

Produção de mudas de paineira em substratos com rejeito da indústria de caulim

Jailson do Carmo Alves^{1*} , Mônica Lima Alves Pôrto¹ , Jandeilson Alves de Arruda² , José Madson da Silva³ 

1 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Alagoas - *Campus Maragogi. Rodovia AL 101 Norte, Km 139, Peroba, 57.955-000, Maragogi, AL.*

2 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - *Campus Picuí. Rodovia PB 151, s/n, Cenecista, 58.187-000, Picuí, PB.*

3 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Alagoas - *Campus Piranhas. Avenida Sergipe, 1477, Xingó, 57460-000, Piranhas, AL.*

* Autor para correspondência: jailson.alves@ifal.edu.br

Recebido em 11 de setembro de 2020.

Aceito em 28 de junho de 2021.

Publicado em 15 de julho de 2021.

Resumo - A utilização do rejeito de caulim em substratos para produção de mudas pode ser uma alternativa viável para o aproveitamento deste material. O objetivo do trabalho foi avaliar a produção de mudas de paineira em substratos com diferentes proporções de rejeito de caulim. Foram avaliados os seguintes substratos: S₁: 40% terra vegetal (TV) + 30% esterco bovino (EB) + 30% areia lavada (AL) + 0% rejeito de caulim (RC); S₂: 40%TV+30%EB+0%AL+30%RC; S₃: 40%TV+20%EB+0%AL+40%RC; S₄: 40%TV+10%EB+0%AL+50%RC; S₅: 30%TV+10%EB+0%AL+60%RC; S₆: 20%TV+10%EB+0%AL+70%RC; e S₇: 10%TV+10%EB+0%AL+80%RC. Aos 75 dias após a semeadura, foram avaliados estatisticamente: diâmetro do colo, altura, número de folhas, produção de matéria seca (raízes, parte aérea e total), relação da altura e diâmetro do colo, relação da matéria seca da parte aérea e da matéria seca das raízes e o Índice de Qualidade de Dickson. Os substratos S₁ e S₂ foram responsáveis por resultados estatisticamente superiores para todas as características avaliadas das mudas de paineira. Os demais substratos resultaram em reduções significativas estatisticamente em todas as características das mudas, principalmente os substratos S₆ e S₇. Para produção de mudas de paineira, pode-se utilizar até 30% de rejeito de caulim no substrato sem efeitos negativos no crescimento e qualidade das mudas.

Palavras-chave: *Ceiba speciosa*. Resíduo industrial. Poluição ambiental. uso agrícola.

Floss silk tree sapling production in substrates with kaolin industry rejects

Abstract - The use of kaolin rejects in substrates for sapling production may constitute a viable alternative for the use of this material. This study was carried out to evaluate the production of floss silk tree (*Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna) saplings in substrates with different proportions of kaolin rejects. The following substrates were evaluated: S₁: 40% vegetal soil (VS) + 30% cattle manure (CM) + 30% washed sand (WS) + 0% kaolin rejects (KR); S₂: 40%VS+30%CM+0%WS+30%KR; S₃: 40%VS+20%CM+0%WS+40%KR; S₄: 40%VS+10%CM+0%WS+50%KR; S₅: 30%VS+10%CM+0%WS+60%KR; S₆: 20%VS+10%CM+0%WS+70%KR; and S₇: 10%VS+10%CM+0%WS+80%KR. Seventy-five days after planting, the lap diameter, height, leaves number, dry mass production (root, aerial

part and total), height/lap diameter ratio, dry mass of aerial part/dry mass of root ratio and Dickson Quality Index were statistically evaluated. The substrates S_1 and S_2 were responsible for statistically superior results for all evaluated characteristics of floss silk tree saplings. The other substrates resulted in statistically significant reductions on seedlings characteristics, especially the substrates S_6 and S_7 . For the production of floss silk tree seedlings, a proportion of up to 30% of kaolin rejects can be used in the substrate without negative effects on the saplings' growth and quality.

Keywords: *Ceiba speciosa*. industrial residue. environmental pollution. agricultural use.

Producción de plántulas de palo borracho en sustratos con residuo de la industria del caolín

Resumen - El uso de residuo de caolín en sustratos para la producción de plántulas puede ser una alternativa viable para el uso de este material. El objetivo del trabajo fue evaluar la producción de plántulas de palo borracho en sustratos con diferentes proporciones de residuo de caolín. Se evaluaron los siguientes sustratos: S_1 : 40% suelo vegetal (SV) + 30% estiércol bovino (EB) + 30% arena lavada (AL) + 0% residuo de caolín (RC); S_2 : 40%SV+30%EB+0%AL+30%RC; S_3 : 40%SF+20%EB+0%AL+40%RC; S_4 : 40%SV+10%EB+0%AL+50%RC; S_5 : 30%SV+10%EB+0%AL+60%RC; S_6 : 20%SV+10%EB+0%AL+70%RC; e S_7 : 10%SV+10%EB+0%AL+80%RC. A los 75 días después de la siembra, se evaluaron estadísticamente: diámetro del cuello, altura, número de hojas, producción de materia seca (radial, área y total), relación altura/diámetro del cuello, relación materia seca área/materia seca radial e Índice de Calidad de Dickson. Los sustratos S_1 y S_2 fueron responsables de resultados estadísticamente superiores para todas las características evaluadas de las plántulas. Los otros sustratos resultaron en reducciones estadísticamente significativas en todas las características de las plántulas, principalmente los sustratos S_6 y S_7 . Para la producción de plántulas de palo borracho, se puede usar hasta el 30% de lo residuo de caolín en el sustrato sin efectos negativos sobre el crecimiento y la calidad de las plántulas.

Palabras clave: *Ceiba speciosa*. Residuo industrial. Polución ambiental. uso agrícola.

Introdução

Determinados ramos da mineração geram grandes volumes de resíduos ou subprodutos que, na maioria dos casos, são lançados indiscriminadamente no ambiente sem que sejam submetidos a nenhum tipo de tratamento prévio, desencadeando à poluição e outros problemas ambientais.

Dentre as atividades mineradoras, a extração e industrialização do caulim se caracterizam pelo expressivo volume de resíduos que produz. O caulim é um minério composto de silicatos hidratados de alumínio, como a caulinita e a haloisita, que apresenta características especiais que permitem sua utilização em diversos processos industriais (fabricação de papel, cerâmica, tintas, entre outros), sendo um dos seis minerais mais abundantes da crosta terrestre (Silva et al. 2021). Apesar de sua grande importância econômica, a exploração do caulim também tem revelado grande potencial poluidor, já que em média 70% da matéria-prima utilizada no beneficiamento do caulim é descartada na forma de rejeito, resultando em impactos negativos sobre o solo, o ar, os recursos hídricos, a flora e a fauna (Andrade et al. 2015; Silva et al. 2021).

