

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA FLORESTAL

PRODUÇÃO CLONAL DE MUDAS DE *Theobroma cacao* L. POR
MINIESTAQUIA EM SUBSTRATOS ALTERNATIVOS: OPÇÃO
SUSTENTÁVEL PARA O SUDOESTE DA AMAZÔNIA

TAYNA NERI DE SOUZA BORTOLOSO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

RIO BRANCO-AC, BRASIL
NOVEMBRO DE 2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA FLORESTAL

PRODUÇÃO CLONAL DE MUDAS DE *Theobroma cacao* L. POR
MINIESTAQUIA EM SUBSTRATOS ALTERNATIVOS: OPÇÃO
SUSTENTÁVEL PARA O SUDOESTE DA AMAZÔNIA

TAYNA NERI DE SOUZA BORTOLOSO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal do Acre, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Felipe Coelho de Souza

RIO BRANCO-AC, BRASIL

NOVEMBRO DE 2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA FLORESTAL

PRODUÇÃO CLONAL DE MUDAS DE *Theobroma cacao* L. POR MINIESTAQUIA
EM SUBSTRATOS ALTERNATIVOS: OPÇÃO SUSTENTÁVEL PARA O SUDOESTE
DA AMAZÔNIA

TAYNA NERI DE SOUZA BORTOLOSO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal do Acre, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Aprovada em [dia] de [mês] de [ano] pela banca examinadora:

Dr. Felipe Coelho de Souza
Universidade Federal do Acre, Centro de Ciências Biológicas e da Natureza
Orientador

Dr. Leandro Silva de Oliveira
Universidade Federal de Minas Gerais
Examinador externo

Dr. Willian Hernández Castro
Universidade Nacional da Costa Rica
Examinador externo

RIO BRANCO-AC, BRASIL

[MÊS] DE [ANO]

[Espaço reservado para a inserção da ficha catalográfica]

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BORTOLOSO, T. N. S. (2025). Produção clonal de mudas de *Theobroma cacao L.* por miniestaquia em substratos alternativos: opção sustentável para o sudoeste da Amazônia. Dissertação de Mestrado em Ciência Florestal. Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal do Acre, Rio Branco-AC, 35 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Tayna Neri de Souza Bortoloso

GRAU: Mestre

Concedo à Universidade Federal do Acre-UFAC permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestá-las somente para propósitos acadêmicos e científicos. Reservo outros direitos de publicação, de forma que nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem minha autorização por escrito.

Tayna Neri de Souza Bortoloso

Endereço eletrônico: tayna.bortoloso@sou.ufac.br

À minha mãe, Iêda Maria Pereira Neri.

Dedico.

AGRADECIMENTOS (Use fonte versalete tamanho 14; negrito; texto justificado)

A Deus pela dádiva da vida, e, a saúde a mim concedida para que com força de vontade alcance meus objetivos.

À Universidade Federal do Acre – UFAC e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal – CIFLOR, por me proporcionarem a oportunidade de cursar a graduação e a pós-graduação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio, contribuindo com a construção deste projeto de pesquisa.

Ao Prof. Dr. Felipe Coelho de Souza por sua dedicação, orientação e parceria ao longo desses dois anos. Agradeço sua compreensão e apoio, especialmente, nos momentos de dificuldade, onde encontrei acolhimento, paciência e a sabedoria de alguém que, acima de tudo, respeita as limitações e ensina com maestria aquilo que se propõe a fazer. Minha gratidão por aceitar ser meu orientador e por sua engrandecedora contribuição durante essa caminhada.

À minha família pelo apoio incondicional ao longo da vida, em especial a minha amada mãe que com tão pouca escolaridade sempre me ensinou que o estudo seria prioridade em minha vida, e que através dele eu poderia mudar nossa realidade.

Ao meu filho, Caio Benvenuto Bortoloso, que ainda sendo uma criança mostrou sua nobreza por compreender que por muitas vezes eu precisei me dividir entre nossa família e o mestrado.

À Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SEMA, por acreditar na importância da especialização de seu corpo técnico.

À toda equipe do Viveiro da Floresta e Biofábrica de Clones da Amazônia, por todo apoio e parceria, em especial aos companheiros Ricardo Brasil e Mônica Antônio, que me acompanharam incansavelmente na execução desse projeto de pesquisa.

À minha companheira de turma, onde encontrei uma amiga, Annanda Campos, pela parceria, apoio e encorajamento.

À Engenheira Agrônoma, Simone Kaefer, e ao Prof. Dr. João Paulo Mastrângelo, pelo apoio excepcional na disponibilidade dos clones para a condução do experimento.

A todos que contribuíram, torceram e compartilharam comigo de alguma forma o que vivenciei e aprendi, minha gratidão.

SUMÁRIO

Resumo	1
Abstract.....	2
Introdução	3
Material e Métodos	6
<i>Área de estudo</i>	6
<i>Coleta de dados</i>	6
<i>Análise de dados</i>	10
Resultados.....	11
<i>Sobrevivência e enraizamento das mudas</i>	11
<i>Altura, diâmetro do colo e biomassa das mudas</i>	12
<i>Índices de qualidade</i>	14
Discussão	17
Conclusão	24
Referências Bibliográficas.....	25

Produção clonal de mudas de *Theobroma cacao* L. por miniestaquia em substratos alternativos: opção sustentável para o sudoeste da Amazônia *

Tayna Neri de Souza Bortoloso^{1,3}, Felipe Coelho de Souza²

¹Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal do Acre (UFAC), Caixa postal 500, 69920-900, Rio Branco, AC, Brasil

²Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, UFAc, Caixa postal 500, 69920-900, Rio Branco, AC, Brasil

³Autor para correspondência: tayna.bortoloso@sou.ufac.br

*Conforme normas do periódico [inserir nome] (Apêndice 1)

Resumo

O objetivo desta pesquisa foi avaliar a qualidade de mudas clonais de cacau (*Theobroma cacao* L.) produzidas por meio da técnica de miniestaquia em substratos alternativos, originados de resíduos vegetais e animais, produzidos no sudoeste da Amazônia. O estudo foi realizado no Viveiro da Floresta, Rio Branco, Acre. As miniestacas foram oriundas dos clones de cacaueiro CCN-51 e PS-1319. O delineamento estatístico utilizado foi em blocos casualizados, com 5 repetições contendo 10 plantas por unidade amostral e com 5 tratamentos por clone. As miniestacas tiveram suas bases submersas em solução de Ácido Indolbutírico – AIB, na proporção de 6.000 mg.Kg⁻¹. Os substratos utilizados apresentaram as seguintes composições: S1: cama de frango + terra de subsolo + casca de café (1:1:1 v/v/v); S2: terra de subsolo + farinha de osso + casca de café (1:1:1 v/v/v); S3: cama de frango + terra de subsolo + casca de castanha (1:1:1 v/v/v); S4: terra de subsolo + casca de castanha + farinha de osso (1:1:1 v/v/v); S5: casca de pinus + vermiculita + casca de arroz carbonizada (substrato comercial (testemunha)) (17:2:1 v/v/v). Os parâmetros avaliados foram sobrevivência (SB), raiz no fundo do tubete (RFT), enraizamento (ENR), altura (H), diâmetro do colo (DC), comprimento de raízes (CR), biomassa da parte aérea (MSPA), raiz (MSR) e total (MST) das mudas, relação entre altura e diâmetro do colo (H/DC), relação entre massa seca da parte aérea e massa seca da raiz (MSPA/MSR) e índice de qualidade de Dickson (IQD). Aos 77 dias, as taxas de SB foram superiores a 53% (CCN 51) e 60% (PS 1319), com destaque para os substratos alternativos S1 e S3, que apresentaram desempenho igual ou superior ao comercial ($p \leq 0,05$). Aos 180 dias, o S3 manteve a maior SB, com taxa de 70% para o clone PS 1319 ($p \leq 0,05$). As variáveis morfológicas indicaram crescimento e equilíbrio morfológico semelhantes entre os substratos, com S3 e S4 promovendo maior H e S1 maior CR ($p \leq 0,05$). As massas secas e o índice H/D não diferiram entre si ($p > 0,05$), evidenciando uniformidade entre os tratamentos. O Índice de Qualidade de Dickson variou de 0,23 a 0,42, com desempenho equivalente ao substrato comercial ($p \leq 0,05$). A técnica de miniestaquia demonstrou ser uma alternativa tecnicamente viável para a produção de mudas clonais de *Theobroma cacao* L. em substratos alternativos, possibilitando a formação de plantas com padrões morfológicos equivalentes àquelas produzidas em substrato comercial.

Palavras-chave: Cacaucultura. Resíduos agroindustriais. Propagação vegetativa. Sustentabilidade.

Abstract

Clonal production of *Theobroma cacao* L. seedlings by mini-cuttings in alternative substrates: a sustainable option for the southwestern amazon

The objective of this research was to evaluate the quality of clonal cocoa (*Theobroma cacao* L.) seedlings produced through the mini-cutting technique on alternative substrates derived from plant and animal residues generated in the southwestern Amazon. The study was conducted at the Viveiro da Floresta in Rio Branco, Acre, Brazil. The mini-cuttings were originated from the cocoa clones CCN-51 and PS-1319. The experimental design consisted of randomized blocks with five replications, each containing ten plants per experimental unit and five treatments per clone. The bases of the mini-cutting were submerged in a solution of Indolebutyric Acid (IBA) at a concentration of 6,000 mg.Kg⁻¹. The substrates used had the following compositions: S1: poultry litter + subsoil + coffee husk (1:1:1 v/v/v); S2: subsoil + bone meal + coffee husk (1:1:1 v/v/v); S3: poultry litter + subsoil + Brazil nut shell (1:1:1 v/v/v); S4: subsoil + Brazil nut shell + bone meal (1:1:1 v/v/v); S5: pine bark + vermiculite + carbonized rice husk (commercial substrate, control) (17:2:1 v/v/v). The evaluated parameters included survival rate, root at the bottom of the tube, rooting percentage, height, stem diameter, shoot, total aboveground biomass, root and total seedling, shoot-to-root height-to-diameter ratio (H/SD), shoot-to-root dry mass ratio (SDM/RDM), and Dickson's Quality Index (DQI). At 77 days, SB rates were higher than 53% (CCN 51) and 60% (PS 1319), with the alternative substrates S1 and S3 standing out, showing performance equal to or better than the commercial substrate ($p \leq 0.05$). At 180 days, S3 maintained the highest SB, with a rate of 70% for clone PS 1319 ($p \leq 0.05$). Morphometric variables indicated similar growth and morphological balance among the substrates, with S3 and S4 promoting higher H and S1 higher CR ($p \leq 0.05$). Dry mass and H/D index did not differ from each other ($p > 0.05$), showing uniformity among treatments. Dickson's Quality Index ranged from 0.23 to 0.42, with performance equivalent to the commercial substrate ($p \leq 0.05$). The mini-cutting technique proved to be a technically viable alternative for the production of *Theobroma cacao* L. clonal seedlings in alternative substrates, enabling the formation of plants with morphological standards equivalent to those produced in commercial substrates.

