

# FONTES DE CÁLCIO E MAGNÉSIO NO CRESCIMENTO INICIAL DE MUDAS DE CACAUEIRO

CALCIUM AND MAGNESIUM SOURCES ON THE INITIAL GROWTH OF  
COCOA SEEDLINGS

Ciências Agrárias • 08/07/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/783035910](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/783035910)

---

Jaime Barros dos Santos Junior<sup>1</sup>

Jordan Carvalho Pantoja<sup>2</sup>

Mauro Lima Pessoa<sup>3</sup>

---

## RESUMO

O crescimento inicial de mudas de cacauzeiro pode ser limitado pela acidez do solo, baixa saturação por bases, deficiência de cálcio e magnésio e presença de alumínio trocável. Objetivou-se avaliar o efeito de diferentes fontes de cálcio e magnésio, com e sem incubação, no crescimento inicial de mudas de cacauzeiro cultivadas em Nitossolo Vermelho. O experimento foi conduzido em viveiro florestal, durante 175 dias, em delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos consistiram em NPK isolado; NPK associado ao calcário dolomítico incubado por 30 dias; fertilizante mineral misto ( $\text{CaO} + \text{MgO} + \text{S-SO}_4$ ), com e sem incubação; e fertilizante mineral simples ( $\text{CaO} + \text{MgO}$ ), com e sem incubação. Foram avaliadas massa seca da parte aérea, massa seca da raiz, massa seca total, incremento do diâmetro do colo e incremento em altura total. A análise de variância indicou efeito significativo dos tratamentos sobre todas as variáveis avaliadas. O calcário dolomítico incubado proporcionou os maiores valores de massa seca da parte aérea e massa seca total, além de pertencer ao grupo de maior desempenho para massa seca da raiz, incremento do diâmetro do colo e incremento em altura total. Embora os maiores valores numéricos para algumas variáveis tenham ocorrido nos fertilizantes sem incubação, o calcário dolomítico incubado apresentou o melhor desempenho global. Conclui-se que a incubação do calcário dolomítico é a estratégia mais indicada para favorecer o crescimento inicial de mudas de cacauzeiro em solo ácido.

**Palavras-chave:** Cacau; Calagem; Acidez do solo; Amazônia.

## ABSTRACT

The initial growth of cocoa tree seedlings can be limited by soil acidity, low base saturation, calcium and magnesium deficiency, and

the presence of exchangeable aluminum. This study aimed to evaluate the effect of different calcium and magnesium sources, with and without incubation, on the initial growth of cocoa tree seedlings cultivated in a Red Nitosol. The experiment was conducted in a forest nursery for 175 days, in a completely randomized design, with six treatments and five replications. The treatments consisted of NPK alone; NPK associated with dolomitic limestone incubated for 30 days; mixed mineral fertilizer (CaO + MgO + S-SO<sub>4</sub>), with and without incubation; and simple mineral fertilizer (CaO + MgO), with and without incubation. Shoot dry mass, root dry mass, total dry mass, stem collar diameter increment, and total height increment were evaluated. Analysis of variance indicated a significant effect of treatments on all variables evaluated. Dolomitic limestone incubated for 30 days provided the highest values of shoot dry mass and total dry mass, in addition to belonging to the highest performance group for root dry mass, stem collar diameter increment, and total height increment. Although the highest numerical values for some variables occurred in the non-incubated fertilizer treatments, incubated dolomitic limestone showed the best overall performance. It is concluded that incubation of dolomitic limestone is the most suitable strategy to favor the initial growth of cocoa tree seedlings in acidic soil.

