	C-120	C-199
SFS	1,63 aB	2,21 aA
SFT	1,38 bA	1,45 bA
Sem P	0,22 cA	0,25 cA
CV (%)	23,12	

¹medias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si. Fonte: Autores.

A concentração de N no tratamento em que não houve incremento de biocarvão foi superior ao tratamento que recebeu. Este resultado difere dos estudos realizados por Sousa e Figueiredo (2015) e Silva et al. (2017), em que os tratamentos com biocarvão incorporado ao solo proporcionaram o aumento nos teores de N sendo superiores ao tratamento controle. No entanto, para Schulz (2014), quando são aplicadas quantidades baixas de biocarvão é possível que não ocorra efeito significativo devido à baixa disponibilidade de nutrientes do material.

Para o teor de K no tecido foliar foi verificado efeito apenas nas fontes de P, onde observou-se o maior teor deste nutriente quando aplicado o SFT (Tabela 7). Pode ser observado que os tratamentos que receberam a adição de P foram os que tiveram maior incremento da matéria seca radicular (Tabela 3). Esse efeito foi observado por Fageria e Moreira (2011), onde as plantas que receberam a aplicação de P tiveram maiores incrementos no desenvolvimento radicular e absorveram os nutrientes com maior velocidade. Para Kerbauy (2013), o P atua na formação de raízes e que as novas raízes têm a capacidade de alcançar e absorver os nutrientes antes que ocorra a sua depleção.

A absorção do K ocorre através do processo de difusão que consiste na movimentação do íon em curta distância, onde o K entra em contato com a raiz passando de uma região com maior concentração para um de menor concentração (Taiz & Zeiger, 1999). Esse nutriente atua no balanço iônico das células vegetais, na ativação enzimática, no controle osmótico, na respiração celular, na síntese de carboidratos e proteínas que são importantes para fotossíntese (Kinpara, 2003).

Tabela 7 - Teores de Nitrogênio (N) e Potássio (K) na parte aérea de dois genótipos de café conilon sobre a influência do biocarvão e fontes de P.

Fator	Níveis do fator	g kg ⁻¹	
		N	K
Biocarvão	0 t ha ⁻¹	33,41 a	15,64 a
	40 t ha ⁻¹	32,05 b	15,43 a
Fontes de P	SFS	33,17 a	12,73 b
	SFT	32,68 a	22,85 a
	Sem P	32,34 a	11,03 c
Genótipo	C-120	31,86 b	15,57 a
	C-199	33,60 a	15,57 a
CV (%)		9,96	18,57

¹medias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem estatisticamente entre si. Fonte: Autores.

3.2 Atributos químicos do solo

Para os atributos químicos do solo, foi observado interação significativa entre os três fatores para pH, Al, H+Al, Ca, Mg, N total, SB e v% (Tabela 8).

Tabela 8 - Resumo da análise de variância (ANOVA) para os efeitos de biocarvão (BC), do Fósforo (P), do Genótipo e a interação destes nos atributos químicos do solo.

FATOR	GL	QUADRADO MÉDIO										
		pH	N	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	v%
BC	1	0,13 ^{ns}	0,00 ^{ns}	488,2 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,11 ^{ns}	1,05 [*]	00 ^{ns}	25,39 ^{ns}
P	2	0,18 [*]	0,00 ^{ns}	1456373 ^{**}	0,01 [*]	1,77 ^{**}	0,16 ^{**}	0,10 [*]	1,29 ^{**}	0,82 [*]	2,54 ^{**}	0,99 ^{ns}
G	1	0,25 [*]	0,01 ^{ns}	1936,5 ^{**}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,10 ^{**}	0,26 ^{**}	1,41 ^{**}	3,08 ^{**}	10,06 ^{ns}	382,8 ^{**}
BCx P	2	0,10 [*]	0,01 [*]	410,2 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,67 ^{**}	0,15 ^{**}	0,11 [*]	1,03 ^{**}	0,57 [*]	0,01 ^{ns}	111,8 ^{**}
BC x G	1	0,55 ^{**}	0,04 ^{**}	1671,3 ^{**}	0,02 [*]	1,07 ^{**}	0,15 ^{**}	0,32 ^{**}	0,81 ^{**}	0,83 [*]	0,47 ^{ns}	11,10 ^{**}
P x G	2	0,78 ^{**}	0,01 ^{**}	516,5 ^{ns}	0,02 [*]	0,65 ^{**}	0,20 ^{**}	0,70 ^{**}	0,77 ^{**}	2,97 ^{**}	0,11 ^{ns}	76,00 ^{**}
BC x P x G	2	0,34 ^{**}	0,02 ^{**}	403,2 ^{ns}	0,00 ^{ns}	1,45 ^{**}	0,20 ^{**}	0,20 ^{**}	1,05 ^{**}	0,66 ^{**}	2,32 ^{**}	67,69 ^{**}
Erro		0,04	0,00	236,6	0,00	0,08	0,01	0,02	0,11	0,17	0,23	11,25
Total	10											
Média Geral		3,86	0,87	0,72	0,21	1,23	0,47	0,72	2,31	3,17	2,84	32,37
CV (%)		5,38	6,54	21,14	20,39	23,57	25,13	21,14	9,53	13,08	16,94	8,52