Alguns trabalhos têm demonstrado resultados promissores do uso de rejeito de caulim como constituinte de substratos para produção de mudas de algumas espécies vegetais. Campo et al. (2008) verificaram efeito positivo da adição de rejeito de caulim ao substrato para produção de porta-enxertos de gravioleira (*Annona muricata* L.), onde esses autores verificaram que a adição deste rejeito na proporção de até 40% (v v⁻¹) no substrato apresentou uma tendência de aumentar o índice de velocidade de emergência, a altura e o número de folhas das plantas. Pereira et al. (2008) verificaram incremento do diâmetro do colo, altura e matéria seca da parte aérea de plantas de mamoeiro (*Carica papaya* L.) em resposta a adição de rejeito de caulim ao substrato, recomendando o emprego de 22% (v v⁻¹) deste material no substrato. Alves et al. (2012) verificaram que o emprego de substratos com até 20% (v v⁻¹) de rejeito de caulim (em mistura com terra de subsolo, areia lavada e esterco bovino, em proporções variáveis) não resultaram em efeitos negativos no crescimento de mudas de angico (*Anadenanthera macrocarpa* Brenan). Oliveira et al. (2014) verificaram que a utilização de substrato constituído por uma mistura de 40% de terra de subsolo e 60% de rejeito de caulim resultou em melhorias na qualidade de mudas de genipapo (*Genipa americana* L.).

Com base nos resultados destes trabalhos, verifica-se que a proporção adequada de rejeito de caulim no substrato para produção de mudas tem se demonstrado bastante variável entre as diferentes espécies vegetais. Assim, verifica-se que a realização de novos trabalhos visando avaliar a utilização deste rejeito na composição de substratos para a produção de mudas de outras espécies vegetais de importância agroflorestal é de suma importância, de modo a contribuir para redução dos impactos decorrentes de sua natureza.

A paineira, paineira-rosa ou barriguda (*Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna), pertencente à família *Malvaceae*, é uma espécie arbórea nativa dos biomas brasileiros da Mata Atlântica (floresta estacional semidecidual), Cerrado e áreas transicionais para a Caatinga (Galdiano Júnior et al. 2011). Apresenta importância econômica e ecológica, pois pelo porte avantajado e beleza de suas flores a mesma exibe potencial para projetos paisagísticos e recuperação de áreas degradadas, bem como atua no fornecimento de alimento à fauna. Sua madeira, por ser leve e de textura grossa, é empregada na confecção de canoa, cocho, gamela e na fabricação de pasta celulósica e a paina foi muito utilizada no enchimento de almofadas e travesseiros (Afonso et al. 2017).

Com relação à produção de mudas de paineira, poucas são as informações disponíveis na literatura sobre a utilização de resíduos como constituintes de substratos, sendo encontrado alguns trabalhos com o emprego de resíduos agroindustriais (bagaço de cana-de-açúcar, casca de amendoim e casca de café) (Galdiano Júnior et al. 2011) e lodo de esgoto (Cabreira et al. 2017; Lima Filho et al. 2019). Com relação ao emprego de rejeito de caulim na composição de substratos para a produção de mudas desta espécie, não foram encontradas informações na literatura a esse respeito.

A hipótese principal para realização deste trabalho é que o rejeito de caulim pode ser utilizado como constituinte de substratos para produção de mudas de paineira, podendo se constituir em uma alternativa viável para o aproveitamento racional deste rejeito, contribuindo, dessa forma, para a minimização dos impactos ambientais decorrentes de sua natureza.

O objetivo do trabalho foi avaliar a produção de mudas de paineira (*Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna) em substratos com diferentes proporções de rejeito de caulim.

Material e métodos

O presente trabalho foi conduzido no viveiro florestal do Laboratório de Ecologia Vegetal (LEV) do Centro de Ciências Agrárias (UFPB) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), em Areia-PB. O município de Areia-PB está inserido na microrregião fisiográfica do Brejo Paraibano, nas seguintes coordenadas geográficas: 6°58'12"S e 35°42'15"W. O clima local, de acordo com a classificação de Köppen, é tropical semiúmido do tipo As', com estação chuvosa no período outono-inverno. A temperatura média anual oscila entre 22°C e 26°C, com precipitação pluviométrica média anual em torno de 1500 mm e umidade relativa do ar elevada (75% a 87%) (Alves et al. 2008).

As sementes de paineira (*Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna) empregadas foram coletadas de plantas matrizes selecionadas existentes em área do CCA/UFPB, em Areia-PB. Foram utilizados como recipientes sacolas de polietileno opacos de cor preta, com volume de 1,2 dm³, os quais foram preenchidos com os diferentes substratos empregados. Em cada recipiente, foram semeadas três sementes, sendo colocadas no centro do recipiente, na profundidade de 2,0 cm. Aos 15 dias após a semeadura, foi efetuado o raleamento, deixando-se apenas uma plântula por recipiente (a mais vigorosa e mais centralizada no recipiente).

O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados, com sete tratamentos (substratos com diferentes proporções de rejeito de caulim) e três repetições. Cada repetição (parcela experimental) foi composta por oito mudas, sendo utilizada a média da parcela para representar o tratamento.

Os materiais utilizados na confecção dos substratos foram terra vegetal, esterco bovino curtido, areia lavada e rejeito de caulim. A terra vegetal, esterco bovino curtido e areia lavada utilizados foram provenientes do município de Areia-PB. A terra vegetal foi coletada do horizonte superficial de um Argissolo Vermelho Amarelo, em área sob remanescente de vegetação nativa. O esterco bovino curtido foi proveniente do setor de bovinocultura do CCA/UFPB. A areia lavada foi adquirida em uma casa de comercialização de materiais de construção. O rejeito de caulim empregado foi coletado em diferentes pontos de pilhas de descartes de resíduos de uma indústria de beneficiamento de caulim, dispostas às margens da BR-230, próximo a cidade de Juazeirinho-PB. Esses materiais foram individualmente tamisados em peneira com malha de 2 mm de abertura, para posteriormente serem misturados nas diferentes proporções dos substratos empregados (definidas com base em testes preliminares), conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Composição dos substratos avaliados.