**Keywords:** Cocoa; Liming; Soil acidity; Amazon.

## 1. INTRODUÇÃO

Na Amazônia brasileira, a produção de cacau (*Theobroma cacao* L.) apresenta importância econômica, ambiental e sociocultural, por contribuir para a geração de renda, a permanência de agricultores no campo e a conservação de funções ecológicas associadas aos agroecossistemas regionais (Ferreira *et al.*, 2023; Almeida *et al.*, 2022;

Gaia; Cruz, 2025). O cacauero é uma espécie nativa do sub-bosque das florestas amazônicas, com histórico de exploração e cultivo relacionado à formação econômica regional, tendo ocupado posição de destaque nas exportações amazônicas no século XVIII (Lanaud *et al.*, 2024; Afonso, 1979).

A produção nacional de cacau é fortemente vinculada à agricultura familiar, responsável por cerca de 80% da produção, e tem sido associada à recuperação de áreas degradadas por meio de sistemas agroflorestais (Almeida *et al.*, 2022; Venturieri *et al.*, 2022). Tradicionalmente, o cultivo do cacauero ocorre em sistemas agroflorestais, nos quais espécies agrícolas e florestais são integradas no espaço e no tempo, favorecendo maior diversidade biológica e maior estabilidade ecológica (Silva, 2025). Esses sistemas podem contribuir para a conservação da biodiversidade, o sequestro de carbono e a mitigação das mudanças climáticas em regiões tropicais (Somarriba; Beer, 2011; Niether *et al.*, 2020). A maior diversidade de espécies tende a promover maior aporte de matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e melhoria de atributos físicos e químicos do solo, ampliando a capacidade funcional do sistema edáfico (Vezzani; Mielniczuk, 2009). A simplificação recente desses sistemas, com a adoção de monocultivos, tem sido apontada como uma tendência capaz de comprometer a sustentabilidade da produção cacauera (Veloso *et al.*, 2025; Silva, 2025).

Mesmo em sistemas produtivos diversificados, a produtividade do cacauero é limitada por desafios relacionados à nutrição mineral e à fertilidade dos solos, considerados entre as principais causas do baixo rendimento em muitas plantações tropicais (Souza Júnior; Sodré; Neves, 2018; Baligar; Fageria, 2005). O cacauero apresenta elevadas exigências nutricionais, superando outras culturas perenes,

como café e seringueira, em termos de demanda e exportação de nutrientes (Baligar; Fageria, 2005; Souza Júnior *et al.*, 1999). A remoção contínua de macronutrientes, especialmente nitrogênio, fósforo e potássio, por meio da colheita das amêndoas, sem reposição adequada via adubação, contribui para o declínio da fertilidade e a exaustão do solo (Lockard; Burridge, 1965; Hartemink, 2005).

Um dos maiores obstáculos operacionais nas regiões tropicais úmidas é a acidez dos solos, caracterizada por baixos valores de pH e teores elevados de alumínio trocável ( $Al^{3+}$ ). De acordo com Snoeck *et al.* (2016) e Foy (1984), solos com pH abaixo de 5,0 prejudicam drasticamente o desenvolvimento radicular, reduzindo a capacidade da planta de absorver água e nutrientes essenciais como fósforo, cálcio e magnésio. Em solos cultivados com cacau na Amazônia colombiana, a elevada acidez tem sido associada à limitação da eficiência de uso de nutrientes e ao menor rendimento da cultura (Rosas-Patiño; Puentes-Páramo; Menjivar-Flores, 2019). O cacauzeiro, apesar de ser nativo da Amazônia, apresenta-se como uma exceção notável entre as espécies regionais por ser altamente sensível à toxicidade do alumínio, elemento que promove a deformação das células da epiderme radicular e interfere na absorção de cátions básicos (Almeida *et al.*, 2015; Baligar; Fageria, 2005).