Key words: Cocoa farming. Agro-industrial waste. Vegetative propagation. Sustainability.

Introdução

O Cacaueiro (*Theobroma cacao* L.) é uma valiosa commodity brasileira que possui alta relevância econômica, dado o fato de suas sementes serem a matéria-prima do chocolate, que é consumido mundialmente. Logo, a alta demanda por frutos de cacau estima a produção de mudas (Freitas *et al*, 2024). Originário de florestas tropicais úmidas nas bacias dos rios Amazonas e Orinoco, sendo o último com sua nascente na Venezuela, a produção do cacaueiro aumentou gradativamente, especialmente na África Ocidental e Central, inserido nessa região como uma cultura pioneira de exportação em áreas de florestas (Ingram *et al.*, 2025).

O Brasil ocupa a 6ª posição no ranking de produtor mundial de cacau, com aproximadamente 600 mil hectares cultivados e 75 mil produtores, onde 60% pertencem a agricultura familiar. Com esses números, o Brasil tem atingido uma produção superior a 200 mil toneladas de amêndoas por ano. No entanto, o país detém um dos maiores parques moageiros do mundo, com capacidade de processamento superior a 300 mil toneladas de amêndoas por ano, resultando na necessidade de importação de amêndoas de países africanos para manter sua estrutura em funcionamento (IBGE, 2023).

Na Amazônia, a produção de mudas seminais de cacau da variedade Forasteiro, popularmente conhecido como “cacau comum”, e de clones da variedade CCN-51, tem se intensificado, por ser uma cultura adaptada ao clima tropical chuvoso, de alta precipitação e temperaturas elevadas (Costa *et al*, 2017). Apesar desse contexto, no Acre, um dos principais obstáculos é a limitada disponibilidade de sementes e mudas, dificultando consideravelmente o desenvolvimento da cadeia produtiva no estado. Além disso, as áreas implantadas com esse tipo de muda tendem a apresentar maior heterogeneidade, em razão da diversidade genética oriunda de sementes. Como consequência, parte das plantas não expressa plenamente suas características, resultando na ocorrência de indivíduos com baixa frutificação, menor resistência a pragas e outras características indesejáveis (BRASIL, 2024).

A Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC), instituição pública voltada para o estudo e ampliação da cacaucultura no Brasil, disponibiliza sementes híbridas diretamente aos produtores mediante solicitação formal realizada no primeiro trimestre de cada ano. No entanto, essa produção ainda não alcança grande parte dos estados brasileiros, incluindo o Acre (BRASIL, 2024).

Nesse contexto, a propagação vegetativa surge como uma técnica que possibilita a produção ao longo do ano, não dependendo da disponibilidade de sementes,

complementando a oferta de mudas por via seminal. A propagação vegetativa permite a seleção de matrizes com características fenotípicas superiores, a formação de um banco de matrizes e de variedades resistentes a pragas e doenças e, a uniformidade dos lotes (Oliveira *et al.*, 2016). Esse método de propagação permite ampliar e melhorar a qualidade de mudas de cacauetei ofertadas e, principalmente, facilitar ao pequeno produtor o uso de uma metodologia que torne o processo de produção de mudas mais acessível.

Na produção de mudas de cacauetei, a propagação vegetativa por meio da miniestaquia tem sido uma técnica interessante a ser estudada como alternativa para acelerar o processo de produção e aumentar a oferta de mudas para ser utilizada tanto em plantios comerciais como na restauração florestal. Além disso, este método pode conferir a resistência a pragas e doenças que tem atacado os plantios desta espécie. Porém, ao adotar esta técnica de produção de mudas para o cacauetei é necessário vencer inúmeros desafios, incluindo a escolha do substrato mais adequado para garantir ambiente favorável ao desenvolvimento das raízes nas estacas (Marrocos *et al.*, 2004).

O substrato é um dos fatores mais importantes na produção de mudas clonais e está diretamente ligado a qualidade e quantidade de mudas ofertadas (Marques *et al.*, 2017; Alves *et al.*, 2021). A seleção de constituintes adequados para formulação de substratos deve ser levada em consideração na propagação vegetativa, pois, a formação inicial da muda interfere na sobrevivência e no crescimento em campo (Da Ros *et al.*, 2015), além disso, deve ser considerado o custo-benefício, a disponibilidade na região, a esterilidade biológica e o fácil manuseio (Silva *et al.*, 2020). Outrossim, dependendo da região em que se encontra, pode-se optar por utilizar substratos alternativos como estratégia para reduzir custos de produção de mudas.

Diversos materiais podem ser utilizados na formulação de substratos, destacando-se, entre os mais empregados, a terra de subsolo, a vermiculita, a areia, o composto orgânico, o esterco bovino curtido e a casca de arroz carbonizada (FARIA *et al.*, 2018). O Brasil é um país rico em variedades de resíduos, assim como a casca de café, casca de castanha, em virtude dos cultivos distribuídos ao longo de seu território. Parte desses resíduos são renováveis, oriundos do processamento de sua matéria-prima amplamente disponível e de baixo custo (Faria *et al.*, 2020).

Nesse contexto, o aproveitamento direto de resíduos da agroindústria para formulação de substratos se destaca como uma das abordagens mais inovadoras para reaproveitar resíduos e subprodutos (Silva *et al.*, 2020). Mesmo com muitas pesquisas nesse âmbito, países em desenvolvimento, como o Brasil (Deus *et al.*, 2017), ainda fazem o uso

de aterros sanitários como depósito desses resíduos orgânicos (Lim *et al.*, 2016). A formulação de substratos alternativos por meio do aproveitamento de resíduos da agroindústria que apresentem boa estrutura física, química e disponibilidade de matéria orgânica, reduz a dependência de insumos externos, criando sistemas produtivos adaptados às condições locais.

No sudoeste da Amazônia, o custo de produção de mudas é elevado, especialmente, pela aquisição de insumos de outras regiões do país. O substrato comercial destaca-se pelo alto custo de transporte, o que dificulta a sua utilização em viveiros de pequeno a médio porte na região, demonstrando a necessidade de estudos que tem por objetivo avaliar a utilização de substratos alternativos na produção de mudas clonais de cacaueteiro (Maeda *et al.*, 2007).

Diante do exposto, o objetivo desse estudo foi avaliar a qualidade de mudas clonais de cacau (*Theobroma cacao* L.), produzidas por meio da técnica de miniestaquia em substratos alternativos, a fim de escalar a produção de mudas desta espécie no estado do Acre, reduzir custos de produção e tornar o processo mais acessível ao pequeno e médio produtor.

Material e Métodos

Área de estudo

O experimento foi conduzido no Viveiro da Floresta, unidade de produção de mudas nativas da Secretaria de Estado do Meio Ambiente - SEMA, na cidade de Rio Branco - Acre (Figura 1).

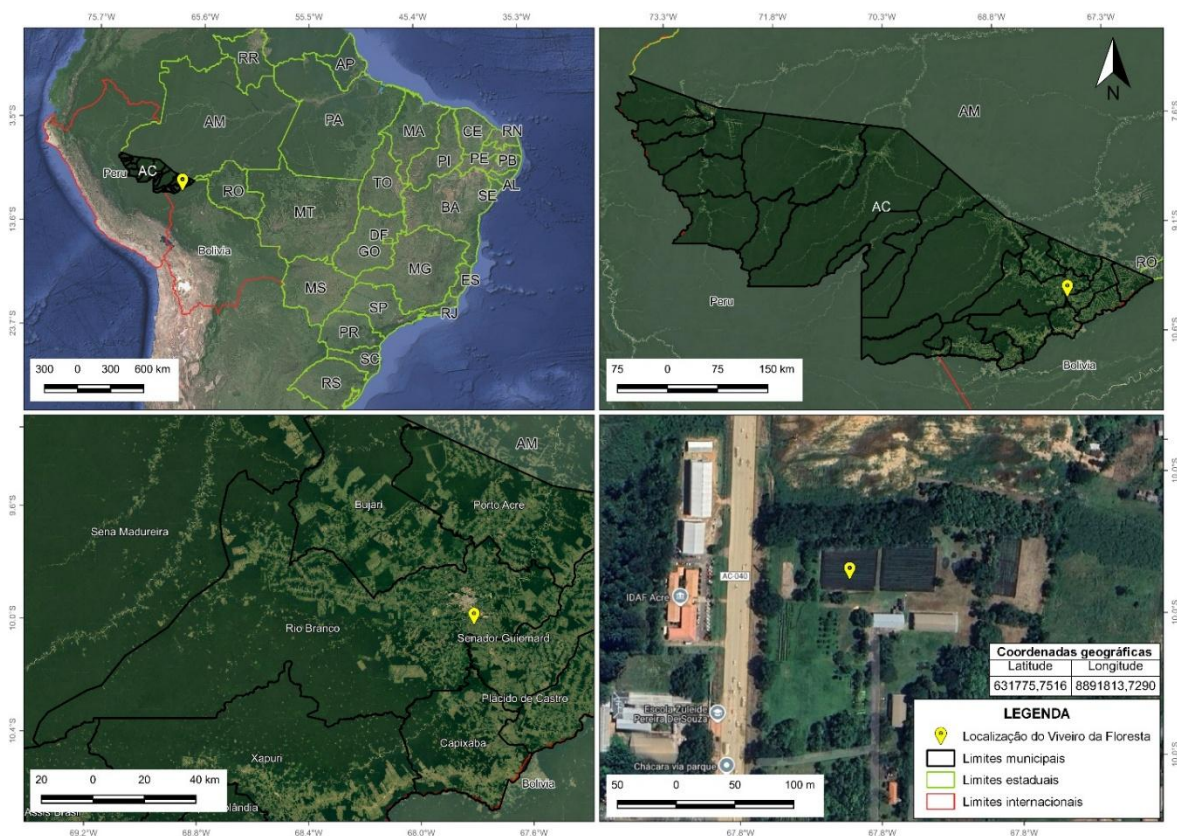


Figura 1. – Localização do Viveiro da Floresta em Rio branco, Acre

O município de Rio Branco possui um clima tropical, marcado por uma grande diferença na quantidade de chuvas entre as estações, com verões chuvosos e invernos mais secos. De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, a cidade se enquadra na categoria Aw. A temperatura média ao longo do ano é de aproximadamente 25,5 °C, e o volume anual de precipitação é de cerca de 1806 mm (Climate Data, 2024).

Coleta de dados

O material vegetativo, miniestacas, foram obtidas no município de PortoVelho – RO, distrito de Vila Califórnia. Considerando o deslocamento, bem como o tempo destinado à coleta do material vegetativo, o tempo total médio para a realização das atividades até o estaqueamento das miniestacas no substrato, foi de aproximadamente 8 horas (Figura 2).