** e * significativo a 1 e 5% pelo teste de Duncan, respectivamente; ns: não significativo; BC: biocarvão; P: fósforo; BC x P: Interação biocarvão x fósforo; BC x G: biocarvão x genótipo; P x G: fósforo x genótipo; BC x P x G: biocarvão x fósforo x genótipo; CV: Coeficiente de Variação. Fonte: Autores.

O pH é um fator crucial para a fertilidade do solo, através dele é medida a acidez ativa que é representada pelos íons H⁺ na solução do solo. Além disso, é considerado um indicador de fertilidade, pois quando alterado afeta diretamente a disponibilidade do alumínio, macros e micronutrientes (Prezotti & Guarçoni, 2013). Para Malavolta (1993), o pH ideal para a cafeicultura no período produtivo deve estar na faixa entre 5,5 a 6,5. Resultado semelhante foi encontrado no estudo de Balbino (2016), com mudas clonais de café conilon, em que os tratamentos que tiveram o melhor desempenho foram os que se encontravam no intervalo de 5,65 a 6,3. Isso ocorre porque a elevação do pH proporciona o aumento dos teores de nutrientes essenciais para as plantas e também dos atributos do solo (SB, CTC e V%), e reduz a saturação de Al que pode ser considerada tóxica para as plantas (Abreu Junior et al., 2003).

Diferente do recomendado para a cafeicultura, o pH do solo deste estudo variou entre 3,53 e 4,19 com e sem a aplicação do biocarvão (Tabela 9). Sem a aplicação do biocarvão a maior média encontrada foi igual a 3,98, no entanto, as maiores médias foram observadas nos tratamentos com biocarvão chegando a 4,19. O aumento do pH já era esperado, pois o biocarvão tem em sua composição grupos funcionais carregados negativamente (-COO e -O) que se associam aos íons H⁺ e formam precipitados solúveis (Fidel et al. 2017). Esse aumento do pH causado pela incorporação do biocarvão no solo corrobora o estudo de Woiciechowsk et al. (2018), em que a aplicação do biocarvão (40 t ha⁻¹) elevou o pH do solo de 3,8 para 4,4. Para Martinsen (2015), a dose de biocarvão (30 t ha⁻¹) foi capaz de elevar o pH de 4,7 para 5,2.

Tabela 9 - Médias do potencial hidrogeniônico (pH), Alumínio trocável (Al), acidez potencial (H+Al), cálcio (Ca), magnésio (Mg), nitrogênio (N), soma das bases (SB) e saturação por bases (v%) sobre a influência das interações entre biocarvão, fontes de fósforo e genótipo.