Substrato	Terra vegetal	Esterco bovino	Areia lavada	Rejeito de caulim
	-----% (v v ⁻¹)-----			
S ₁	40	30	30	0
S ₂	40	30	0	30
S ₃	40	20	0	40
S ₄	40	10	0	50
S ₅	30	10	0	60
S ₆	20	10	0	70
S ₇	10	10	0	80

Foram coletadas amostras dos diferentes materiais empregados na composição dos substratos para sua caracterização química. Essas amostras foram encaminhadas para realização das análises no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo e Laboratório de Análise de Tecido Vegetal e Resíduos Orgânicos do Departamento de Solo e Engenharia Rural do CCA/UFPB. A terra vegetal, areia lavada e rejeito de caulim foram analisados conforme metodologia da Embrapa (1997), enquanto que o esterco bovino curtido foi analisado conforme Tedesco et al. (1995). Os resultados das análises químicas dos materiais empregados na composição dos substratos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Análise química dos materiais empregados na composição dos substratos.

Componente	pH	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC	MO	
-	-	--mg dm ⁻³ --	-----cmol _c dm ⁻³ -----									gkg ¹
Terra vegetal	5,9	27,4	109,5	0,1	5,5	3,3	0,0	0,8	9,1	9,9	11,5	
Areia lavada	5,8	3,0	19,5	0,1	0,3	0,1	0,0	0,1	0,5	0,6	1,3	
Rejeito de caulim	6,3	3,3	84,5	1,6	1,3	0,6	0,0	0,0	3,7	3,7	1,0	
	pH	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	C/N	
Esterco bovino	-	-----g kg ⁻¹ -----					-----mg kg ⁻¹ -----				-	
	6,4	9,3	6,3	4,4	0,7	0,5	124,0	111,8	86,9	24,3	9,0	

SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; MO: matéria orgânica; C/N: relação carbono/nitrogênio.

As mudas permaneceram em viveiro telado, com cobertura de sombrite com 50% de sombreamento, durante todo o período de crescimento. As irrigações foram realizadas de forma manual, sempre que necessárias, para manter a umidade do substrato próximo à capacidade de campo.

Aos 75 dias após a semeadura, foram avaliadas as seguintes características: diâmetro do colo, altura, número de folhas, matéria seca das raízes, matéria seca da parte aérea e matéria seca total das mudas de paineira. O diâmetro do colo das mudas foi obtido com o emprego de um paquímetro, medindo-se na base do caule. A altura foi determinada com régua graduada, considerando a altura da base do caule até o ponto mais alto das mudas. O número de folhas foi obtido por contagem das folhas definitivas desenvolvidas de cada muda. A matéria seca das raízes e matéria seca da parte aérea foram obtidas através da separação, com o uso de uma faca, das mudas em raízes e parte aérea, as quais foram lavadas e, posteriormente, postas para secagem em estufa com circulação de ar forçada (65°C), até atingirem massa constante, procedendo em seguida a pesagem em balança analítica de precisão (0,001g). A matéria seca total foi obtida pelo somatório da matéria seca das raízes e matéria seca da parte aérea.

Foram calculadas a relação da altura e diâmetro do colo (RAD) (Equação 1), a relação da matéria seca da parte aérea e matéria seca das raízes (RPAR) (Equação 2) e o Índice de Qualidade de Dickson (IQD) (Equação 3) (Dickson et al. 1960):

$$RAD = \frac{ALT}{DC} \text{ (Equação 1)} \quad RPAR = \frac{MSPA}{MSR} \text{ (Equação 2)} \quad IQD = \frac{MST}{RAD + RPAR} \text{ (Equação 3)}$$

onde:

DC: diâmetro do colo; ALT: altura das mudas; MSR: matéria seca das raízes; MSPA: matéria seca da parte aérea; MST: matéria seca total; RAD: relação da altura e diâmetro do colo; RPAR: relação da matéria seca da parte aérea e matéria seca das raízes; e IQD: Índice de Qualidade de Dickson.

Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância, com as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Scott-Knott, considerando o nível de $p < 0,05$. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SISVAR (Ferreira 2011).

Resultados e discussão

O resumo da análise de variância para as características das mudas de paineira em função dos substratos avaliados é apresentado na Tabela 3. Dentre as características avaliadas, o diâmetro do colo, altura, número de folhas, matéria seca das raízes, matéria seca da parte aérea, matéria seca total e o Índice de Qualidade de Dickson (IQD) foram significativamente influenciados ($p < 0,01$) pelos substratos com diferentes proporções de rejeito de caulim avaliados. Apenas para a relação da altura e diâmetro do colo (RAD) e para relação da matéria seca da parte aérea e matéria seca das raízes (RPAR) não houve diferença significativa entre os substratos avaliados (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da análise de variância (ANAVA) para as características diâmetro do colo (DC), altura (ALT), Número de folhas (NF), matéria seca das raízes (MSR), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca total (MST), relação da altura e diâmetro do colo (RAD), relação da matéria seca da parte aérea e matéria seca das raízes (RPAR) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) das mudas de paineira em função dos substratos avaliados.

FV	GL	Quadrado Médio								
		DC	ALT	NF	MSR	MSPA	MST	RAD	RPAR	IQD
Blocos	2	1,29 ^{ns}	51,85*	1,71 ^{ns}	0,05 ^{ns}	1,08*	1,44*	0,41**	0,54 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Substratos	6	9,69**	124,02**	12,29**	0,89**	4,86**	9,89**	0,11 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,29**
Resíduo	12	0,39	9,29	0,47	0,05	0,21	0,35	0,06	0,31	0,01
CV (%)		10,62	15,23	8,57	27,3	23,94	21,68	7,22	25,40	23,06

FV: fontes de variação; GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação.

^{ns}: não significativo, *: significativo a 5% de probabilidade e **: significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