Além disso, o comprimento adotado para as miniestacas variou entre 8 e 10 cm. As miniestacas apresentaram consistência semilenhosas oriundas dos clones de cacaueteiro CCN-51 (Clone 1) e PS-1319 (Clone 2).

O experimento foi implantado no mês de fevereiro e conduzido até agosto, abrangendo o período correspondente ao inverno amazônico em sua fase inicial e ao verão amazônico na etapa final de avaliação.



Figura 2. Coleta e estaqueamento das miniestacas.

A escolha do híbrido CCN 51, que foi criado em 1965 é pela sua capacidade em ser tolerante a doenças, principalmente a vassoura de bruxa, e por ter alta produtividade e qualidade (Andrade *et al.*, 2019). Os genótipos do Clone 1 e Clone 2 possuem um melhor perfil agrônomo, se comparado com os demais, com características superiores em relação a produtividade, ultrapassando 7.000 kg/ha/ano (Zugaib *et al.*, 2020). As cultivares selecionadas apresentam alto potencial produtivo, boa qualidade organoléptica e boa arquitetura, o que as destaca na escolha entre os produtores (Freitas *et al.*, 2025).

Os substratos consistiram dos seguintes componentes: cama de frango (CF), terra de subsolo (TS), casca de café (CC), casca de castanha (CCt), farinha de osso (FO) e substrato comercial (SC) composto de 85% de casca de pinus, 10% vermiculita, 5% de casca de arroz carbonizada aditivado com NPK. Foram testadas as seguintes combinações de materiais conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1. Formulações dos substratos para a produção de mudas clonais de cacau

SUBSTRATO	COMBINAÇÕES	PROPORÇÃO
S1	Cama de frango (CF) + terra de subsolo (TS) + casca de café (CF)	(1:1:1 v/v/v)
S2	Terra de subsolo (TS) + farinha de osso (FO) + casca de café (CC)	(1:1:1 v/v/v)
S3	Cama de frango (CF), terra de subsolo (TS) + casca de castanha (CCt)	(1:1:1 v/v/v)
S4	Terra de subsolo (TS) + casca de castanha (CCt) + farinha de osso (FO)	(1:1:1 v/v/v)
S5	Substrato comercial (testemunha) (casca de pinus + vermiculita + casca de arroz carbonizada)	(17:2:1 v/v/v)

Os substratos foram submetidos às análises, para determinação dos teores de macro e micronutrientes, análises químicas, físicas, bem como os teores de matéria orgânica dos componentes presentes nos substratos (Quadros 1 e 2), os testes foram realizados no Laboratório de Análises e Consultoria Agrícola e Ambiental, em São José do Rio Preto, SP.

Quadro1. Resultado de análise química dos substratos para a produção de mudas clonais de cacau

Substrato	Umidade g/kg	pH (CaCl ₂)	CO	C/N	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	B	Cu	Mn	Zn
					g/kg							mg/kg			
S1	144	6,1	105,3	17,3	6,1	3,4	12,3	10	2,5	2,8	13,5	2,0	22	345	58
S2	159	7,7	66,0	16,1	4,1	30,0	5,4	162	3,6	2,6	10,3	3,0	16	262	87
S3	166	6,2	132,6	18,9	7,0	4,0	7,4	27	3,4	3,1	14,5	3,0	28	288	123
S4	155	7,3	76,3	15,0	5,1	31,1	5,1	228	4,2	3,4	18,8	1,0	17	168	92
S5	580	6,0	200,0	20,0	4,0	14,0	8,0	10	3,0	2,0	0,25	0,5	5	100	20

S 1: Cama de frango (CF) + terra de subsolo (TS) + casca de café (CF); S2: Terra de subsolo (TS) + farinha de osso (FO) + casca de café (CC); S 3: Cama de frango (CF), terra de subsolo (TS) + casca de castanha (CCt); S 4: Terra de subsolo (TS) + casca de castanha (CCt) + farinha de osso (FO); S 5: Substrato comercial (testemunha) (casca de pinus + vermiculita + casca de arroz carbonizada).

Quadro 2. Resultados de análise física dos substratos para a produção de mudas clonais de cacau

Substrato	C E	CTC	DU	DS	CRA	VTP
	$\mu\text{S}/\text{cm}$	mmolc/kg	g/cm^3	g/cm^3	g/kg	%
S1	1716	1046	0,25	0,63	334	50,4
S2	2041	8550	0,34	0,80	313	53,2
S3	2028	1826	0,33	0,63	345	62,8
S4	1961	11918	0,27	0,73	327	53,6
S5	2750	500	0,48	0,31	900	78,0

*CE: condutividade elétrica; CTC: capacidade de troca de cátions; DU: densidade úmida; DS: densidade seca; CRA: capacidade de retenção de água; VTP: volume total de poros. S1: Cama de frango (CF) + terra de subsolo (TS) + casca de café (CF); S2: Terra de subsolo (TS) + farinha de osso (FO) + casca de café (CC); S 3: Cama de frango (CF), terra de subsolo (TS) + casca de castanha (CCt); S 4: Terra de subsolo (TS) + casca de castanha (CCt) + farinha de osso (FO); S 5: Substrato comercial (testemunha) (casca de pinus + vermiculita + casca de arroz carbonizada).

As miniestacas coletadas para a montagem do experimento foram submetidas ao ácido indolbutírico – AIB, realizando-se imersão de suas bases (2 cm) pelo tempo de 10 segundos, na concentração de 6.000 mg.Kg^{-1} , sendo essa a dosagem adotada para os clones de cacau, conforme estudos feitos pelo Instituto Biofábrica de Cacau (Sodré; Marrocos, 2009).

Após a aplicação dos tratamentos, as miniestacas foram colocadas em tubetes de 180 cm^3 . A profundidade do estaqueamento foi de $2/3$ do tamanho da miniestaca. O experimento foi conduzido na casa de sombra, utilizando materiais de baixo custo para sua implantação, a partir do uso de canos em PVC para a montagem de sua estrutura e tela de sombreamento de 50%, com sistema de irrigação por nebulização. Os ciclos da irrigação foram acionados a cada 60 minutos, com duração de 1 minuto, nos primeiros 77 dias, data da primeira avaliação do experimento.

O experimento foi montado usando o delineamento estatístico em blocos casualizados, com 5 repetições contendo 10 plantas por unidade amostral e com 5 tratamentos por clone.

A partir do sétimo dia após a instalação do experimento, os tratamentos passaram a receber, semanalmente, aplicação de fertilizante mineral misto solúvel em água, contendo nitrogênio, fósforo e óxido de potássio, na dose de 20 g para 10 L de água. A adubação foi realizada via foliar ou direcionada à base das plantas, visando favorecer a rápida disponibilidade de nutrientes e estimular o desenvolvimento inicial do sistema radicular. Quando as mudas atingiram 77 dias foi utilizada avaliação de sobrevivência para cada um dos clones, sendo determinada pelo número de mudas com raiz aparente na base do tubete, muda sem raiz aparente e as miniestacas mortas. Em seguida, as mudas foram levadas para

a aclimação a pleno sol, sendo alterado os ciclos de irrigação para quatro vezes ao dia, com duração de 10 minutos, até o final do experimento.

Aos 180 dias após o estabelecimento do experimento, foi realizada a última avaliação e as variáveis de respostas analisadas foram a sobrevivência das miniestacas, o enraizamento, o comprimento da raiz (cm), a altura das mudas com auxílio de régua graduada (cm), o diâmetro do colo com auxílio de um paquímetro (0,01mm) e a biomassa da parte aérea e da raiz das mudas. Para a avaliação da qualidade das mudas, estas foram retiradas do substrato e lavadas em água. As raízes foram separadas da parte aérea, colocadas em sacos de papel separadamente, previamente identificados, indo à estufa com temperatura de 65°C para secagem do material. Por fim, as amostras foram pesadas com auxílio de balança de precisão.

Para a determinação dos índices que avaliam a qualidade das mudas, foi calculada a relação entre altura da parte aérea (H) e diâmetro de coleto (DC), utilizando a seguinte equação:

$$\frac{H}{DC}$$

Em complemento, foi calculada a relação entre a massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR), através da seguinte fórmula:

$$\frac{MSPA}{MSR}$$

Por fim, a avaliação da qualidade das mudas pelo Índice de Qualidade de Dickson (IQD), segundo Dickson *et al.* (1960), obtido pela equação a seguir:

$$IQD = \frac{MST}{\frac{H}{DC} + \frac{MSPA}{MSR}}$$

Análise de dados

Os dados obtidos foram organizados em planilhas eletrônicas e submetidos ao teste de Bartlett ($p < 0,05$) e de normalidade de Shapiro–Wilk. Após a confirmação da distribuição normal dos resíduos, procederam-se as análises descritivas e a análise de variância (ANOVA) com base no delineamento em blocos casualizados (DBC). Quando observada diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$), aplicou-se o teste de Tukey para a comparação das médias entre os tratamentos. As análises estatísticas foram realizadas no programa R Studio versão setembro de 2024.

Resultados

Sobrevivência e enraizamento das mudas

Em relação a sobrevivência (SB), após 77 dias do estaqueamento, foram verificados valores superiores a 53% e 60% para os clones 1 e 2, respectivamente. Não houve diferença ($p>0,05$) entre os tratamentos do clone 1 para SB. Enquanto para o clone 2, os substratos alternativos apresentaram valores de SB superiores ($p\leq 0,05$) ou iguais ao comercial, com destaque para os substratos 1 e 3 (Tabela 2).

Tabela 2. Sobrevivência (SB), raízes observadas no fundo do tubete (RFT) e enraizamento (ENR) de miniestacas de cacauero aos 77 e 180 dias após o estaqueamento em diferentes substratos.

Clone	Substratos	77 DIAS		180 DIAS	
		SB	RFT (%)	SB (%)	ENR (%)
CCN 51	S1	53,3 a	43,3 a	43,3 a	43,3 a
	S2	60,0 a	50,0 a	40,0 a	40,0 a
	S3	63,3 a	63,3 a	50,0 a	50,0 a
	S4	56,6 a	53,3 a	46,7 a	46,7 a
	S5	60,0 a	53,3 a	53,3 a	53,3 a
PS 1319	S1	75,0 a	65,0 ab	35,0 b	35,0 b
	S2	65,0 b	65,0 ab	45,0 ab	45,0 ab
	S3	80,0 a	70,0 a	75,0 a	75,0 a
	S4	65,0 b	65,0 ab	55,0 ab	55,0 ab
	S5	60,0 b	60,0 b	45,0 ab	45,0 ab

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. S 1: Cama de frango (CF) + terra de subsolo (TS) + casca de café (CF); S2: Terra de subsolo (TS) + farinha de osso (FO) + casca de café (CC); S 3: Cama de frango (CF), terra de subsolo (TS) + casca de castanha (CCt); S 4: Terra de subsolo (TS) + casca de castanha (CCt) + farinha de osso (FO); S 5: Substrato comercial (testemunha) (casca de pinus + vermiculita + casca de arroz carbonizada).