Variáveis	Fatores	C-120			C-199			CV (%)
		Sem P	SFS	SFT	Sem P	SFS	SFT	
pH (H ₂ O)	BC - 0	3,68 bB α	3,74 bBB	3,98 aA α	3,82 aA α	3,76 bAB	3,53 aBB	3,86
	BC - 40	3,91 aA α	4,09 aA α	4,08 aA α	3,95 aAB α	4,19 aA α	3,61 aBB	
Al (cmol _c dm ⁻³)	BC - 0	0,87 bB α	0,83 bBB	0,59 aA α	0,99 aBB	0,80 bA α	0,79 aA α	21,14
	BC - 40	0,67 aA α	0,58 aA α	0,51 aA α	0,98 aBB	0,45 aAB	0,64 aA α	
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	BC - 0	5,71 bA α	5,93 aAB	5,18 aA α	5,67 bA α	6,13 bBB	6,23 aBB	9,53
	BC - 40	4,95 aA α	5,52 aB α	5,09 bA α	5,14 aA α	5,17 aA α	6,12 aBB	
Ca (cmol _c dm ⁻³)	BC - 0	0,96 aC α	1,10 bB α	1,25 aA α	0,76 bB α	1,30 bA α	0,74 bBB	23,53
	BC - 40	1,06 aBB	1,61 aA α	1,39 aA α	1,29 aB α	1,94 aA α	1,36 aB α	
Mg (cmol _c dm ⁻³)	BC - 0	0,47 bB α	0,28 bC α	0,60 aA α	0,26 bBB	0,28 bBB	0,45 bA α	25,13
	BC - 40	0,59 aA α	0,52 aA α	0,53 aAB	0,38 aBB	0,56 aA α	0,68 aA α	
N total (g/kg ⁻¹)	BC - 0	0,77 bBB	0,86 bA α	0,84 aA α	0,83 bA α	0,87 aA α	0,88 aA α	6,66
	BC - 40	0,90 aA α	0,92 aA α	0,89 aA α	0,92 aA α	0,89 aA α	0,89 aA α	
SB (cmol _c dm ⁻³)	BC - 0	1,65 aA α	1,56 bA α	2,05 aA α	1,17 aBB	1,77 bA α	1,42 bAB	13,08
	BC - 40	1,89 aA α	2,33 aA α	2,35 aA α	1,90 aB α	2,70 aA α	2,27 aA α	
t (cmol _c dm ⁻³)	BC - 0	2,52 aA α	2,38 bA α	2,64 aA α	2,17 bB α	2,57 bA α	2,20 bBB	16,94
	BC - 40	2,55 aA α	2,91 aA α	2,87 aA α	2,91 aA α	3,15 aA α	2,90 aA α	
V (%)	BC - 0	24,9 bB α	23,3 bB α	30,9 aA α	18,4 bBB	25,0 bA α	22,5 bAB	8,52
	BC - 40	30,2 aA α	31,9 aA α	31,0 aA α	27,0 aB α	36,4 aA α	33,0 aA α	

¹médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas, maiúscula na linha e letra grega entre genótipos não diferem estatisticamente entre si. ² Biocarvão 0 t ha⁻¹ (BC - 0) e Biocarvão 40 t ha⁻¹ (BC - 40). Fonte: Autores.

A aplicação do biocarvão no solo também alterou o teor de alumínio trocável (Al³⁺), havendo redução de até 45% (Tabela 9). Este atributo químico do solo quando encontrado em altos teores é considerado um fator limitante para o crescimento vegetal, pois causa a redução do crescimento radicular que, conseqüentemente, interfere na absorção, translocação e uso de nutrientes como o fósforo, cálcio e magnésio (Malavolta 2006). Outro efeito dos altos teores de alumínio é a formação de fosfatos insolúveis que são indisponíveis para os vegetais, sendo necessário a correção, por meio da calagem (Deluca et al. 2009). Para Woiciechowsk et al. (2018), os grupos funcionais do biocarvão se associaram aos íons H⁺ e isso, conseqüentemente, eleva o pH, pois favorece a formação de precipitados de Al(OH)₃, forma insolúvel e não tóxica para as plantas.

Para o teor de cálcio no solo, os tratamentos que combinavam o SFS e o biocarvão chegaram a ser aproximadamente 250% maior que o controle. Esse incremento pode estar relacionado ao conteúdo de cálcio presente nos fertilizantes fosfatados, onde o superfosfato triplo e o superfosfato simples têm em sua composição, 10 e 18% de Ca, respectivamente (Novais & Smyth, 1999). O mesmo efeito foi observado no trabalho de Ros et al. (2019), em que superfosfato simples elevou o teor de Ca no solo em 50%, quando aplicou-se a dose 200 t ha⁻¹. Já os tratamentos que houve apenas a aplicação do biocarvão foram superiores em cerca de 60% quando comparado ao tratamento controle. Woiciechowski et al. (2018), ao aplicar apenas biocarvão observaram resultados semelhantes em que a aplicação da dose 40 t ha⁻¹ de biocarvão apresentou ganho de 60% em relação ao tratamento controle, esse incremento ocorreu devido aos óxidos de cálcio que compõem as cinzas do biocarvão. É importante ressaltar que apenas os tratamentos que combinavam SFS e biocarvão estavam na faixa adequada para produção agrícola, sendo representada por valores acima de 1,6 cmol_c dm⁻³.