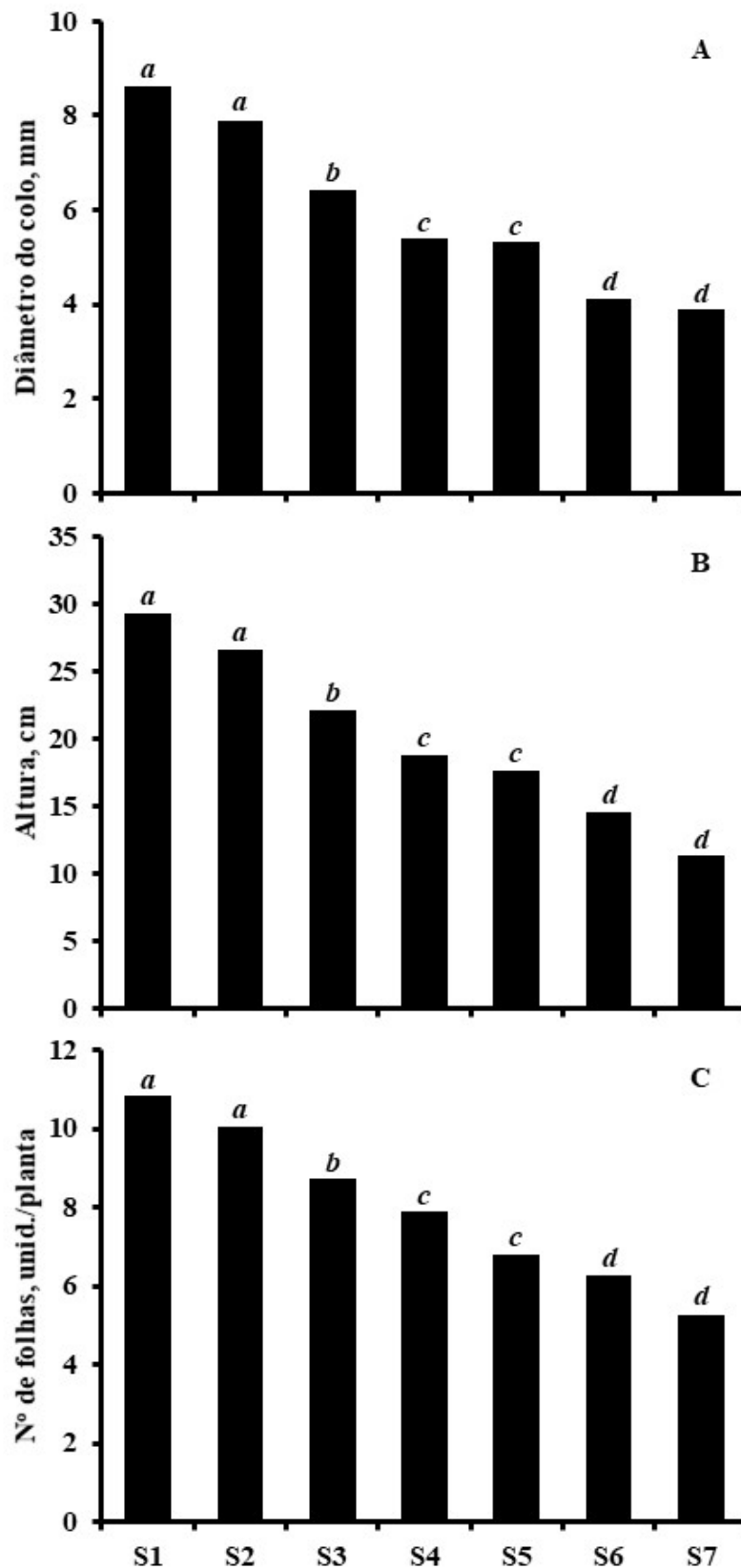
Os resultados obtidos mostram uma resposta similar para características diâmetro do colo, altura e número de folhas das mudas de paineira em função dos substratos avaliados (Figura 1A, Figura 1B e Figura 1C). Os substratos S_1 (0% (v v⁻¹) de rejeito de caulim) e S_2 (30% (v v⁻¹) de rejeito de caulim) foram os responsáveis pelos maiores valores de diâmetro do colo, altura e número de folhas, enquanto que os demais substratos (S_3 (40% (v v⁻¹) de rejeito de caulim), S_4 (50% (v v⁻¹) de rejeito de caulim), S_5 (60% (v v⁻¹) de rejeito de caulim), S_6 (70% (v v⁻¹) de rejeito de caulim) e S_7 (80% (v v⁻¹) de rejeito de caulim)) resultaram em menores valores dessas características, sendo esse fato mais pronunciado nos substratos com maiores proporções de rejeito de caulim (S_6 (70% (v v⁻¹) de rejeito de caulim) e S_7 (80% (v v⁻¹) de rejeito de caulim)) (Figura 1, Figura 2 e Figura 3). Assim, pode-se inferir que os substratos com proporções de rejeito de caulim superiores a 30% (v v⁻¹) resultaram na produção de mudas de paineira menos resistentes, com menor potencial de crescimento e menor probabilidade de sucesso após transplante para o local definitivo de cultivo.

O diâmetro do colo é considerado uma das melhores características para indicar a capacidade de sobrevivência da muda após o transplante para o campo de cultivo (Alves et al. 2008). Mudas que apresentam diâmetro do colo reduzido apresentam dificuldades de se manterem eretas após o plantio, com maior probabilidade de tombamento, o que pode resultar em morte ou deformações que comprometem o valor silvicultural das plantas (Almeida et al. 2014).

Já a altura das plantas tem sido relatada como uma boa medida para avaliar o potencial de desempenho das mudas, sendo considerada como um dos mais importantes parâmetros morfológicos para estimar o crescimento das plantas após o plantio definitivo no campo (Gomes et al. 2002). O número de folhas é uma característica que apresenta grande reflexo sobre a adaptação das mudas após o plantio no campo (Oliveira et al. 2014).

As folhas são os principais órgãos responsáveis pela produção de fotoassimilados e atuam diretamente sobre o acúmulo de biomassa, sendo sua avaliação de grande importância (Oliveira et al. 2014). Quanto maior a quantidade de folhas das mudas, mais intensa será a atividade fotossintética e, conseqüentemente, maior será o crescimento em altura e diâmetro das plantas (Campos et al. 2008), influenciando diretamente a produção de biomassa.

Figura 1. Diâmetro do colo (A), altura (B) e número de folhas (C) de mudas de paineira produzidas em substratos com diferentes proporções de rejeito de caulim. Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.