Para o parâmetro raízes observadas no fundo do tubete (RFT), reiteradamente não foi observado diferença ($p>0,05$) entre os tratamentos para o clone 1, cujos valores foram superiores a 43%. O clone 2 apresentou valores de RFT superiores a 60%, sendo que os substratos alternativos proporcionaram percentuais de enraizamento iguais ou superiores ao tratamento testemunha (S5), com ênfase para o substrato 3 (S3) (Tabela 2).

Aos 180 dias do estaqueamento, em relação a SB foram verificados valores superiores a 40% e 35%, para os clones 1 e 2, respectivamente. Assim como na primeira avaliação, não houve diferença ($p>0,05$) entre os tratamentos do clone 1 para SB, com

valores entre 40 a 54%. Para o clone 2, o S3 apresentou o maior valor de SB com resultado acima de 70%, enquanto para o S1 foi verificado valor abaixo de 40%, o pior desempenho entre os substratos para este parâmetro. O mesmo se repete para o parâmetro enraizamento (ENR), onde as porcentagens coincidem com a sobrevivência, tendo em vista que todas as miniestacas vivas aos 180 dias apresentaram desenvolvimento radicular aparente (Tabela 2). Para o clone 1, observou-se uma redução média de 18,8% na sobrevivência das mudas entre a primeira avaliação, realizada aos 77 dias, e a segunda, aos 180 dias. Para o clone 2, a redução média foi mais acentuada, atingindo 25% no mesmo intervalo de avaliação (Tabela 2).

Ao final do processo de avaliação de sobrevivência e enraizamento das miniestacas de cacauzeiro pode-se verificar desempenho similar ou superior dos substratos alternativos em relação ao comercial para os dois clones.

Altura, diâmetro do colo e biomassa das mudas

As variáveis morfométricas das mudas de cacauzeiro apresentaram comportamentos diferenciados em função dos clones e dos substratos avaliados. Para a variável altura (H), constatou-se que os substratos alternativos S3 (clone 1) e S4 (clone 2) proporcionaram maior crescimento das mudas, com valores acima de 14,9 cm, enquanto o menor crescimento em H foi observado para os substratos S2 e S4 (clone 1) e S1 (clone 2) (Tabela 3). De forma geral, os substratos alternativos apresentaram média de H similares ao comercial (S5).

Não foram observadas diferenças significativas para o diâmetro do coleto (DC) entre os tratamentos ($p>0,05$), evidenciando desempenho semelhante entre os substratos alternativos e o comercial para os dois clones avaliados (Tabela 3). Os valores médios de DC foram superiores a 7 cm. Já no que diz respeito ao comprimento radicular (CR), observou-se que para o clone 1, houve maior ($p\leq 0,05$) crescimento radicular para o substrato S1, com média superior a 13,5 cm. Este resultado superou CR do substrato comercial (S5), enquanto o menor valor foi observado para o S4, com valor 30,7% menor do que o CR do S1. Os valores de CR do clone 2 não apresentaram diferença entre os tratamentos ($p>0,05$), indicando uma tendência de uniformidade no desenvolvimento radicular das mudas entre os substratos. Os valores médios de CR deste clone ficaram entre 11,6 a 12,7cm.

Em relação a massa seca da parte aérea (MSPA), não houve diferença ($p>0,05$) entre os tratamentos para o clone 1, com valores abaixo de 1,45 g/planta. Para o clone 2, os tratamentos S2, S3 e S4 apresentaram médias de MSPA estatisticamente semelhantes à

testemunha (S5), enquanto o S1 apresentou o menor desempenho com valor 41,4% menor que o S5 (Tabela 3 e Figura 3).



Figura 3. Massa seca da parte aérea dos Clones 1 e Clones 2.

Em consideração a massa seca de raiz (MSR) para o clone 1, os substratos alternativos apresentaram resultado semelhante ($p>0,05$) ao comercial (S5), com destaque para o tratamento S2 com média superior à 0,50 g/planta. Já para o clone 2, apenas o substrato S4 foi estatisticamente igual ao S5, enquanto para o S2 foi verificado o menor desempenho com média 47,1% menor que a testemunha (Tabela 3 e Figura 4).



Figura 4. Massa seca da raiz dos Clones 1 e Clone 2.

Tabela 3. Médias das variáveis altura (H), diâmetro do coleto (DC), comprimento de raízes (CR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR) e massa seca total (MST) de mudas de cacaueiro produzidas por ministaquia em diferentes substratos aos 180 dias após o estaqueamento.

Clone	Substratos	H (cm)	DC (mm)	CR (cm)	MSPA (g/planta)	MSR (g/planta)	MST (g/planta)
CCN 51	S1	14,47 ab	7,10 a	13,56 a	1,34 a	0,32 ab	1,66 a
	S2	13,86 b	7,62 a	10,62 bc	1,42 a	0,51 a	1,94 a
	S3	14,98 a	7,42 a	10,19 bc	1,35 a	0,32 ab	1,68 a
	S4	14,15 b	7,25 a	9,40 c	1,30 a	0,27 b	1,58 a
	S5	14,60 ab	7,90 a	10,79 b	1,20 a	0,30 ab	1,50 a
CV (%)		10,43	6,13	4,33	33,69	23,71	28,44
PS 1319	S1	11,75 b	7,75 a	11,75 a	1,09 b	0,28 bc	1,37 b
	S2	14,26 ab	7,46 a	11,66 a	1,25 ab	0,27 c	1,52 ab
	S3	14,27 ab	7,19 a	12,25 a	1,38 ab	0,32 bc	1,70 ab
	S4	15,19 a	7,47 a	12,66 a	1,54 ab	0,45 ab	1,99 ab
	S5	13,77 ab	7,35 a	11,92 a	1,86 a	0,51 a	2,37 a
CV (%)		7,44	5,17	11,35	19,24	16,97	17,35

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. DC = diâmetro do coleto; CR = comprimento da raiz; MSPA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca da raiz; MST = massa seca total; CV = coeficiente de variação. S 1: Cama de frango (CF) + terra de subsolo (TS) + casca de café (CC); S2: Terra de subsolo (TS) + farinha de osso (FO) + casca de café (CC); S 3: Cama de frango (CF), terra de subsolo (TS) + casca de castanha (CCt); S 4: Terra de subsolo (TS) + casca de castanha (CCt) + farinha de osso (FO); S 5: Substrato comercial (testemunha) (casca de pinus + vermiculita + casca de arroz carbonizada).

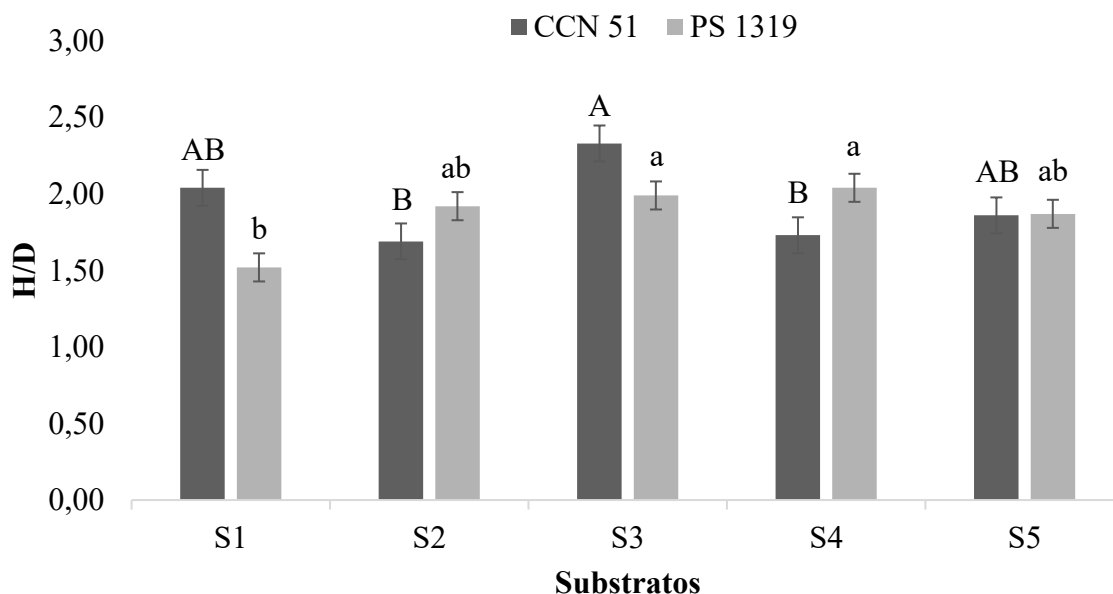
A massa seca total (MST) acompanhou o comportamento da MSPA para o clone 1, ou seja, não houve diferença ($p > 0,05$) entre os tratamentos e os valores de média ficaram acima de 1,49 g/planta. Em relação ao clone 2, os substratos alternativos foram similares estatisticamente ao comercial, com exceção do substrato S1, que apresentou média de MST inferior a 1,40 g/planta ou 42,2% menor que o S5 (Tabela 3).

Índices de qualidade

Na análise do índice altura/diâmetro do coleto (H/DC), em relação ao clone 1, observou-se diferença ($p \leq 0,05$) entre os tratamentos. De forma geral, os substratos alternativos apresentaram H/DC estatisticamente similar ao do comercial. Para o clone 1, as médias de H/DC ficaram entre 1,68 a 2,33, com destaque para o S2 e S4 que apresentaram os menores valores, abaixo de 1,75. Já para o clone 2, os valores de H/DC ficaram abaixo de 2,1 e, novamente, os substratos alternativos apresentaram valores de H/DC estatisticamente

semelhantes a testemunha, com ênfase para o S1 com valor inferior a 1,6, demonstrando que as composições estabelecidas para esses substratos são capazes de proporcionar desenvolvimento semelhante ou superior ao padrão amplamente utilizado, o comercial (Figura 1).