Nesse cenário, a prática da calagem é considerada o primeiro passo fundamental em qualquer programa de manejo de solos ácidos (Morais *et al.*, 1975; Santana; Cabala-Rosand; Moraes, 1971). A aplicação de corretivos visa elevar o pH, reduzir a acidez trocável, neutralizar o alumínio e favorecer a disponibilidade de bases e nutrientes no solo (Rosas-Patiño; Puentes-Páramo; Menjivar-Flores, 2017; Taípe-Cancho *et al.*, 2025). Em solos cacauzeiros, a correção da acidez também pode

influenciar a eficiência agronômica, a eficiência de recuperação de fertilizantes e o rendimento, com respostas variáveis conforme o genótipo e as condições edáficas avaliadas (Rosas-Patiño; Puentes-Páramo; Menjivar-Flores, 2019). É um conhecimento estabelecido há décadas que a calagem incrementa significativamente a biomassa, especialmente quando a saturação de alumínio ultrapassa 50% (Morais; Santana; Santana, 1978; Santana; Cabala-Rosand, 1984).

Pesquisas fundamentais realizadas entre os anos 1970 e 1980 por autores como Santana, Cabala-Rosand e Morais (1971), Morais *et al.* (1975), Morais, Santana e Santana (1978), Santana e Cabala-Rosand (1984) e Nakayama, Santana e Pinto (1988) já haviam comprovado a eficácia dessa prática no desenvolvimento e na produtividade do cacaueteiro. No entanto, apesar dessa base histórica robusta, ainda são necessárias avaliações atualizadas sobre fontes corretivas e fertilizantes minerais à base de cálcio e magnésio, especialmente em condições de viveiro. Essa comparação é relevante porque diferentes materiais podem apresentar comportamento distinto quanto à correção da acidez e à disponibilização de cálcio e magnésio no solo (Rosas-Patiño *et al.*, 2017; Taípe-Cancho *et al.*, 2025).

Com base nisso, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes fontes de cálcio e magnésio no crescimento inicial de mudas de cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.) cultivadas em vasos, sob condições de viveiro, comparando o calcário dolomítico incubado no solo, o fertilizante mineral misto à base de óxidos de cálcio e magnésio, contendo enxofre na forma de sulfato, e o fertilizante mineral simples à base de óxidos de cálcio e magnésio, sendo estes dois últimos aplicados com e sem período de incubação.

## 2. METODOLOGIA

O ensaio foi desenvolvido ao longo de 175 dias, entre 23 de maio e 14 de novembro de 2025, em viveiro florestal no Campus Universitário de Altamira da Universidade Federal do Pará (UFPA). O ambiente de cultivo era composto por uma estrutura com cobertura de plástico de alta transparência e fechamento lateral com telas. O manejo hídrico foi realizado por meio de irrigação durante todo o período experimental, com reposição de água suficiente para manter a umidade do solo próxima à capacidade de campo, sem promover condições de encharcamento.

O material vegetal foi transplantado para vasos com volume de 4 L, preenchidos com solo coletado na camada de 0 a 20 cm de profundidade, correspondente aos horizontes A e AB de um Nitossolo Vermelho. A análise química inicial do solo, realizada previamente à instalação do ensaio, está apresentada na Tabela 1.

A correção da acidez do solo foi definida pelo método de elevação da saturação por bases, adotando-se 70% como valor-alvo, conforme Brasil, Cravo e Viégas (2020). Para esse cálculo, utilizou-se como referência o calcário dolomítico, com PRNT de 90% e garantias declaradas de 28% de CaO e 21% de MgO, resultando na dose de 3,75 Mg ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 1.** Caracterização química do Nitossolo Vermelho utilizado no experimento, amostrado na profundidade de 0–20 cm.