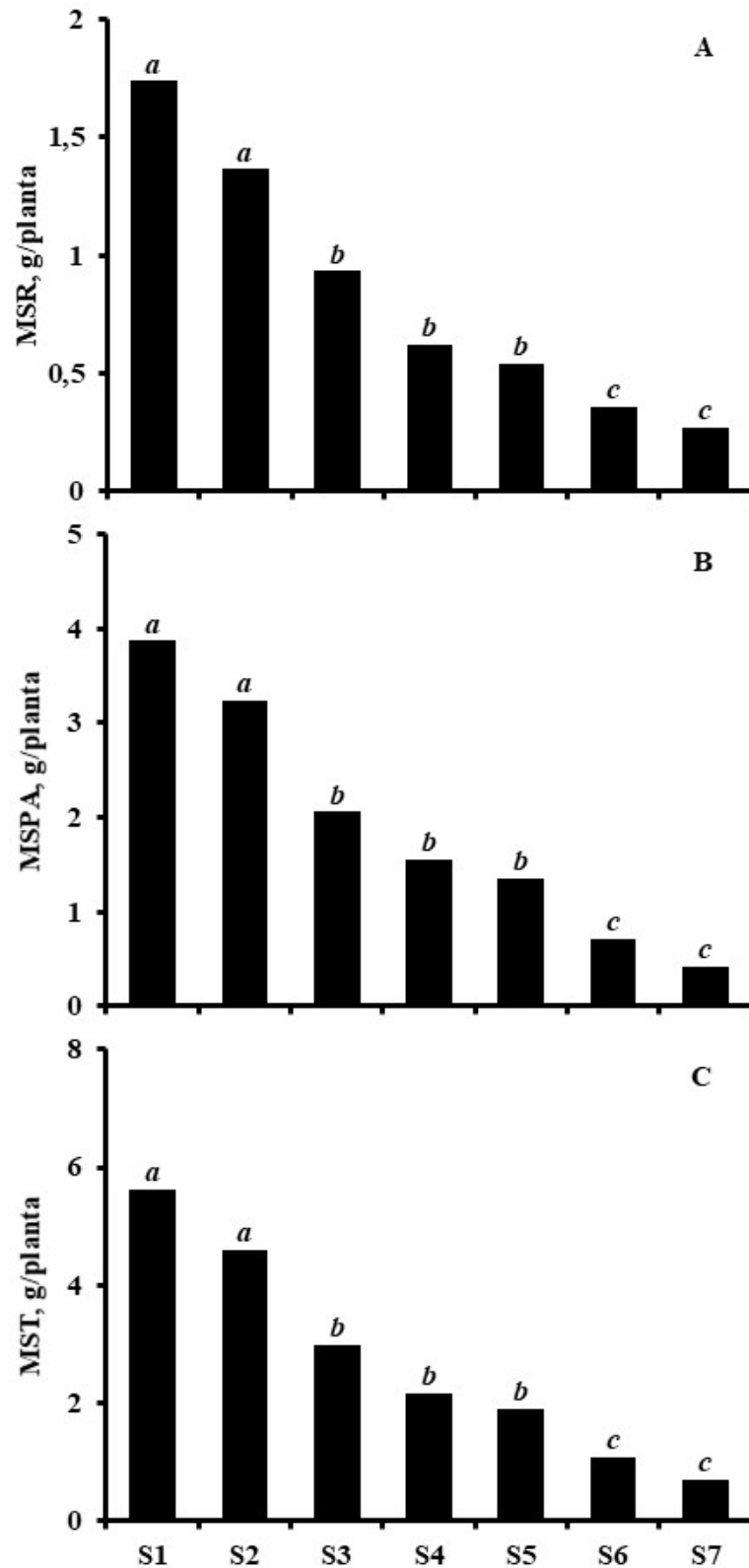
Os resultados observados nesse trabalho foram semelhantes ao observados por Araújo et al. (2013) para mudas de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.) e por Rodrigues et al. (2014) para mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia* Benth.), que verificaram que substratos com proporções de rejeito de caulim de até 25% (v v⁻¹) não resultaram em redução no diâmetro do colo, altura e número de folhas das plantas. Entretanto, os resultados obtidos neste trabalho foram bastante inferiores aos observados para porta-enxerto de gravioleira (*Annona muricata* L.) (Campos et al. 2008) e para mudas de Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) (Oliveira et al. 2014), onde foram verificadas que o emprego de substratos com proporções de até 50% e 60% (v v⁻¹) de rejeito de caulim na sua composição, respectivamente, não resultaram em redução nos valores de diâmetro do colo, altura, e número de folhas definitivas das plantas.

Referente as produções de matéria seca das diferentes partes (raízes, parte aérea e total) das mudas de paineira, foi verificado um comportamento similar para estas características em função dos substratos avaliados (Figura 2A, Figura 2B e Figura 2C). Os substratos S₁ (0% (v v⁻¹) de rejeito de caulim) e S₂ (30% (v v⁻¹) de rejeito de caulim) apresentaram as maiores produção de matéria seca de todos os compartimentos das mudas de paineira. Já os substratos S₃ (40% (v v⁻¹) de rejeito de caulim), S₄ (50% (v v⁻¹) de rejeito de caulim) e S₅ (60% (v v⁻¹) de rejeito de caulim) apresentaram produção intermediárias, enquanto os substratos S₆ (70% (v v⁻¹) de rejeito de caulim) e S₇ (80% (v v⁻¹) de rejeito de caulim) apresentaram as menores produção de matéria seca de todos os compartimentos das mudas de paineira. Esses resultados evidenciam que os substratos com maiores proporções de rejeito de caulim apresentaram uma tendência de redução na produção de matéria seca das mudas de paineira, sendo esse fato mais pronunciado nos substratos S₆ (70% (v v⁻¹) de rejeito de caulim) e S₇ (80% (v v⁻¹) de rejeito de caulim).

A produção de matéria seca tem sido considerada um dos melhores parâmetros para caracterizar a qualidade de mudas, pois reflete a fotossíntese líquida da planta (Eloy et al. 2013; Fernandes et al. 2019). A matéria seca das raízes tem sido reconhecida como um dos mais importantes e melhores parâmetros para se estimar a sobrevivência e o crescimento inicial das mudas em campo (Almeida et al. 2014), pois quanto maior o sistema radicular, maior será a sua biomassa e, conseqüentemente, maior será a sua eficiência na absorção de água e nutrientes (Oliveira et al. 2014). Já a massa da matéria seca da parte aérea indica a rusticidade e se correlaciona diretamente com a sobrevivência e desempenho inicial das mudas após o plantio em campo (Volkweis et al. 2014). Esses fatos evidenciam, novamente, que os substratos com proporções de rejeito de caulim superiores a 30% (v v⁻¹) resultaram na produção de mudas de paineira de com menor probabilidade de sobrevivência e potencial de crescimento inicial após plantio no campo de cultivo definitivo.

Figura 2. Produção de matéria seca das raízes (MSR) (A), matéria seca da parte aérea (MSPA) (B) e matéria seca total (MST) de mudas de paineira produzidas em substratos com diferentes proporções de rejeito de caulim.

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.