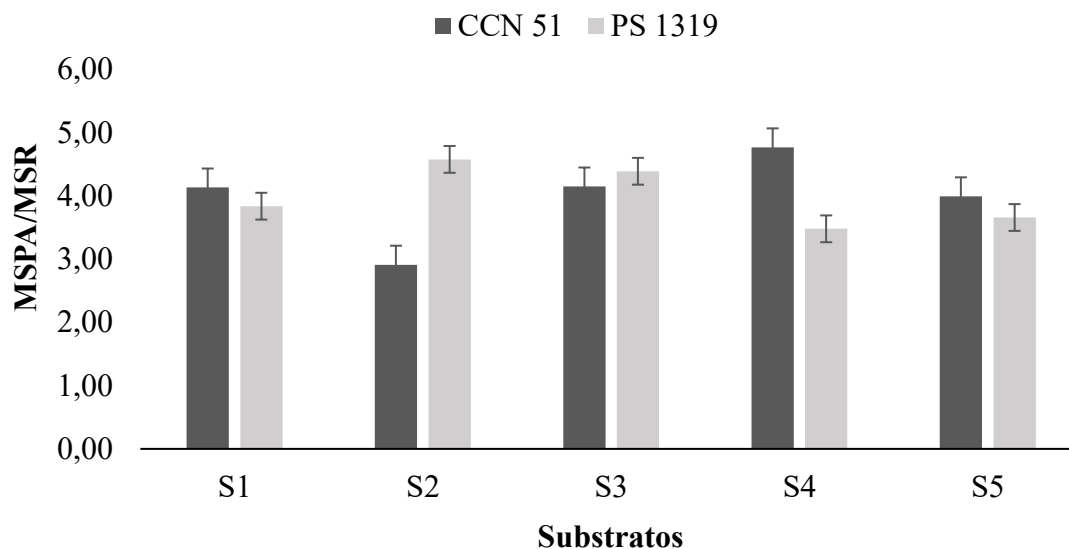
Figura 1. Relação entre altura e diâmetro (H/D) de mudas clonais de cacaueteiro, produzidas por miniestaquia em diferentes substratos.



Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas e minúsculas nas colunas não diferem entre si para o clone CCN51 e PS1319, respectivamente, pelo Teste Tukey a 5% de significância. S 1: Cama de frango (CF) + terra de subsolo (TS) + casca de café (CC); S2: Terra de subsolo (TS) + farinha de osso (FO) + casca de café (CC); S 3: Cama de frango (CF), terra de subsolo (TS) + casca de castanha (CCt); S 4: Terra de subsolo (TS) + casca de castanha (CCt) + farinha de osso (FO); S 5: Substrato comercial (testemunha) (casca de pinus + vermiculita + casca de arroz carbonizada).

Os substratos alternativos não apresentaram diferenças quando comparados com a testemunha (S5) ($p > 0,05$) quanto à relação MSPA/MSR para os dois clones. Os valores do índice MSPA/MSR ficaram entre 2,91 e 4,76 para o clone 1 e, 3,47 e 4,57 para o clone 2 (Figura 2). Isso indica mais uma vez que os substratos estudados proporcionaram desenvolvimento da parte aérea quanto radicular semelhantes às mudas produzidas no S5 (testemunha), sem comprometer a distribuição de biomassa entre as partes avaliadas.

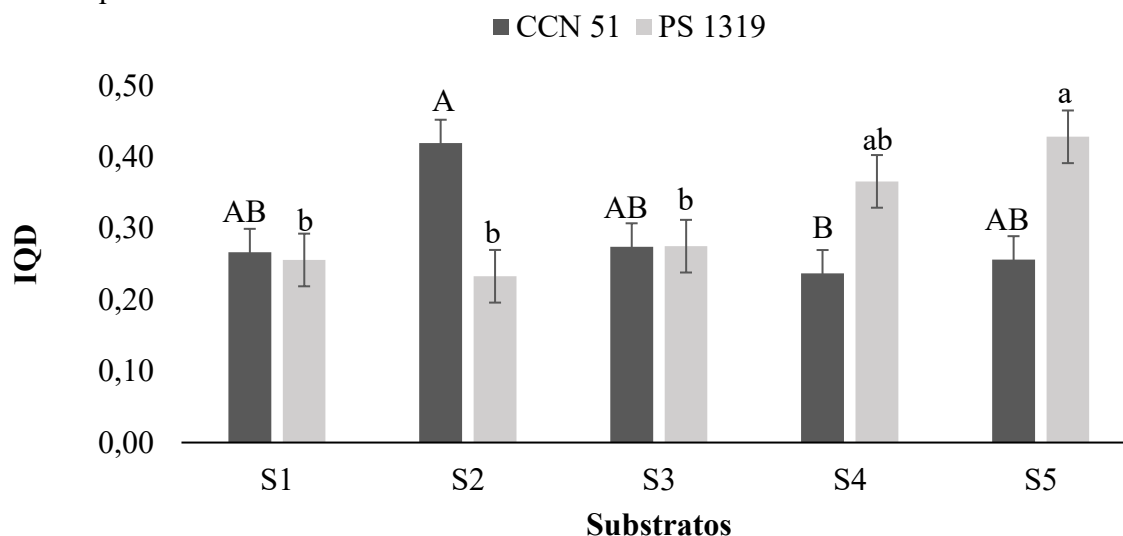
Figura 2. Relação entre a massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) de mudas de cacaueteiro, produzidas por miniestaquia em diferentes substratos.



S1: Cama de frango (CF) + terra de subsolo (TS) + casca de café (CC); S2: Terra de subsolo (TS) + farinha de osso (FO) + casca de café (CC); S3: Cama de frango (CF), terra de subsolo (TS) + casca de castanha (CCt); S4: Terra de subsolo (TS) + casca de castanha (CCt) + farinha de osso (FO); S5: Substrato comercial (testemunha) (casca de pinus + vermiculita + casca de arroz carbonizada).

No que se refere ao Índice de Qualidade de Dickson (IQD), para o clone 1, novamente, houve diferença entre os tratamentos ($p \leq 0,05$) avaliados. O valor de IQD foi superior a 0,42 para o S2, enquanto o S4 apresentou o menor desempenho com valor abaixo de 0,24. De forma geral, os substratos alternativos apresentaram valores de IQD semelhantes ao comercial. Já para o clone 2, os valores de IQD foram superiores a 0,23 na qual, dos substratos alternativos, somente o S4 conseguiu desempenho estatisticamente similar ao comercial, com valor superior a 0,37. Os substratos S1, S2 e S3 demonstraram valores de IQD entre 0,24 e 0,28 (Figura 3).

Figura 3. Índice de Qualidade de Dickson (IQD) de mudas de cacaueiro, produzidas por miniestaquia em diferentes substratos.



Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas e minúsculas nas colunas não diferem entre si para o clone CCN51 e PS1319, respectivamente, pelo Teste Tukey a 5% de significância. S 1: Cama de frango (CF) + terra de subsolo (TS) + casca de café (CC); S2: Terra de subsolo (TS) + farinha de osso (FO) + casca de café (CC); S 3: Cama de frango (CF), terra de subsolo (TS) + casca de castanha (CCt); S 4: Terra de subsolo (TS) + casca de castanha (CCt) + farinha de osso (FO); S 5: Substrato comercial (testemunha) (casca de pinus + vermiculita + casca de arroz carbonizada).

Discussão

No presente estudo, os dados obtidos para sobrevivência das miniestacas demonstraram que, tanto aos 77 quanto aos 180 dias após o estaqueamento, os substratos alternativos apresentaram desempenho semelhante ou superior ao substrato comercial em ambos os clones, evidenciando que as formulações testadas apresentaram características que podem ser importantes para o estabelecimento inicial das miniestacas.

A mortalidade média das mudas aos 90 e 180 dias foi 36,2% e 51,2%, respectivamente, valores superiores aos encontrados por Faria e Sacramento (2003), para três variedades de clones de cacaueiro tratados com doses de AIB. A mortalidade acima de 50% pode estar associada aos primeiros dias após o estaqueamento, onde foram observadas altas temperaturas. Nessa fase, as miniestacas perdem água por transpiração rapidamente, pois ainda não possuem sistema radicular para reposição, levando à murcha e, consequentemente, morte do material vegetativo (Hartmann *et al.* (2011); Xavier *et al.* (2013)). Além disso, a transição do inverno amazônico para o verão, caracterizada pelo aumento da temperatura e pela diminuição da umidade relativa do ar, provavelmente intensificou o estresse hídrico, comprometendo a manutenção das plantas estabelecidas inicialmente. Dessa forma, ao se considerar a técnica de miniestaquia aplicada ao cacaueiro, os resultados obtidos neste estudo evidenciam a necessidade de atenção rigorosa às

condições do ambiente de enraizamento, sobretudo no período imediatamente posterior ao estaqueamento das miniestacas, etapa crítica para o sucesso do processo de propagação.

De acordo com a análise de enraizamento, os substratos alternativos apresentaram desempenho equivalente ou superior ao substrato comercial para ambos os clones avaliados (Tabela 2). Esse resultado evidencia que os materiais testados contribuíram para superar um dos principais desafios associados à adoção da técnica de miniestaquia, na qual a composição adequada dos substratos e a manutenção de um ambiente controlado são fatores determinantes para o sucesso do enraizamento e o crescimento das plantas (Zamora *et al.*, 2022). É importante destacar que, no Brasil, a formulação de substratos alternativos deve atender à Instrução Normativa nº 61 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2020), onde a relação C/N não pode ser superior a 20 e o teor de nitrogênio deve ser de no mínimo 5,0 g kg⁻¹ para compostos orgânicos. Esses valores corroboram com os resultados encontrados na análise química das formulações avaliadas no presente estudo (Quadro 1).

Sodré e Gomes (2019) enfatizam que o êxito do enraizamento do cacauzeiro por estaquia e miniestaquia é fortemente condicionado por fatores ambientais, destacando-se entre eles a temperatura, a umidade relativa e as características do substrato de enraizamento. Nesse contexto, justificam-se as pesquisas voltadas à avaliação de substratos formulados a partir de resíduos de origem animal e vegetal, como os utilizados neste estudo, que se configuram como alternativas técnica, econômica e ambientalmente sustentáveis, sem comprometer o desenvolvimento inicial das mudas de cacauzeiro.

A altura (H) constitui um dos principais parâmetros morfológicos utilizados na avaliação da qualidade de mudas florestais, sobretudo nas fases iniciais de desenvolvimento, por refletir o vigor, a uniformidade e o potencial de estabelecimento das plantas em campo (Fonseca *et al.*, 2018; Freitas *et al.*, 2021). As mudas de cacauzeiro produzidas nos substratos alternativos demonstraram valores médios de H estatisticamente semelhantes, e em determinados casos superiores, aos observados no substrato comercial; entretanto, os valores obtidos situaram-se abaixo dos padrões de referência recomendados para a espécie, indicando potencial de otimização nas condições de cultivo. Pesquisas realizadas no Instituto Biofábrica de Cacau (IBC), referência nacional em pesquisa e produção da cultura cacauzeira, encontraram valores médios de altura de 22 cm em mudas de 5 meses, sendo adotado como referência para mudas de cacauzeiro, com padrão de comercialização, como é o caso dos clones 1 e 2 (Sodré; Marrocos, 2009).