O teor de magnésio no solo quando aplicado biocarvão foi superior a 160% quando comparado ao tratamento controle (Tabela 9). Para Woiciechowski et al. (2018), esse aumento está relacionado aos cátions presentes nas cinzas do biocarvão, sendo estas compostas por óxidos (MgO, CaO, K₂O) que se dissociam e ficam disponíveis para as plantas de forma imediata (Sanchez

et al., 1983). Resultados semelhantes foram observados no estudo de El-Neggar et al. (2018), em que a aplicação do biocarvão proporcionou a elevação do teor de magnésio em 525%.

De acordo com as classes de interpretação de Brasil et al. (2020), os tratamentos em que houve a incorporação do biocarvão estão na faixa ideal para produção agrícola que varia entre 0,5 e 1,5 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. No entanto, a maioria dos tratamentos que não tiveram a aplicação do biocarvão estavam na faixa de baixa disponibilidade de Mg (abaixo de 0,5 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

O teor de nitrogênio teve aumento de até 14,4% nos tratamentos que receberam a aplicação de biocarvão (Tabela 9). No entanto, a disponibilidade desse nutriente se deu principalmente pela adubação nitrogenada, em seguida pela aplicação de biocarvão e pelas reservas do solo, sendo observado os maiores teores de nitrogênio nos tratamentos com biocarvão. Para Spokas et al. (2012), esse incremento foi proporcionado pelo biocarvão que tem a capacidade de reter nitrogênio através da sua natureza porosa e de sua grande área superficial que consequentemente aumentou a disponibilidade de N no solo e reduziu as suas perdas por lixiviação. Nos estudos de Guimarães et al. (2017) e Cui et al. (2017) foi observado o incremento no N total após a aplicação do biocarvão.

Consequência do aumento dos cátions básicos, os tratamentos que tiveram as maiores somas de base trocáveis ocorreram nos tratamentos que combinavam a adubação fosfatada e o biocarvão. Esse mesmo efeito foi observado na capacidade de troca catiônica efetiva (CTC efetiva - t), em que os tratamentos onde houve aplicação de biocarvão foram superiores em até 25% quando comparado ao tratamento controle (Tabela 9). O aumento da CTC efetiva pode estar relacionado a grande quantidade de sítios de cargas negativas, tais como o grupo carboxílico e o fenólico, presentes no biocarvão que apresenta o comportamento de um ânion e que consequentemente eleva a capacidade de troca iônica e podendo proporcionar o aumento da disponibilidade de nutrientes para as plantas (Novotny et al., 2009; Mukherjee et al., 2014). No estudo de Chintala et al. (2013), foi observado que em todos os tratamentos em que foi aplicado o biocarvão ocorreu a elevação da CTC independente da dose aplicada e ao aplicar a dose 156 t ha^{-1} o aumento chegou a 122% quando comparado ao tratamento controle.

Outro fator que propiciou o aumento da CTC efetiva (t) foi a adubação fosfatada, onde o tratamento com superfosfato triplo foi o mais eficiente, sendo 31% superior ao tratamento controle (Tabela 9). Esse aumento pode estar relacionado a adição de Ca provinda das fontes de fósforo utilizadas no estudo que chegam a ser composta por até 16% de Ca (Novais & Smyth 1999). No estudo de Freiburger et al. (2014), a adubação fosfatada também se mostrou eficiente no aumento da CTC ao utilizar diferentes doses de superfosfato triplo.

Também foram observadas interações significativas entre o BC x Genótipo para o teor de fósforo, Fósforo x Genótipo para teor de potássio (K), e Fósforo x BC para o teor de K (Tabela 10).

Tabela 10 - Médias do teor de fósforo no solo (P) sobre a influência das interações entre biocarvão, fontes de fósforo e genótipo.

Variáveis	Interação	Fator	C-120	C-199	CV
P (mg dm^{-3})	BC x G	0 t ha^{-1} BC	67,3 bA	62,9 aA	22,2
		40 t ha^{-1} BC	80,2 aA	66,7 aB	
	P x G	SFS	0,24 aA	0,20 abB	
SFT		0,21 abA	0,22 aA		
Sem P		0,19 bA	0,18 bA		
K ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	Interação	Fator	0 t ha^{-1} BC	40 t ha^{-1} BC	20,4
		SFS	0,21 aA	0,22 aA	
	BC x P	SFT	0,21 aA	0,24 aA	
		Sem P	0,17 aB	0,2 aA	

¹medias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si. Fonte: Autores.