Os resultados deste trabalho foram bastante superiores aos observados por Alves et al. (2008) para mudas de moringa (*Moringa oleifera* LAM.), que constataram reduções na produção de matéria seca das diferentes partes das plantas (raízes, parte aérea e total) em proporções de rejeito de caulim no substrato superiores a 12,01%, 8,15% e 9,84% ($v v^{-1}$), respectivamente. Também foram superiores aos resultados observados por Pereira et al. (2008) para mudas de mamoeiro (*Carica papaya* L.), que constataram que o emprego de substrato com proporções de rejeito de caulim superiores a 22% ($v v^{-1}$) resultaram em redução na produção de matéria seca das raízes e parte aérea das plantas. Alves et al. (2012) verificaram que mudas de angico não apresentaram redução na produção de matéria seca das raízes e parte aérea com o emprego de substratos com proporções de rejeito de caulim de até 20% ($v v^{-1}$). Já para mudas de Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), Oliveira et al. (2014) verificaram que o emprego de substratos com até 60% ($v v^{-1}$) de rejeito de caulim na sua composição não resultaram em redução na produção de matéria seca das diferentes partes das plantas (raízes, parte aérea e total), resultados superiores aos observados no presente trabalho.

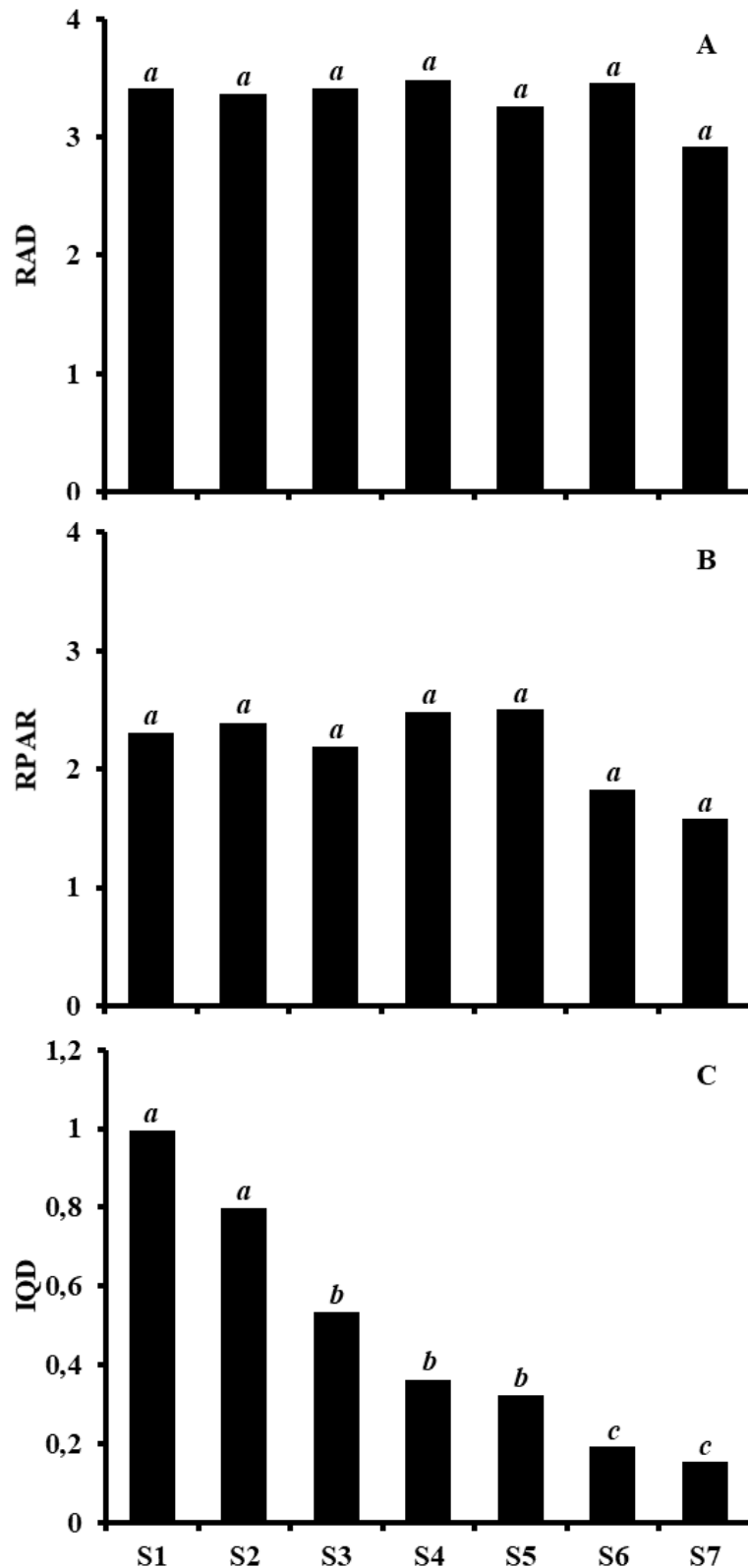
Quanto a relação da altura e diâmetro do colo (RAD) e a relação da matéria seca da parte aérea e matéria seca das raízes (RPAR), foram observados valores variando de 2,92 a 3,49 para RAD (Figura 3A) e de 1,58 a 2,49 para RPAR (Figura 3B), sem diferença estatística em função dos substratos avaliados. Esses resultados indicam que, nas condições que esse trabalho foi realizado, esses índices não se demonstraram eficientes para discriminar as diferenças na qualidade das mudas de paineira em função dos substratos com diferentes proporções de rejeito de caulim avaliados.

Usualmente, a avaliação da qualidade das mudas florestais se baseia, principalmente, no emprego de índices derivados das características morfológicas da planta, tais como: diâmetro do colo, altura, número de folhas, produção de biomassa, dentre outros (Eloy et al. 2013). No entanto, para representar simultaneamente todas essas características, utilizam-se índices de qualidade, que são medidas integradas. A relação entre altura e diâmetro do colo (RAD), relação entre a matéria seca da parte aérea e raízes (RPAR) e o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), são alguns índices usados para estabelecer a qualidade de mudas (Pereira et al. 2013).

A RAD, também denominada de quociente de robustez, exprime o equilíbrio de crescimento das plantas, relacionando dois importantes parâmetros morfológicos (altura e diâmetro do colo) em apenas um índice, sendo considerada um bom índice para avaliar a qualidade das mudas (Gomes et al. 2002). Já a RPAR esboça como está a distribuição dos assimilados entre as partes da planta (parte que transpira x parte que absorve água), também sendo considerada como um índice eficiente e seguro para avaliar a qualidade de mudas (Almeida et al. 2014). Apesar disso, podem ser encontrados na literatura situações onde não são observadas diferenças significativas para esses índices em trabalhos com diferentes espécies em função de tratamentos diversos (Cruz et al. 2006; Trazzi et al. 2012; Pereira et al. 2013; Oliveira et al. 2016), mesmo que sejam verificadas alterações em outros índices morfológicos, corroborando com os resultados do presente trabalho.