Os valores abaixo dos padrões de referência podem ser justificados pela escolha do recipiente, onde no presente estudo foi utilizado tubete de 180 cm³ e o indicado por Sodré e Marrocos (2009) é de 288 cm³. Esse fator também é sugerido por Lima Filho *et al.* (2019), que evidenciaram maior crescimento de mudas de *Ceiba speciosa* em tubetes de 280 cm³, devido ao maior volume de substrato. De acordo com Matos *et al.* (2022), o uso de recipientes com maior volume proporciona melhor desenvolvimento morfológico e radicial em mudas de *Toona ciliata*, resultando em maior vigor e qualidade das plantas. No entanto, considerando o objetivo desse estudo, a utilização de recipientes com menores dimensões, reduz os custos na fase de produção, especialmente com mão de obra e insumos, facilitando o transporte até o campo, assim como relatado na literatura (Abreu *et al.*, 2017; Pinho *et al.*, 2018; Lima Filho *et al.*, 2019).

A ausência de diferença significativa entre os tratamentos para o diâmetro do coleto indica equilíbrio entre as formulações testadas, demonstrando que os substratos alternativos têm potencial para ser utilizado em substituição ao comercial sem prejuízo ao crescimento das mudas. Resultados semelhantes foram observados por Sodré e Marrocos (2009) em estudos conduzidos no Instituto Biofábrica de Cacau (IBC), nos quais foram registrados valores médios de diâmetro do coleto de aproximadamente 5,3 mm, assim como Smiderle *et al.* (2020) que sugerem valores de diâmetro do coleto entre 5,0 e 10 mm, ambos compatíveis com os obtidos no presente trabalho.

Ao utilizar substratos alternativos à base de fibra de coco, casca de arroz, bagaço de cana-de-açúcar e biochar para produção de mudas de cacauzeiro, Laeid-on *et al.* (2025), também evidenciaram que estes promoveram maior desenvolvimento de diâmetro do coleto quando comparados com a testemunha. Mubaroq *et al.* (2023), avaliando diferentes clones utilizando substrato à base de resíduo animal associado à terra de subsolo, observaram melhor desenvolvimento do diâmetro do coleto em mudas de cacauzeiro produzidas por sementes.

O comprimento de raiz (CR) é considerado um importante indicador do desenvolvimento eficiente do sistema radicular e quanto a sua capacidade de estabelecimento em diferentes condições ambientais, desempenhando um papel fundamental na absorção de água e nutrientes, suporte mecânico e sobrevivência das mudas após o transplântio (Malinowska *et al.*, 2025). Dessa forma, evidencia-se a relevância dos resultados obtidos, uma vez que o crescimento radicular (CR) das mudas produzidas em substratos alternativos foi semelhante ao observado no substrato comercial, indicando a viabilidade técnica do uso desses materiais na produção de mudas de cacauzeiro. Resultados

semelhantes foram relatados por Ferreira *et al.* (2020), ao constatarem que substratos formulados a partir de resíduos orgânicos regionais apresentaram desempenho equivalente aos comerciais, favorecendo o enraizamento e o desenvolvimento morfológico das mudas. Essa equivalência sugere que a adequada composição física e química dos substratos alternativos, com equilíbrio entre aeração, retenção de água e disponibilidade de nutrientes, é capaz de suprir as exigências fisiológicas das plantas, contribuindo para uma produção mais sustentável e economicamente viável de mudas clonais de cacau.

López *et al.* (2020) encontraram valores semelhantes para o comprimento da raiz na comparação de diferentes tecnologias de preparo de substratos utilizados na propagação vegetativa de mudas de cacau. Tais autores verificaram valor médio de CR de 15,91 cm, ligeiramente superior as médias de CR do presente estudo. Souza *et al.* (2025) reforça a tendência de desempenho superior dos substratos alternativos, onde foi encontrado valor para CR de 11,20 cm, sobressaindo-se a testemunha com valor de CR de 10,07 cm, também em mudas de cacau. No presente estudo, o S1 (clone 1) apresentou valor de destaque para CR, o que é um fator a se destacar por ser um substrato alternativo, mas é importante enfatizar que de forma isolada a variável não reflete adequadamente a qualidade das mudas (Lopes-Monteiro-Neto *et al.* 2018; Nkurunziza *et al.* 2022; Yan *et al.* 2023).

Em relação a técnica de miniestaquia na produção de mudas de cacau, pode-se destacar, também, o uso do ácido indolbutírico (AIB), regulador de crescimento que tem a função de induzir a formação e o desenvolvimento radicular, o que pode contribuir para o aumento do CR das mudas. Estudos anteriores mencionaram que a maior porcentagem de enraizamento foi obtida com o uso de AIB, com valor médio de 43%, enquanto o tratamento sem o uso de AIB apenas 37% (Me'ya-Chaves *et al.*, 2019). Em contrapartida, Edward *et al.* (2018) relataram até 70,3% de enraizamento utilizando AIB para o método da estaquia. Na propagação vegetativa, o uso de hormônios como a auxina, além de estimular o enraizamento, acelera a iniciação de raízes, aumentando o número, a qualidade e a uniformidade no enraizamento (Zamora *et al.*, 2022).

A análise da massa seca da parte aérea (MSPA) é amplamente utilizada para expressar o crescimento das plantas, e, nesse quesito os substratos apresentaram desempenho similar ou superior ao substrato comercial, com exceção do S1 para o clone 2. Isso pode estar atrelado aos resultados encontrados nas análises física e química, onde o S1 obteve resultados abaixo dos demais em alguns parâmetros analisados (Quadro 1 e 2). O S1 apresentou a menor concentração de fósforo, o que pode restringir o crescimento das mudas (Cunha *et al.*, 2022). Verificou-se, também, que este substrato apresentou o menor valor de

condutividade elétrica na análise física. Estudos recentes têm reforçado a utilidade da condutividade elétrica (CE) como indicador indireto da concentração de sais solúveis e nutrientes disponíveis nos substratos (Abbas *et al.*, 2024). Esse resultado reforça a importância da adoção de um manejo nutricional equilibrado quando se utiliza a técnica de miniestaquia para a produção de mudas de cacaueteiro, de modo a assegurar o adequado desenvolvimento inicial das plantas.

De maneira geral, os substratos alternativos apresentaram boa performance, atingindo valores conforme encontrados por, Sodré e Marrocos (2009), no Manual da produção vegetativa de mudas de cacaueteiro, com valores médios para a massa seca da parte aérea, variando entre 0,57 g e 3,7 g.

A massa seca da raiz é uma variável essencial para avaliar a capacidade de absorção da planta, sugerindo maior capacidade das mudas não somente em absorver, mas transportar água e nutrientes da raiz para a parte aérea, tornando-a potencialmente mais vigorosa (Smiderle *et al.*, 2022). No que tange a essa variável, os resultados obtidos neste estudo indicam que os substratos alternativos, em particular o S4, apresentaram desempenho comparável ao substrato comercial, preservando a qualidade morfológica das mudas. A casca de castanha, presente no S4, tem demonstrado bons resultados na composição de substratos. Anjos *et al.* (2017) avaliaram o potencial da casca de castanha do Brasil como biofertilizante no cultivo de *Lactuca sativa L.*, e o substrato testado promoveu o melhor desempenho das plantas em todos os tratamentos analisados, onde ocorreu a incorporação significativa de massa seca no sistema radicular. Assim, o comportamento observado reforça a importância de selecionar substratos que proporcionem condições equilibradas de aeração, porosidade e disponibilidade de nutrientes para garantir a formação de um sistema radicular vigoroso.

A produção de massa seca total constitui um indicador eficiente do crescimento vegetal, pois reflete de forma integrada a atividade fotossintética da planta e sua capacidade de absorver e utilizar os nutrientes minerais disponíveis (Tarouco *et al.*, 2021). No presente estudo foi verificado que independentemente do substrato utilizado, houve acúmulo de biomassa total de forma semelhante entre os tratamentos, refletindo em uma mesma tendência de desenvolvimento das mudas. O mesmo foi observado por Díaz-Chuquizuta *et al.* (2025) que avaliando MST de mudas de cacaueteiro produzidas em substrato alternativos, não encontraram diferença entre os tratamentos. No entanto, os valores encontrados foram de 0,483 g a 0,724 g, bem inferior ao encontrado nesse estudo. Já Alonso *et al.* (2024),

avaliando o IQD de genótipos de cacau, entre eles o Clone 1 e Clone 2, encontraram valores de MST semelhantes a este estudo.

Para o clone 2, o substrato S1 apresentou desempenho inferior ao tratamento testemunha em relação à MST, além de ter registrado a menor taxa de sobrevivência na avaliação realizada aos 180 dias após o estaqueamento (Tabelas 2 e 3). A análise química do substrato S1 revelou menores concentrações de fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), conforme já relatado anteriormente, além de uma maior concentração de manganês (Mn) (Quadro 1), a qual pode ter contribuído negativamente para o desenvolvimento das mudas de cacauzeiro. O excesso de manganês disponível no substrato pode causar toxicidade às plantas, interferindo na absorção de outros nutrientes essenciais, como cálcio, ferro e magnésio, além de provocar redução do crescimento radicular e acúmulo de compostos fenólicos nas folhas (Bloom, 2005; Malavolta; Epstein, 2006).

A relação altura/diâmetro (H/D) constitui um dos principais indicadores morfológicos de qualidade de mudas, por expressar a proporção entre o crescimento em altura e a espessura do caule. Portanto, valores equilibrados dessa relação estão diretamente associados a eficiência da planta quanto a sobrevivência em campo e o uso adequado da água (Alonso *et al.*, 2024). A presença de um caule robusto, com maior diâmetro do coleto, está associada à sua capacidade de minimizar as variações que ocorrem naturalmente no processo de produção de mudas, como a demanda evaporativa do ar, disponibilidade de água e até mesmo a espécie. Dessa forma, o caule atua como um reservatório ou regulador hídrico, contribuindo para a manutenção do equilíbrio fisiológico da planta em condições de estresse ambiental (Swaef *et al.*, 2015). Quanto menor o valor da relação H/D, maior será a capacidade de sobrevivência e estabelecimento das mudas após o plantio (Cargnelutti Filho *et. al*, 2018).

Neste estudo, novamente houve uma equiparação dos valores de H/D entre os substratos alternativos e o comercial para os dois clones. Resultados semelhantes foram encontrados por Souza *et al.* (2025) para a relação H/D, com valores de 1,19 a 4,32, em mudas de cacau produzidas em substratos alternativos, indicando equilíbrio morfológico satisfatório.

A relação MSPA/MSR é utilizada por diversos autores que o consideram um índice eficiente para avaliar a qualidade das mudas, e, sugerem de forma geral que essa relação tenha valor igual ou aproximado a 2,0 (Muñhoz *et al.*, 2015). Para mudas de cacauzeiro, a literatura reporta valores ligeiramente superiores para a relação entre a massa seca da parte aérea e a massa seca das raízes. Segundo Mollericon e Calle (2021), o valor ideal para essa

relação é de aproximadamente 3,43, considerado indicativo de um equilíbrio morfológico adequado para a espécie. Estudos anteriores mostram que valores muito altos da razão MSPA/MSR retratam um desbalanço entre a absorção de água pelas raízes e perda de água pela transpiração (Grossnickle, 2012).