Considerando os teores de P observados neste estudo, os mesmos podem ser considerados altos em relação aos teores encontrados nos solos amazônicos (Tabela 10). A incorporação do biocarvão causou aumento na disponibilidade P, sendo o tratamento com biocarvão superior 17,8% ao tratamento sem biocarvão, e este efeito foi observado nos valores dos parâmetros de crescimento em comparação com o solo não corrigido (Tabela 4). Para Shen et al. (2016), a diferença na resposta pode estar atribuída aos nutrientes adicionais fornecidos pelo biocarvão através das cinzas. O estudo de Lima et al. (2017) corrobora com os resultados encontrados, em que o biocarvão teve a capacidade de elevar o teor de P em 75% quando comparado ao tratamento controle, sendo utilizada a dose 20 t ha⁻¹ de biocarvão.

Os tratamentos com a incorporação de biocarvão tiveram um acréscimo de 12,5% no teor de K, mostrando assim a relevância desse material para a melhoria da fertilidade do solo (Tabela 10). Para Sohi et al. (2010) e Woiciechowski et al. (2018), o aumento desse nutriente ocorreu porque o biocarvão é composto em parte por cinzas, sendo fonte de vários nutrientes, entre eles o K que é encontrado mais solúvel e acessível às plantas. O estudo de Trazzi (2010) corrobora com essas informações, onde a adição de biocarvão (12 t ha⁻¹) elevou o teor de K no solo de 0,3 para 0,5 cmol_c dm⁻³. Os teores de K observados em todos os tratamentos deste estudo encontram-se na faixa considerada média para solos da Amazônia que varia entre (0,12 a 0,23 cmol_c dm⁻³) (Brasil et al. 2020).

4. Conclusão

Desta forma, este trabalho testou os efeitos do biocarvão, fontes fosfatadas e do genótipo. Sendo avaliado a interação desses três fatores na fertilidade do solo, na nutrição da planta e no crescimento das mudas.

Conclui-se que o superfosfato simples é o fertilizante fosfatado mais eficiente para produzir mudas de café conilon quando utilizada a dose de 250 kg ha⁻¹ de P₂O₅. A aplicação do SFS proporcionou os maiores incrementos na altura da planta e na área foliar, o mesmo efeito foi observado nos nutrientes foliares.

O biocarvão tem efeitos específicos sobre alguns nutrientes do solo aumentando os teores de N, Mg e diminuindo a acidez potencial. E também foi observado um aumento no teor de nitrogênio na planta, porém não influenciou o crescimento da muda.

Há efeito sinérgico do biocarvão-SFS e biocarvão-SFT para aumentar os teores de cálcio, magnésio, potássio, nitrogênio, e conseqüentemente, tem a capacidade de elevar a soma das bases, CTC efetiva e saturação por bases.

O genótipo mais adequado para produzir mudas em casa de vegetação em Manaus foi o clone BRS Ouro Preto C-120.

Novas pesquisas deverão ser conduzidas para avaliar diferentes doses que sejam abaixo de 250 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e doses biocarvão acima de 40 kg ha⁻¹ a fim de determinar a melhor combinação entre doses de biocarvão e fósforo.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura no Trópico Úmido do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pelo apoio no desenvolvimento desta pesquisa através do Programa Institucional de Apoio à Pós-Graduação Stricto Sensu (POSGRAD 2021). O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Referencias

- Abreu Júnior, C. H., Muraoka, T., & Lavorante, A. F. (2003). Relationship between acidity and chemical properties of Brazilian soils. *Scientia Agricola*, 60: 337-343.
- Alvares, C. A., Stape, J. I., Sentelhas, P. C., Moraes, Q., Leonardo, J., & Sparovek, Q. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22: 711-728.