Figura 3. Relação da altura e diâmetro do colo (RAD) (A), relação da matéria seca da parte aérea e matéria seca das raízes (RPAR) (B) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) (C) de mudas de paineira produzidas em substratos com diferentes proporções de rejeito de caulim.

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.



Referente ao Índice de Qualidade de Dickson (IQD) das mudas de paineira, os substratos S_1 (0% (v v⁻¹) de rejeito de caulim) e S_2 (30% (v v⁻¹) de rejeito de caulim) apresentaram os maiores valores de IQD. Já os substratos S_3 (40% (v v⁻¹) de rejeito de caulim), S_4 (50% (v v⁻¹) de rejeito de caulim) e S_5 (60% (v v⁻¹) de rejeito de caulim) apresentaram valores de IQD intermediários, enquanto os substratos S_6 (70% (v v⁻¹) de rejeito de caulim) e S_7 (80% (v v⁻¹) de rejeito de caulim) apresentaram os menores valores de IQD (Figura 3C). Esses resultados evidenciam que os substratos com maiores proporções de rejeito de caulim apresentaram uma tendência de redução nos valores de IQD das mudas de paineira. Assim, é possível verificar que, dentre os substratos que continha rejeito de caulim na composição, apenas o S_2 (30% (v v⁻¹) de rejeito de caulim) não resultou em redução na qualidade das mudas de paineira, enquanto que os substratos com proporções superiores de rejeito de caulim resultaram em efeitos negativo na qualidade das mudas, principalmente os substratos que apresentavam as maiores proporções deste rejeito (S_6 (70% (v v⁻¹) de rejeito de caulim) e S_7 (80% (v v⁻¹) de rejeito de caulim)).

Entre os índices empregados para avaliar a qualidade das mudas, o IQD é considerado um dos melhores e mais eficientes, pois inclui a robustez e o equilíbrio da distribuição da biomassa da muda no seu cálculo, e quanto maior o valor deste índice, melhor será a qualidade da muda (Almeida et al. 2014; Silva et al. 2018; Fernandes et al. 2019).

A utilização de rejeito de caulim em substratos para produção de mudas, em proporções equilibradas, pode resultar em melhoria de suas propriedades químicas (aumentando a solubilidade de nutrientes importante para o desenvolvimento das plantas, como o N, P e K) e físicas (melhoria na capacidade de retenção de umidade do substrato, devido a sua granulometria fina), proporcionando, dessa forma, melhores condições para o crescimento das plantas (Alves et al. 2008; Pereira et al. 2008).

Entretanto, a redução do crescimento e qualidade das mudas de paineira a partir de determinada proporção de rejeito de caulim no substrato podem estar relacionados, principalmente, com efeitos negativos provocados pelo excesso deste rejeito sobre as propriedades físicas do substrato, resultando no aumento excessivo da retenção de água e comprometimento da aeração e atividade do sistema radicular (Alves et al. 2008). Também é importante mencionar o fato do rejeito de caulim poder conter, além de outros contaminantes, elevados teores de metais pesados (principalmente Fe, Al, Zn e Cd) (Silva et al. 2001), os quais podem ter atingido níveis tóxicos para as plantas nos substratos com maiores proporções de rejeito de caulim. Os metais pesados interferem nos processos fisiológicos das plantas, tais como troca gasosa, fixação de CO₂, respiração e absorção de nutrientes (Souza et al. 2018). Alves et al. (2016) salientam que a exposição a níveis tóxicos de metais pesados pode reduzir intensamente o crescimento e desenvolvimento das plantas, por promoverem diversos distúrbios de ordem fisiológica, bioquímica e estrutural, tais como desequilíbrios no balanço hídrico e hormonal, distúrbios nutricionais, perda da permeabilidade da membrana, redução da atividade enzimática, inibição da respiração e fotossíntese, entre outros.

Embora não tenham sido constatadas melhorias nas características das mudas de paineira elo emprego de rejeito de caulim no substrato, os resultados deste trabalho sugerem que se pode empregar uma proporção de até 30% (v v⁻¹) deste rejeito no substrato para produção de mudas desta espécie, sem decréscimos significativos de seu crescimento e qualidade das mudas. Este fato apresenta grande relevância do ponto de vista ecológico e ambiental, pois a utilização do rejeito de caulim como constituinte de substratos para produção de mudas pode se constituir em uma alternativa viável para o aproveitamento racional deste rejeito, contribuindo, dessa forma, para a minimização dos impactos ambientais decorrentes de sua natureza.

Conclusões

O rejeito de caulim pode ser utilizado de forma eficiente na composição de substratos para produção de mudas de paineira, podendo-se utilizar até 30% (v v⁻¹) deste material no substrato sem decréscimos do crescimento e qualidade das mudas.

A utilização do rejeito de caulim como constituinte de substratos para produção de mudas pode se constituir em uma alternativa viável para o aproveitamento racional deste rejeito.

Participação dos autores: JCA, MLAP - idealização do trabalho, implantação e desenvolvimento metodológico de todas as etapas do trabalho e redação do manuscrito; JAA, JMS - idealização do trabalho, implantação e desenvolvimento metodológico de todas as etapas do trabalho. Contribuições para a versão final do manuscrito.

Aprovação ética ou licenças de pesquisa: não se aplica ao trabalho.

Disponibilidade dos dados: os dados não estarão disponíveis em alguma base ou repositórios.

Fomento: o trabalho não contou com auxílio financeiro de nenhuma agência de fomento.

Conflito de Interesses: os autores declaram não ter conflitos de interesse.