Parâmetro	Valor	Unidade
Fósforo Mehlich-1	3	mg dm <sup>-3</sup>

Potássio	38	mg dm <sup>-3</sup>
Enxofre	12	mg dm <sup>-3</sup>
Cálcio	1,9	cmolc dm <sup>-3</sup>
Magnésio	0,2	cmolc dm <sup>-3</sup>
Alumínio	0,8	cmolc dm <sup>-3</sup>
H + Al	5,8	cmolc dm <sup>-3</sup>
pH em H <sub>2</sub> O	4,7	-
Matéria orgânica	2,81	dag kg <sup>-1</sup>
Ferro	197	mg dm <sup>-3</sup>
Zinco	1,0	mg dm <sup>-3</sup>
Cobre	4,7	mg dm <sup>-3</sup>
Manganês	30	mg dm <sup>-3</sup>
Boro	0,21	mg dm <sup>-3</sup>
Sódio	20	mg dm <sup>-3</sup>
Soma de bases (SB)	2,18	cmolc dm <sup>-3</sup>
CTC a pH 7,0 (T)	8,05	cmolc dm <sup>-3</sup>
Saturação por bases (V)	27,20	%
Saturação de alumínio (m)	26,76	%

As doses dos produtos alternativos foram estabelecidas por equivalência em relação ao teor de CaO fornecido pela dose de referência. O fertilizante mineral misto, à base de óxidos de cálcio e magnésio e contendo enxofre na forma de sulfato, com garantias

declaradas de 32% de CaO, 13% de MgO e 5% de S-SO<sub>4</sub>, foi aplicado na dose de 3,30 Mg ha<sup>-1</sup>. O fertilizante mineral simples, constituído por óxidos de cálcio e magnésio, com 46% de CaO e 33% de MgO, foi aplicado na dose de 2,30 Mg ha<sup>-1</sup>.

A adubação de base foi padronizada em todos os tratamentos com NPK 4-14-8, na dose de 1,0 Mg ha<sup>-1</sup>, conforme Brasil, Cravo e Viégas (2020). Nos tratamentos com incubação, as fontes de cálcio e magnésio foram incorporadas ao solo 30 dias antes do transplante das mudas, visando favorecer as reações de correção da acidez, neutralização do alumínio trocável e elevação da saturação por bases. Nos tratamentos sem incubação, a aplicação foi realizada imediatamente antes do transplante, simulando uma condição operacional de uso direto dos produtos no preparo do substrato em viveiro.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), composto por seis tratamentos e cinco repetições, totalizando 30 unidades experimentais. A descrição detalhada dos tratamentos e as respectivas doses dos insumos encontram-se apresentadas na Tabela 2.

As mudas de cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.) foram implantadas nos vasos contendo o solo previamente submetido aos tratamentos de correção da acidez e adubação. Ao longo de todo o período experimental, foram adotadas práticas de manejo padronizadas para todas as unidades experimentais, visando reduzir interferências externas sobre o desenvolvimento das plantas.

No momento da instalação do experimento, procedeu-se à mensuração inicial da altura total e do diâmetro do colo de todas as

mudas, estabelecendo os valores de referência para o crescimento. Após 175 dias de condução, essas variáveis foram novamente avaliadas, permitindo o cálculo do incremento em altura total (IHT) e do incremento no diâmetro do colo (IDC).

**Tabela 2.** Tratamentos aplicados no experimento com cacau, contendo doses de NPK 4-14-8 e fontes de cálcio e magnésio, com e sem incubação.

Tratamentos	NPK 4-14-8 (Mg ha <sup>-1</sup> )	Fonte aplicada	Dose (Mg ha <sup>-1</sup> )	Incubação
T1	1,0	—	—	—
T2	1,0	Calcário dolomítico	3,75	30 dias
T3	1,0	Fertilizante mineral misto (CaO + MgO + S-SO <sub>4</sub> )	3,30	30 dias
T4	1,0	Fertilizante mineral simples (CaO + MgO)	2,30	30 dias
T5	1,0	Fertilizante mineral misto (CaO + MgO + S-SO <sub>4</sub> )	3,30	Sem incubação
T6	1,0	Fertilizante mineral simples (CaO + MgO)	2,30	Sem incubação

Ao término do período experimental, as plantas foram retiradas dos recipientes e separadas em parte aérea e sistema radicular. Ambos

os compartimentos foram lavados em água corrente para eliminação de resíduos de solo e, posteriormente, submetidos à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, até atingirem massa constante. Em seguida, realizou-se a pesagem para a obtenção da massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR) e massa seca total (MST).