- Alves, J.D.N. (2015). Fontes de fósforo no crescimento inicial de mudas de jatobá-d. *Nucleus*, 12: 1-13
- Andrade, C. A. D., Bibar, M. P. S., Coscione, A. R., Pires, A. M. M. & Soares, A. G. (2015). Mineralization and effects of poultry litter biochar on soil cation exchange capacity. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50: 407-416.
- Balbino, T. J. (2016). *Substratos alternativos para a produção de mudas clonais de Coffea canephora em tubete*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, Amazonas, 64p.
- Brasil, E. C., Cravo, M. S., & Viégas, I. J. M. (2020). *Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará*. (2ª Ed) Embrapa, Brasília, 419p.
- Chintala, R., Mollinedo, J., Schumacher, T. E., Malo, D. D., & Julson, J. L. (2013). Effect of biochar on chemical properties of acidic soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60: 393-404, [10.1080/03650340.2013.789870](https://doi.org/10.1080/03650340.2013.789870)
- Cui, L., Noerpel, M. R., Scheckelb, K. G., & Ippolito, J. A. (2017). Wheat straw biochar reduces environmental cadmium bioavailability. *Environment International*, 129: 69-75. doi.org/10.1016/j.envint.2019.02.022
- Damaceno, J. B. D., & Oliveira, D. M. (2016). Biocarvão: Um possível condicionador de fósforo em solos amazônicos. *Desarrollo Local Sostenible*, 9: 1-8.
- Davanso, V. M., Souza, L. A., Medri, M. E., Pimenta, A., & Bianchini, E. (2002). Photosynthesis, Growth and development of *Tabebuia ovelanadae* Lor. Ex Griseb. (*Bignoniaceae*) in flooded soil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 45: 375-384.
- Deluca, T. H., Mackenzie, M. D., & Gundale, M. J. (2009). Biochar effects on soil nutrient transformation. In: Lehmann, J., Joseph, S. (Ed.). *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. London: Earthscan, 251-270p.
- El-Naggar, A., Lee, S. S., Awad, Y. A., Yang, X., Ryu, C., Rizwan, M., Rinklebe, J., Tsang, D. C. W., & Ok, S. Y. (2018). Influence of soil properties and feedstocks on biochar potential for carbon mineralization and improvement of infertile soils. *Geoderma*, 332: 100-108.
- Embrapa (1979). *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília.
- Embrapa (1999). *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília.
- Fageria, N. K., & Moreira, A. (2011). *O papel da nutrição mineral no crescimento radicular de plantas de cultivo*. Avanços em Agronomia, Burlington: Academic Press, 331p.
- Fernandes, C., & Muraoka, T. (2002). Absorção de fósforo por híbridos de milho cultivados em solo de cerrado. *Scientia Agricola*, 59: 781-787.
- Fidel, R. B., Laird, D. A., Thompson, M. L., & Lawrinenko, M. (2017). Characterization and quantification of biochar alkalinity. *Chemosphere*, 167: 367-373. [10.1016/j.chemosphere.2016.09.151](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.09.151)
- Figueredo, N. A., Costa, L. M., Melo, L. C. A., Siebeneichler, E. A., & Tronto, J. (2017). Characterization of biochars from different sources and evaluation of release of nutrients and contaminants. *Revista Ciência Agronômica*, 48:395-403. [10.5935/1806-6690.20170046](https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170046)
- Freiberger, M. B., Guerrini, I. A., Castoldi, G., & Pivetta, L. G. (2014). Adubação fosfatada no crescimento inicial e na nutrição de mudas de pinhão-mansão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38: 232-239.
- Goldschmidt, E. E., & Huber, S. C. (1992). Regulation of photosynthesis by end-product accumulation in leaves of plants storing starch, sucrose, and hexose sugars. *Plant Physiology*, 99:1443-1448.
- Guimaraes, R.S., Padilha, F.J., Cedano, J.C.C., Damaceno, J.B.D., Werber, H., Gama, R.T., Oliveira, D.M., Teixeira, W., & Falcao, N.P.S. (2017). Efeito Residual de Biocarvão e Pó de Serra nos Teores de Carbono e Nitrogênio Total em Latossolo Amarelo na Amazônia. *Revista Virtual de Química*, 9: 1944-1956.
- Kerbaui, G. B. (2012). *Fisiologia vegetal*. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 431 p.
- Kinpara, D. I. (2003). *A importância estratégica do potássio para o Brasil*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 27p.
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2009). *Biochar for environmental management: science and technology*. Earthscan, London, 207-226p.
- Lima, I. S., Gonzaga, M. I. S., Almeida, A. Q., & Massaranduba, W. M. (2017). Lixiviação de íons em argissolo amarelo tratado com biocarvão de casca de coco seco e cultivado com girasol (*Helianthus annuus* L.). *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 11: 1956-1965.
- Lima, S. L., Marimon Junior, B. H., Melo-Santos, K. S., Reis, S. M., Petter, F. A., Vilar, C. C., & Marimon, B. S. (2016). Biochar no manejo de nitrogênio e fósforo para a produção de mudas de angico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51: 1-14. [10.1590/s0100-204x2016000200004](https://doi.org/10.1590/s0100-204x2016000200004)
- Lusiba, S., Odhiambo, J., & Ogola, J. (2017). Growth, yield and water use efficiency of chickpea (*Cicer arietinum*): response to biochar and phosphorus fertilizer application. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64: 1-14. [10.1080/03650340.2017.1407027](https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1407027)
- Malavolta, E., (2006). *Manual de nutrição de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres, 631p.
- Malavolta, E. (1993). "Calagem," in *Nutrição mineral e adubação do cafeeiro*. Editora Agronômica Ceres, São Paulo, 59p.
- Martins, L. D., Tomaz, M. A., Amaral, J. F. T., Christo, L. F., Rodrigues, W. N., Colodetti, T. V., & Brinati, S. V. B. (2013). Alterações morfológicas em clones de cafeeiro conilon submetidos a níveis de fósforo. *Scientia Plena*, 9: 1-10.
- Martinsen, V., Alling, V., Nurida, N. L., Mulder, J., Hale, S. E., Ritz, C., Rutherford, D. W., Heikens, A., Breedveld, G. D., & Cornelissen, G. (2015). pH effects of the addition of three biochars to acidic Indonesian mineral soils. *Soil Science and Plant Nutrition*, 61: 821-834. [10.1080/00380768.2015.1052985](https://doi.org/10.1080/00380768.2015.1052985)