Dito isto, tanto os substratos alternativos quanto a testemunha resultaram em valores semelhantes ao sugerido por Mollericona e Calle (2021), reduzindo a possibilidade de estresses hídricos ou até mesmo o tombamento da planta. O S1 (3,83), por exemplo, obteve valor praticamente igual ao sugerido pela literatura para a relação MSPA/MSR. Díaz-Chuquizuta *et al.* (2025), avaliando biofermentos na morfologia e qualidade de plântulas de cacau em viveiro, encontraram o valor de 2,86 para MSPA/MSR, sendo este o que mais se aproximou do valor sugerido pela literatura. Embora os demais substratos alternativos tenham apresentado valores mais elevados para esta relação, estes ainda foram semelhantes a testemunha, indicando o potencial destes materiais para serem utilizados em substituição ao comercial desde que se atentando para o aperfeiçoamento da técnica de miniestaquia para o cacau.

O IQD tem a função de considerar múltiplas variáveis morfológicas de forma simultânea, para avaliar a qualidade da muda. No presente estudo, o IQD evidenciou que o desempenho das mudas pode ter sido influenciado pelas características físicas e químicas dos materiais utilizados, pois os valores oscilaram de 0,237 (S4) a 0,428 (S5). O S2 para o clone 1 e o S4 no clone 2 apresentaram os resultados mais próximos ao comercial. As composições destes substratos incluem casca de café e casca de castanha, resíduos característicos da agroindústria do sudoeste da Amazônia. O aproveitamento desses materiais, além de contribuir para a redução de custos na produção de mudas, desempenha um papel relevante na mitigação de impactos ambientais, ao promover o uso sustentável de subprodutos agroindustriais.

Souza *et al.* (2025), analisando o potencial da semente do açaí e esterco bovino associados à terra de subsolo, na produção de mudas de cacau, encontraram o IQD com valor de 0,20, assemelhando-se ao substrato comercial, promovendo um melhor desempenho das mudas com suporte nutricional adequado. Laeid-on *et al.* (2025) avaliaram mudas de cacau sob diferentes formulações de substratos e, encontraram valor médio de IQD de 0,056, apresentando desempenho superior ao tratamento controle. Alonso *et al.* (2024) avaliaram o IQD de genótipos de cacau em situação de déficit hídrico pelo método da estaquia. Tais autores observaram valores entre 0,09 e 0,13, e essa discrepância é justificada pelo comportamento dos genótipos dentro de cada tratamento. Esses resultados destacam a

possibilidade de substituição de substratos comerciais por materiais alternativos e de baixo custo.

Por fim, independente do clone, o seu meio de cultivo pode ser substituído por uma formulação constituída de matéria-prima mais barata à base de resíduos da agroindústria local, fortalecendo uma destinação e um aproveitamento adequado para esses materiais, e principalmente, tornando o processo de produção de mudas mais barato e mais próximo da realidade do pequeno produtor. Além disso, o uso de substratos alternativos minimiza impactos ambientais, agregando valor a materiais que, de certa forma, seriam descartados. Assim, aliados a técnica da miniestaquia que apresenta eficiência, rapidez na formação de mudas é possível ampliar o acesso do pequeno produtor à produção de mudas de qualidade, favorecendo a expansão e o fortalecimento da cacauicultura de base sustentável.

Diante dos resultados obtidos, torna-se evidente a necessidade de continuidade dos estudos voltados ao aperfeiçoamento da técnica de miniestaquia para a cultura do cacauero, principalmente no que se refere à otimização das condições de enraizamento e à padronização de protocolos que garantam maior uniformidade e vigor das mudas produzidas. Paralelamente, é fundamental aprofundar as investigações sobre o desempenho dos substratos alternativos utilizados na propagação, considerando não apenas seus efeitos nas fases iniciais de desenvolvimento, mas também o comportamento das mudas após o plantio em campo. Essa avaliação é essencial para validar a sua influência sobre o estabelecimento, crescimento e produtividade das plantas, contribuindo assim para o desenvolvimento de tecnologias mais sustentáveis e economicamente acessíveis.

Conclusão

A produção clonal de mudas de *Theobroma cacao* L. pela técnica de miniestaquia em substratos alternativos possibilitou a formação de plantas com padrões morfológicos equivalentes àsquelas produzidas em substrato comercial.

A avaliação dos substratos alternativos indicou a viabilidade de substituição de insumos comerciais de maior valor agregado por resíduos de menor custo, sem prejuízo à qualidade das mudas produzidas. Essa estratégia contribui para a redução dos custos de produção e amplia a acessibilidade do sistema para pequenos e médios produtores, com destaque para os substratos S3 e S4, que apresentaram melhor desempenho.

Referências Bibliográficas

ABBAS, Y.; JASPERS, M.; MOALLA, R.; NIEUWSTADT, J. V.; ZEVENBERGEN, M. A. G. Electrical Conductivity Sensor for Plant Substrates. **Proceedings**, v. 97, no. 1, p. 135 2024.

ABREU, A. H. M.; LELES, P. S. S.; ALONSO, J. M.; ABEL, E. L. S.; OLIVEIRA, R. R. Characterization of sewage sludge generated in Rio de Janeiro, Brazil, and perspectives for agricultural recycling, **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 38, n. 4, p. 2433-2448, 2017.

ALVES, T. N.; CARVALHO, B. L.; GUEDES, P. T. P.; NORDI, N. T.; AIRES, E. S.; OLIVEIRA, M. M. V.; RODRIGUES, J. D. Produção de mudas de manjerição (*Ocimum basilicum* L.) sob efeito de diferentes substratos. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p., 2021.

ALONSO, R. S.; SODRÉ, G. A.; SILVA, D. C. Dickson Quality Index of Cocoa Genotypes Under Water Deficit. **Forests**, v. 15, n. 12, art. 2054, 2024.

ANJOS, D. B.; RIBEIRO, C. F.; NUNES, T. A; SILVA, J. da. Potencial da casca da castanha do Brasil como biofertilizante no cultivo de *Lactuca sativa* L. **Nativa**, Sinop, v. 5, n. 3, p. 193–199, 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. *Diagnóstico da produção de sementes e mudas de cacau no Brasil*. Brasília: Ministério da Agricultura e Pecuária, Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Sustentável, Irrigação e Cooperativismo; Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC), 20 p, 2024.

BRASIL. Regras sobre definições, critérios, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem de fertilizantes orgânicos e de biofertilizantes, destinados à agricultura. **Instrução Normativa Instrução Normativa n. 61, de 08 de julho de 2020**, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, Brasília-DF (2020).

BINOTTO, A. F. O índice de qualidade de Dickson em mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maid e *Pinus elliottii* var. *elliottii* – Engelm. **Dissertação de Mestrado**. Santa Maria, p. 56, 2007.

CARGNELUTTI FILHO, A.; ARAÚJO, M. M.; GASPARIN, E.; FOLTZ, D. R. B. Dimensionamento Amostral para Avaliação de Altura e Diâmetro de Plantas de Timbaúva. **Floresta e Ambiente**, 25(1), 1-9, 2018.

COSTA, D. S.; SENA FILHO, E.; Utilização de ácido indolbutírico (AIB) no enraizamento de estacas de cacau *Theobroma cacao*. In: **V MIC – Mostra de Iniciação Científica**, 2017, Serrinha – Ba. Anais externos, 2017.

CUNHA, H. F. V.; ANDERSEN, K. M.; LUGLI, L. F.; SANTANA, F. D.; ALEIXO, I. F.; MORAES, A. M.; GARCIA, S.; Di PONZIO, R.; MENDOZA, E. O.; BRUM, B.; ROSA, J. S.; CORDEIRO, A. L.; PORTELA, B. T.; RIBEIRO, G.; COELHO, S. D.; SOUZA, S. T.; SILVA, L. S.; ANTONIETO, F.; PIRES, M. Evidência direta da limitação do fósforo na produtividade da floresta amazônica. **Natureza**, 608(7923), 558–562, Quesada, CA (2022).

DA ROS, C. O.; REX, F. E.; RIBEIRO, I. R.; KAUFER, P. S.; RODRIGUES, A. C.; SILVA, R. F.; SOMAVILLA, L. Uso de substrato compostado na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* e *Cordia trichotoma*. **Floram**, 22, pp. 549-558, 2015.

DEUS, R.M.; BATTISTELLE, R.A.G.; SILVA, G.H.R. Current and future environmental impact of household solid waste management scenarios for a region of Brazil: carbon dioxide and energy analysis. **J. Clean. Prod.** **155**, p. 218-228, 2017.

DÍAZ-CHUQUIZUTA, P.; DÍAZ-CHUQUIZUTA, H.; ARÉVALO-ARANDA, Y. G.; CUEVAS-GIMÉNEZ, J. P. Biofermentos en la morfología y calidad de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en vivero. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 28, art. 119, 2025.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronicle**. v. 36, n. 1, p. 10-13, 1960.

EDWARD, R.; PONNIAH, J. M.; LIHAN, S. Vegetative propagation of cacao (*Theobroma cacao* L.): comparison of a liquid hormone preparation against a commercial rooting hormone powder. **Malaysian Applied Biology Journal**, vol. 47, no. 1, pp. 45–50, 2018.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. 2nd ed. **Sunderland: Sinauer Associates**, 2005.

FARIA, J. C.; SACRAMENTO, C. K. Enraizamento e crescimento de estacas herbáceas do cacaueiro (clones CEPEC 42, TSH 516 E TSH 1188) em função da aplicação de ácido indolbutírico (AIB). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 192-194, 2003.

FARIA, J. C. T.; PINTO, V. M. O.; GONÇALVES, D. S.; SOUZA, D. M. S. C.; FERNANDES, S. B.; BRONDANI, G. E. A compostagem da casca de café carbonizada favorece a produção de mudas de ingá. **Nativa**, Sinop, v. 8, n. 2, p. 224–230, 2020.

FONSECA, É. P.; SILVA, C. R.; GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. Parâmetros morfológicos e fisiológicos na avaliação da qualidade de mudas florestais. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. (Org.). **Silvicultura intensiva: fundamentos e práticas para o manejo sustentável de florestas plantadas**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2018. p. 315–340.

FREITAS, T. A. S.; GATTO, A.; SANTANA, R. C.; DAVIDE, A. C. Qualidade de mudas florestais e seu desempenho inicial no campo: avanços e desafios. **Ciência Florestal**, v. 31, n. 2, p. 829–845, 2021.