Os dados obtidos foram inicialmente submetidos à verificação dos pressupostos estatísticos, avaliando-se a normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro–Wilk e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett. Atendidas essas condições, procedeu-se à análise de variância (ANOVA) para detecção de efeitos dos tratamentos. Quando constatada significância, as médias foram comparadas pelo teste t, adotando-se nível de significância de 5%. Todas as etapas de processamento e análise dos dados foram realizadas no software BioEstat 5.3.

### **3. RESULTADOS**

A análise de variância indicou efeito significativo dos tratamentos sobre todas as variáveis avaliadas no crescimento inicial das mudas de cacaueteiro (Tabela 3). Foram observadas diferenças significativas para massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST), incremento do diâmetro do colo (IDC) e incremento em altura total (IHT), com valores de p inferiores a 0,05. Os maiores valores de F foram registrados para MSPA e MST, indicando maior variação entre tratamentos para essas variáveis.

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância (ANOVA) para as variáveis de crescimento de cacaueteiro submetido a diferentes fontes de cálcio e magnésio.

Fonte / Estatística	MSPA (g)	MSR (g)	MST (g)	IDC (mm)	IHT (cm)
GL Tratamentos	5	5	5	5	5
GL Erro	24	24	24	24	24
SQ Tratamentos	277,770	22,314	434,029	16,557	533,54

⚠ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/fontes-de-calcio-e-magnesio-no-crescimento-inicial-de-mudas-de-cacaueiro?noblockage>

MSPA: massa seca da parte aérea; MST: massa seca total; IHT: incremento em altura total; MSR: massa seca de raiz; IDC: incremento do diâmetro do colo.

As médias das variáveis de crescimento estão apresentadas na Tabela 4. Para a massa seca da parte aérea (Figura 1), a maior média foi observada no tratamento com calcário dolomítico incubado por 30 dias (T2), que apresentou 18,56 g e diferiu estatisticamente dos demais tratamentos. Os tratamentos sem incubação com fertilizante mineral misto (CaO + MgO + S-SO<sub>4</sub>) (T5) e com fertilizante mineral simples (CaO + MgO) (T6) apresentaram médias intermediárias, com 15,12 g e 16,23 g, respectivamente, não diferindo entre si. O tratamento com fertilizante mineral misto (CaO + MgO + S-SO<sub>4</sub>) incubado (T3) apresentou média de 13,24 g, enquanto a testemunha, que recebeu apenas NPK (T1), e o tratamento com fertilizante mineral simples (CaO + MgO) incubado (T4) registraram os menores valores, com 10,00 g e 10,54 g, respectivamente.

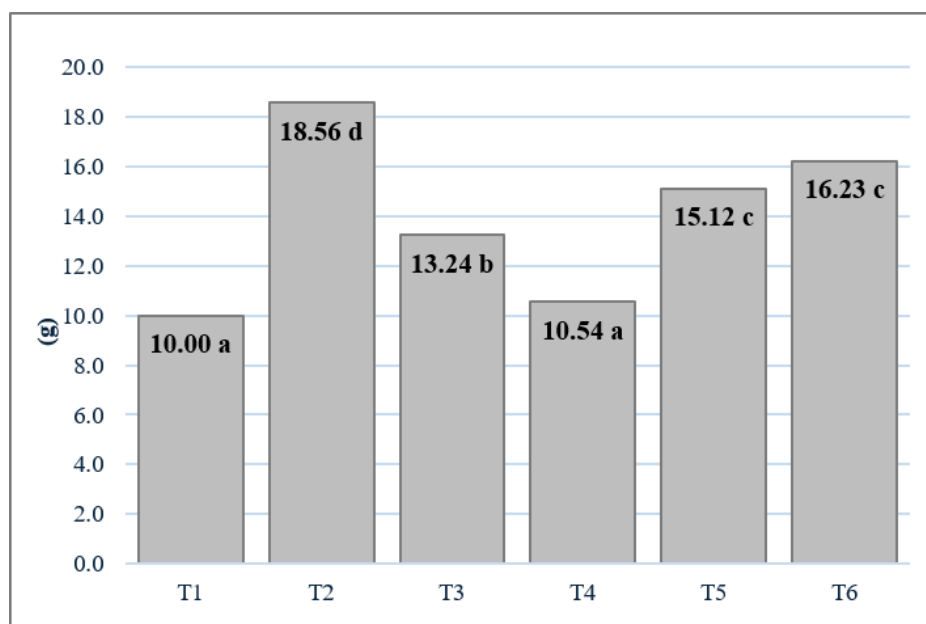
**Tabela 4.** Médias ( $\pm$  desvio-padrão) das variáveis de crescimento de cacaueiro em resposta a diferentes fontes de cálcio e magnésio.