- Miyazawa, M., Pavan, M. A., Muraoka, T., Carmo, C. A. F. S., & Melo, W. J. (1999). Análise química de tecidos vegetais. In: Silva, F.C. (Ed.). *Manual de Análise Química de Solos, Plantas e Fertilizantes*. EMBRAPA, Brasília, p. 172-223.
- Monteiro, R. S., Oliveira, V. E. A., Malta, A. O., Pereira, W. E., Silva, J. A., & Malta, A. O. (2018). Produção de mudas de cafeeiro em função da época e da adubação fosfatada. *Revista PesquisAgro*, Confresa-MT. 1: 29-38.
- Mukherjee, A., Lal, R., & Zimmerman, A. R. (2014). Effects of biochar and other amendments on the physical properties and greenhouse gas emissions of an artificially degraded soil. *Science of the Total Environment*, 487: 26–36.
- Novais, R. F., & Smyth, T. J. (1999). *Fósforo em solo e planta em condições tropicais*. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 399p.
- Novotny, E., Hayes, M. H. B., Madari, B. E., Bonagamba, T. J., Azevedo, E. R., Souza, A. A., Song, G., Nogueira, C. M., & Mangrich, A. S. (2009). Lessons from the Terra Preta de Índios of the Amazon Region for the utilization of charcoal for soil amendment. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 20: 1003-1010.
- Oladele, S., Adeyemo, A., Awodun, M., Ajayi, A., & Fasina, A. (2019). Effects of biochar and nitrogen fertilizer on soil physicochemical properties, nitrogen use efficiency and upland rice (*Oryza sativa*) yield grown on an Alfisol in Southwestern Nigeria. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0251-0>
- Peluzio, J. M., Casali, V. W., Lopes, N. F., Miranda, G. V., & Santos, G. R. (1999). Comportamento da fonte e do dreno em tomateiro após a poda apical acima do quarto cacho. *Ciência Agrotécnica*, 23: 510-514
- Prezotti, L. C., Gomes, J. A., Dadalto, G. G., & Oliveira, J. A. (2007). *Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo*. SEEA/INCAPER/ CEDAGRO, Vitória, 305p.
- Prezotti, L. C., & Guarçoni, M. A. (2013). *Guia de interpretação de análise de solo e foliar*. Vitória, ES : Incaper, 104p.
- Ramalho, A. R., Rocha, R. B., Veneziano, W., & Santos, M. M. (2014). *Cultivar de cafeeiro Conilon BRS Ouro Preto: características agrônômicas e agroindustriais*. Embrapa Rondônia, Comunicado Técnico, Porto Velho, RO. 10p.
- Resende, A. V., Furtini Neto, A. E., & Curi, N. (2005). Mineral nutrition and fertilization of native tree species in Brazil: research progress and suggestions for management. *Journal of Sustainable Forestry*, 20: 45-81.
- Rezende, F. A., Santos, V. A. H. F., Maia, C. M. B. F., & Morales, M. M. (2016). Biochar in substrate composition for production of teak seedlings. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51: 1-12. [10.1590/s0100-204x2016000900043](https://doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900043)
- Ros, C. R., Sestari, G., Jaeger, C., Oliveira, E. H., Weber, M. L., Silva, R. F., & Torchelsen, M. (2019). Efeito da calagem e da adubação fosfatada no crescimento inicial e na nutrição das plantas de *Khaya ivorensis*. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, 47: 430-439. doi.org/10.18671/scifor.v47n123.05
- Sanchez, P.A., Villachica, J.H., & Bandy, D.E. (1983). Soil fertility dynamics after clearing a tropical rainforest in Peru. *Soil Science Society of America Journal*, 47: 1171-1178.
- Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. A., Lumbreiras, J. F., Coelho, M. R., Almeida, J. A., Araujo Filho, J. C., Oliveira, J. B., & Cunha, T. J. F. (2018). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Embrapa Soils, 5: 1-356.
- Santos, J. Z. L., Resende, A. V. D., Furtini Neto, A. E., & Corte, E. F. (2008). Crescimento, acúmulo de fósforo e frações fosfatadas em mudas de sete espécies arbóreas nativas. *Revista Árvore*, 32: 799-807.
- Schulz, H., Dunst, G., & Glaser, B. (2014). No effect level of co-composted biochar on plant growth and soil in a greenhouse experiment. *Agronomy*, 4: 34-51.
- Sigua, G.C., Novak, J.M., Watts, D.W., Johnson, M.G., & Spokas, K. (2016). Efficacies of designer biochars in improving biomass and nutrient uptake of winter wheat grown in a hard setting subsoil layer. *Chemosphere*, 142: 176-183.
- Shen, Q., Hedle, Q., Camps, A. M., & Kirschbaum, M. U. F. (2016). Can biochar increase the bioavailability of phosphorus?. *Journal of soil science and plant nutrition*, 16: 268-286. doi.org/10.4067/S0718-95162016005000022
- Silva, H.A.S., Buzetti, S., Gazola, R.N., Marques, G.G., Teixeira Filho, M.C.M., & Gazola, R.P.D. 2019. Crescimento inicial de clones de Eucalyptus em função da adubação NPK. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*, 13:44-50.
- Silva, I. M., Schiavon, N. C., França, A. C., Lemos, V. T., Farnezi, M. M. M., & Bênto, B. M. C. (2020). Ácido cítrico e fósforo no crescimento e acúmulo de nutrientes no cafeeiro. *Magistra*, Cruz das Almas – BA, 30: 523-531.
- Soares, J. N., Reis, J. M. R., Sabrina, I., Reis, M. R., & Gontijo, R. G. (2013). Avaliação do desenvolvimento de mudas de jatobá-do-cerrado (*Hymenaea Stigonocarpa* Mart.) em diferentes fontes de fósforo. *Cerrado Agrociências*, 4: 35-41.
- Sohi, S. P., Krull, E., & Lopez-Capel, R., Bol, A. (2010). Review of biochar and its use and function in soil. In: Sparks, D. L. (Ed.). *Advances in Agronomy*. Burlington: Academic Press, 82p.
- Sousa, A.A.T.C., & Figueiredo, C.C. (2015). Sewage sludge biochar: effects on soil fertility and growth of radish. *Biological Agriculture & Horticulture*, 32: 127-138.
- Spokas K. A., Novak J. M., & Venterea, R. T. (2012). Biochar's role as an alternative N fertilizer: ammonia capture. *Plant Soil*, 350: 35-42. [10.1007/s11104-011-0930-8](https://doi.org/10.1007/s11104-011-0930-8)

Taiz, L., & Zeiger, E. (2013). *Fisiologia vegetal*. (5.ed.). Artmed, 918p.

Trazzi, P. A., Caldeira, M. V. W., & Colombi, R. (2010). Avaliação de mudas de Tecomastans utilizando biossólido e resíduo orgânico. *Revista de Agricultura*, 85: 218-226.

Widowati, W., & Asnah, A. (2014). Biochar Can Enhance Potassium Fertilization Efficiency and Economic Feasibility of Maize Cultivation. *Journal of Agricultural Science*, 6: 1-13. 10.5539/jas.v6n2p24

Wien, H. C. (1997). *The physiology of vegetable crops*. CAB International, Wallingford, UK.

Woiciechowski, T., Lombardi, K. C., Garcia, F. A. O., & Gomes, G. S. (2018). Nutrientes e umidade do solo após a incorporação de biocarvão em um plantio de *Eucalyptus benthamii*. *Ciência Florestal*, 8: 1455-1464. <https://doi.org/10.5902/1980509835053>