FREITAS, J. L. de; JARDIM, I. N.; GUEDES, M. N. S. Desenvolvimento de mudas de cacau em função da concentração de biostimulante d'raz®. **Diversitas Journal**, [S. l.], v. 9, n. 2, p. 660–671, 2024. Disponível em: https://diversitasjournal.com.br/diversitas_journal/article/view/2899. Acesso em: 24 maio. 2024.

FREITAS, L. S.; SILVA, G. S.; SANTOS, I. C.; FERREIRA, A. C. R.; SANTOS, L. E. S.; UMAHARAN, P.; MOTILAL, L. A.; CALLE-BELLIDO, J.; ZHANG, D.; CORRÊA, R.

X.; AHNERT, D. Elite cacao clonal cultivars with diverse genetic structure, high potential of production, and good organoleptic quality are helping to rebuild the cocoa industry in Brazil. **International Journal of Molecular Sciences**, Basel, v. 26, n. 7, p. 3386, 2025.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. Viveiros florestais: propagação sexuada. Viçosa: **Editora UFV**, p. 116, 2011.

GROSSNICKLE, S. C. Why seedlings survive: influence of plant attributes. **New Forests**, Basileia, v. 43, n. 5/6, p. 711-738, 2012.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. D. E.; DAVIES JR, D. F.; GENEVE, R. L. Plant Propagation: Principles and Practices. 6th ed. **Nova Jersey: Prentice-Hall International**, 1997.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. D. E.; DAVIES JR, D. F.; GENEVE, R. L. Plant Propagation: Principles and Practices. **Nova Jersey: Prentice-Hall International**, 2011.

IBGE. 2023. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/cacau/br>. Acesso em: 18 de agosto de 2025.

LAEID-ON, K.; SANGSILA, A.; PROMDEN, W.; LOMARAK, T. Utilization of spent mushroom substrate and local organic wastes as sustainable growth media for enhanced cocoa seedling development. **Journal of Environmental & Earth Sciences**, v. 7, n. 1, p. 540–549, jan. 2025.

LIM, S. L.; LEE, L.H.; WU, T.Y.; Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. **J. Clean. Prod.** **111**, 262–278, 2016.

LIMA FILHO, P.; LELES, P. S. dos S.; ABREU, A. H. M. de; SILVA, E. V. da; FONSECA, A. C. da. *Produção de mudas de Ceiba speciosa em diferentes volumes de tubetes utilizando o bio sólido como substrato*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 27-39, jan./mar. 2019.

LÓPEZ, D. A.; AVELLÁN, L. F. P.; MOREIRA, B. J. R.; PALACIOS, F. M. P.; SUÁREZ, M. H. *Comparison of three variants of substrate preparation used in the propagation of cocoa standards*. **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias**, La Habana, v. 29, n. 3, p. 37–49, jul./set. 2020. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93264538004>. Acesso em: 7 de outubro de 2025.

LOPES-MONTEIRO-NETO, J. L.; SILVA-SIQUEIRA, R. H. da; OLIVEIRA-NUNES, T. K. de; SOARES DA SILVA, E.; SILVA-MAIA, S. da; FARIAS-ARAÚJO, W.; ALVES-DE ALBUQUERQUE, J.; OLIVEIRA-VILARINHO, L. B.; ALVES-CHAGAS, E.; ABANTO-RODRIGUEZ, C. Produção de mudas de duas cultivares de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) em diferentes ambientes e substratos. **Acta Agronômica**, v. 67, n. 2, p. 270–276, 2018.

MAEDA, S. et al. Caracterização de substratos para produção de mudas de espécies florestais elaborados a partir de resíduos orgânicos. **Pesquisa Florestal brasileira**, n.54, p.97-104. Colombo, 2007.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: **Agron | mica Ceres**, 2006.

MALINOWSKA, M.; KRISTENSEN, P. S.; NIELSEN, B.; FÈ, D.; RUUD, A. K.; LENK, I.; GREVE, M.; ASP, T. The value of early root development traits in breeding programs for biomass yield in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). **Theoretical and Applied Genetics**, v. 138, p. 3131–3143, 2025.

MARROCOS, P. C. L.; SODRÉ, G. A. Sistema de produção de mudas de cacaueiros. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATO PARA PLANTAS, 4., 2004, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2004.

MARQUES, L. O. D.; MELLO-FARIAS, P.; DE LIMA, A. Y. B.; MALGARIM, M. B.; SANTOS, R. F. Desempenho de diferentes substratos e influência do frio na germinação de sementes de araçá amarelo. **Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp**, p. 1169-1180, 2017.

MATOS, P. S.; OLIVEIRA, J. C. de; MEDEIROS, W. P.; NOVAES, A. B. de. *Roots characteristics and effects of containers on the quality of Toona ciliata M. Roemer seedlings. Floresta*, Curitiba, v. 52, n. 2, p. 359–366, abr./jun. 2022.

ME'YA-CHAVEZ, M.; ENEZ-FUENTES, BERRIOS, F. A. P.; OSEGUEDA, E. A. V.; LARA, L. M. L. Evaluation of different doses of indole butyric acid (AIB), in the rooting of cuttings of creole cocoa (*Theobroma cacao* L.) using wood polishers,” **Agrociencia**, vol. 3, no. 14, pp. 13–23, 2019.

MOLLERICONA, M. D.; CALLE, E. E. Morphometric evaluation of cocoa (*Theobroma cacao* L.) and avocado (*Persiana americana* Mill) seedlings in nursery stage, Sapecho Experimental Station. **Apthapi**, 7 (3), p. 2229–2235, 2021.

MUBAROQ, F. Z.; ANITA-SARI, I.; HAKIM, N. A.; NAZIRMAN; WIBOWO, A.; SETYAWAN, B. Growth of two cocoa (*Theobroma cacao* L.) planting materials on three growing media composition. **Pelita Perkebunan (a Coffee and Cocoa Research Journal)**, v. 39, n. 2, p. 95–103, ago. 2023.

MUÑOZ, H. J.; SÁENZ, J. T.; CORIA, V. M.; GARCÍA, J. de J.; HERNÁNDEZ, J.; MANZANILLA, G. E. Calidad de planta en el vivero foestal La Dieta, Municipio Zitácuro, Michoacán. **Revista Mexicana de Ciencias Forestales**, 6(7), p.72–89, 2015.

NKURUNZIZA, E.; NYALALA, S.; UMUHOZA, K. N. J. Efeito da qualidade das mudas no crescimento, rendimento e qualidade do tomate (*Solanum lycopersicum* L.). **International Journal of Horticultural Science**, v. 28, p. 64–72, 2022.

OLIVEIRA, T. P. F.; BARROSO, D. G.; LAMÔNICA, K. R.; CARVALHO, G. C. M. W. de. Aplicação de AIB e tipo de miniestacas na produção de mudas de *Handroanthus heptaphyllus* Mattos. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, p. 299-306, 2016.

PINHO, E. K. C.; LOPES, A. N. K.; COSTA, A. C.; SILVA, A. B. V.; VILAR, F. C. M.; REIS, R. D. G. E. Substratos e tamanhos de recipiente na produção de mudas de baruzeiro (*Dipteryx alata* Vog.). **Revista Ciência Agrícola**, v. 16, n. 1, p. 11-19, 2018.

SILVA, O. M. das C.; HERNÁNDEZ, M. M.; ARAÚJO, G. do C. R.; CUNHA, F. L.; EVANGELISTA, D. V. da P.; LELES, P. S. dos S.; MELO, L. A. de. Potencial uso da casca de café como constituinte de substrato para produção de mudas de espécies florestais. **Ciência Florestal**, 30(4), 1161–1175, 2020.

SILVA, J. B. *et al.* Biocarvão e resíduos minerais na produção de mudas florestais: implicações agrônômicas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 47, n. 1, p. 231–243, 2024.

SILVA, M. T.; MARTINAZZO, R.; SILVA, S. D. A.; BAMBERG, A. L.; STUMPF, L.; FERMINO, M. H.; KOHLER, T. W.; MATOSO, E. M.; VALGAS, R. A. Innovative substrates for sugarcane seedling production: Sewage sludges and rice husk ash in a waste-to-product strategy. **Industrial Crops & Products**, Amsterdam, v. 157, p. 112812, 2020.

SMIDERLE, O. J.; MONTENEGRO, R. A.; SOUZA, A. G.; MORIYAMA, T. K.; CHAGAS, E. A.; DIAS, T. J. Recipiente e doses de fertilizante de liberação controlada na qualidade de mudas de *Agonandra brasiliensis* em Roraima. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 51: 1-7, 2020.

SMIDERLE, O. J.; SOUZA, A. G.; REIS, N. D.; COSTA, J. S.; PEREIRA, G. S. Physical-chemical characteristics of alternative substrates and fertilization on quality of *Spondias macrocarpa* seedlings. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 13, e3820, p. 1–10, 2022.

SODRÉ, G. A., MARROCOS, P. C. L. Manual da produção vegetativa de mudas de cacaueiro. Ilhéus: **Editus – Editora da UESC**, 2009. 46 p. ISBN 978-85-7455-170-8.

SODRÉ, G. A.; GOMES, A. R. S. Cocoa propagation: technologies for production of seedlings. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 41, n. 2, e-782, 2019. DOI:

SOUZA, N. H.; LAGES, R. P.; ASSUNÇÃO, J. M. M.; MONTEIRO, J. G. P.; MACEDO, V. K.; SANTOS, G. F. Produção de mudas de cacau e andiroba sob substratos formulados com resíduos orgânicos regionais. **Revista Delos**, Curitiba, v. 18, n. 70, p. 01-23, 2025.

SWAEF, T.; SCHEPPER, V.; VANDERGEHUCHTE, M. W.; STEPPE, K. Stem diameter variations as a versatile research tool in ecophysiology. **Tree Physiology**, Oxford, v. 35, p. 1047-1061, 2015.

TAROUCO, C. P.; SAUSEN, D.; TAVARES, M. S.; NICOLoso, F. T. Atividade fotossintética e produção de biomassa de clones de batata em função da disponibilidade de fósforo no solo. **Pesquisar, Sociedade e Desenvolvimento**, 10(8), e24310817326, 2021.

YAN, Z.; CHENG, J.; WAN, Z.; WANG, B.; LIN, D.; YANG, Y. Modelo de previsão de mudas de porta-enxerto de abóbora com base nas respostas à temperatura e à luz. **Agronomy**, v. 13, n. 2, p. 516, 2023.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. Silvicultura Clonal: Princípios e Técnicas. 2. ed. **Editora UFV**, p. 279, Viçosa, 2013.

ZAMORA, L. M. V.; AGUILA, S. R.; ABAD, J. C. G.; TORRES, G. V.; CORREA, S. A. I.; FLORES, E. T.; SEQUEIRA, F. M.; GUIVIN, M. A. C. Propagation of *Theobroma cacao* by rooted cuttings in mini-tunnels. **Advances in Agriculture**, [S.l.], v. 2022,