Tratamentos	MSPA (g)	MSR (g)	MST (g)	IDC (mm)	IHT (cm)
T1	10.00 a $\pm$ 0.53	4.95 a $\pm$ 0.43	14.95 a $\pm$ 2.46	6.01 a $\pm$ 0.59	14.80 $\pm$ 2.4
T2	18.56 d $\pm$ 1.04	7.05 b $\pm$ 0.98	25.61 d $\pm$ 2.02	7.40 ab $\pm$ 0.31	25.07 $\pm$ 5.5
T3	13.24 b $\pm$ 1.64	5.88 ab $\pm$ 1.05	19.12 b $\pm$ 1.57	6.94 ab $\pm$ 1.04	23.30 $\pm$ 4.2
T4	10.64 a	6.71 a	16.86 a	6.76 ab	24.77

⚠ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/fontes-de-calcio-e-magnésio-no-crescimento-inicial-de-mudas-de-cacaueiro?noblockage>

Legenda: MSPA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca da raiz; MST = massa seca total; IDC = incremento do diâmetro do colo; IHT = incremento em altura total. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste  $t$  ( $p \leq 0,05$ ).

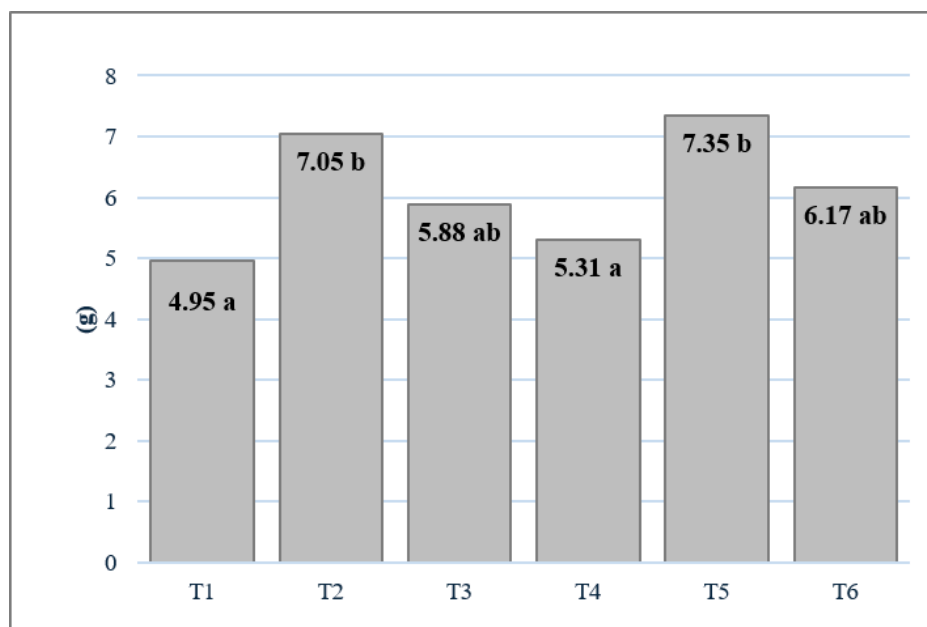
**Figura 1.** Massa seca da parte aérea de mudas de cacaueiro em resposta a fontes de Ca e Mg, com e sem incubação.