Referências

- Afonso SS, Pedri ECM, Rocha VD, Biazon IC, Rossi AAB. 2017. Biometria de frutos e sementes de *Ceiba speciosa*. *Enciclopédia Biosfera* 14(26):851-859.
- Almeida RS, Mayrinck RC, Zanini AM, Dias BAS, Baroni GR. 2014. Crescimento e qualidade de mudas de *Croton floribundus* Spreng. em diferentes recipientes e substratos. *Enciclopédia Biosfera* 10(19):672-685.
- Alves AS, Oliveira LSB, Andrade LA, Gonçalves GS, Silva JM. 2012. Produção de mudas de angico em diferentes tamanhos de recipientes e composições de substratos. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável* 7(2):39-44.
- Alves JC, Pôrto ML, Andrade LA, Souza AP, Silva GB, Tompson Júnior UA. 2008. Produção de mudas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) (*Moringaceae*) em substratos contendo rejeito da indústria de caulim. *Revista Ecosistema* 33(1/2):83-89.
- Alves JC, Souza AP, Pôrto MLA, Fontes RLF, Arruda JÁ, Marques LF. 2016. Potential of sunflower, castor bean, common buckwheat and vetiver as lead phytoaccumulators. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 20(3):243-249. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n3p243-249>
- Andrade ALS, Sousa AAP, Oliveira DF, Medeiros AC, Maracaja PB. 2015. Mineração de caulim no município de Equador-RN Brasil: andragogia e percepção ambiental. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental* 9(1):27-48.
- Araújo AC, Oliveira VEA, Araújo AC, Pereira WE, Pinheiro SMG. 2013. Utilização do rejeito de caulim na composição de substratos para produção de mudas de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.). *Cadernos de Agroecologia* 8(2):1-4.
- Cabreira GV, Leles PSS, Alonso JM, Abreu AHM, Lopes NF, Santos GR. 2017. Biossólido como componente de substrato para produção de mudas florestais. *Floresta* 47(2):165-176. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v47i2.44291>
- Campos MCC, Marques FJ, Lima AG, Mendonça RMN. 2008. Crescimento de porta-enxerto de gravioleira (*Annona muricata* L.) em substratos contendo doses crescentes de rejeitos de caulim. *Revista de Biologia e Ciências da Terra* 8(1):61-66.
- Cruz CAF, Paiva HN, Guerrero CRA. 2006. Efeito da adubação nitrogenada na produção de mudas de sete-casca (*Samanea inopinata* (Harms) Ducke). *Revista Árvore* 30(4):537-546. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000400006>

- Dickson A, Leaf AL, Hosner JF. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. The Forestry Chronicle 36(1):10-13. <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>
- Eloy E, Caron BO, Schmidt D, Behling A, Schwerts L, Elli EF. 2013. Avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* utilizando parâmetros morfológicos. Floresta 43(3):373-384. <http://dx.doi.org/10.5380/rev.v43i3.26809>
- Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997. Manual de métodos de análise de solos, 2ª ed., Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 212 p.
- Fernandes MCO, Freitas ECS, Paiva HN, Oliveira Neto SN. 2019. Crescimento e qualidade de mudas de *Citharexylum myrianthum* em resposta à fertilização nitrogenada. Advances in Forestry Science 6(1):507-513. <https://doi.org/10.34062/afs.v6i1.6433>
- Ferreira DF. 2011. Sisvar: a computer statistical analysis system. Ciência e Agrotecnologia 35(6):1039-1042. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>
- Galdiano Júnior RF, Rissi RN, Cassoli Neto P. 2011. Morfologia da germinação inicial e utilização de resíduos da agroindústria para o crescimento da paineira (*Ceiba speciosa* - Malvaceae). Revista Hispeci & Lema 2(1):1-7.
- Gomes JM, Couto L, Leite HG, Xavier A, Garcia SLR. 2002. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. Revista Árvore 26(6):655-664. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622002000600002>
- Lima Filho P, Leles PSS, Abreu AHM, Silva EV, Fonseca AC. 2019. Produção de mudas de *Ceiba speciosa* em diferentes volumes de tubetes utilizando o biossólido como substrato. Ciência Florestal 29(1):27-39. <https://doi.org/10.5902/1980509819340>
- Oliveira B, Reis SM, Morandi PS, Valadão MBX, Oliveira EA, Marimon BS, Marimon-Junior BH. 2016. Germinação das sementes e desenvolvimento de mudas de *Magonia pubescens* A.St.-Hil. (Sapindaceae) sob diferentes intensidades de sombreamento. Scientia Forestalis 44(112):905-916. <https://doi.org/10.18671/scifor.v44n112.12>
- Oliveira LSB, Andrade LA, Alves AS, Gonçalves GS. 2014. Substrato e volume de recipiente na produção de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). Nativa 2(2):103-107. <http://dx.doi.org/10.14583/2318-7670.v02n02a07>
- Pereira LR, Marcilio GS, Mota FM, Sant'Ana BT, Dardengo MCJD. 2013. Qualidade de mudas do café Conilon vitória produzidas em viveiros do sul capixaba. Enciclopédia Biosfera 9(17):2213-2220.
- Pereira WE, Sousa GG, Alencar ML, Mendonça RMN, Silva GL. 2008. Crescimento de mudas de mamoeiro em substratos contendo caulim. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento 3(1):27-35.
- Rodrigues R.D, Freire ALO, Nascimento Neto JH. 2014. Uso de rejeitos de mineração e materiais orgânicos na composição de substrato para produção de mudas de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.). Engenharia Ambiental 11(1):16-27.
- Silva AC, Vidal M, Pereira MG. 2001. Impactos ambientais causados pela mineração e beneficiamento de caulim. Rem: Revista Escola de Minas 54(2):133-136. <http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672001000200010>
- Silva BR, Menezes Júnior HS, Santos AMS, Silva Filho AJ, Oliveira HA. 2021. Desenvolvimento de argamassas de reboco com a incorporação de caulim. Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia 13:74-83. <http://dx.doi.org/10.22407/1984-5693.2021.v13.p.74-83>
- Silva RR, Anjos AB, Freitas GA, Nogueira AM, Faria AJG. 2018. Desenvolvimento inicial de mudas de *Plathymenia foliolosa* Benth. sob influência de sombreamento. Gaia Scientia 12(2):134-143. <https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2018v12n2.30813>
- Souza AKR, Morassuti CY, Deus WB. 2018. Poluição do ambiente por metais pesados e utilização de vegetais como bioindicadores. Acta Biomedica Brasiliensia 9(3):95-106. <http://dx.doi.org/10.18571/acbm.189>
- Tedesco MJ, Gianelo C, Bissani CA, Bohnem H, Volkweiss SJ. 1995. Análise de solo, planta e outros materiais, 2ª ed, Porto Alegre: Departamento de Solos/UFRGS, 174 p. (Boletim Técnico, 5)

Trazzi PA, Caldeira MVW, Colombi R, Gonçalves EO. 2012. Qualidade de mudas de *Murraya paniculata* produzidas em diferentes substratos. Floresta 42(3):621-630. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v42i3.19718>

Volkweis CR, Dranski JAL, Oro P, Malavasi UC, Malavasi MM. 2014. Efeito da tigmomorfogênese na morfometria de mudas de *Maytenus ilicifolia* (Schrad.) Planch. Ciência Florestal 24(2):339-342. <https://doi.org/10.5902/1980509814571>



Esta obra está licenciada com uma *Licença Creative Commons Atribuição Não-Comercial 4.0 Internacional*.