T1 = sem fontes de Ca e Mg; T2 = calcário dolomítico com incubação de 30 dias; T3 = fertilizante mineral misto (CaO + MgO + S-SO<sub>4</sub>) com incubação de 30 dias; T4 = fertilizante mineral simples (CaO + MgO) com incubação de 30 dias; T5 = fertilizante mineral misto (CaO + MgO + S-SO<sub>4</sub>) sem incubação; T6 = fertilizante mineral simples (CaO + MgO) sem incubação. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

Para a massa seca da raiz (Figura 2), os maiores valores foram observados no tratamento com fertilizante mineral misto (CaO + MgO + S-SO<sub>4</sub>) sem incubação (T5) e no tratamento com calcário dolomítico incubado (T2), com médias de 7,35 g e 7,05 g, respectivamente, ambos pertencentes ao mesmo grupo estatístico. Os tratamentos com fertilizante mineral misto (CaO + MgO + S-SO<sub>4</sub>) incubado (T3) e com fertilizante mineral simples (CaO + MgO) sem incubação (T6) apresentaram valores intermediários, com médias de 5,88 g e 6,17 g. As menores médias foram registradas na testemunha com aplicação apenas de NPK (T1) e no tratamento com fertilizante mineral simples (CaO + MgO) incubado (T4), com 4,95 g e 5,31 g, respectivamente.

**Figura 2.** Massa seca da raiz de mudas de cacaueteiro em função de fontes de Ca e Mg e da incubação do solo.

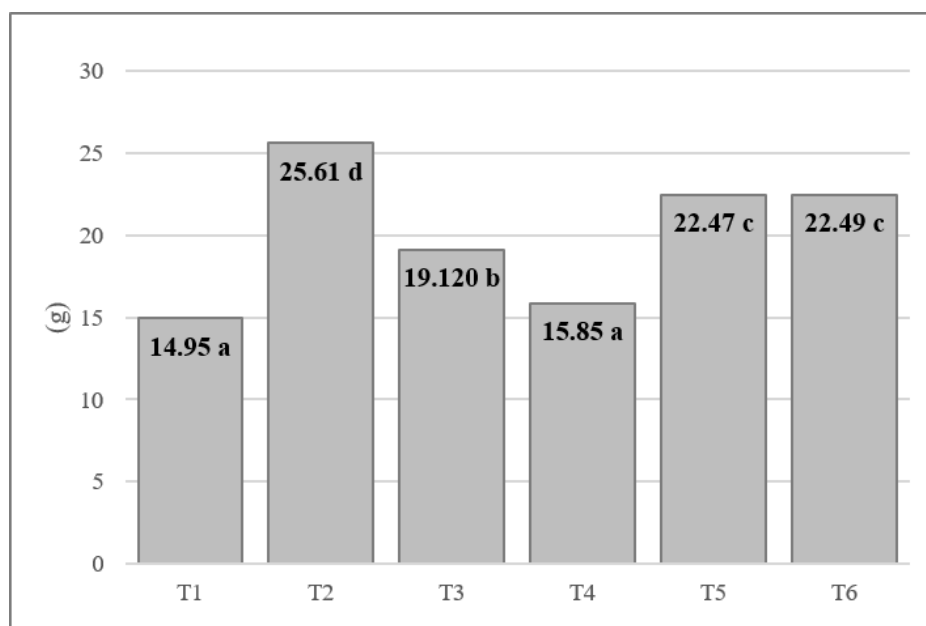


T1 = sem fontes de Ca e Mg; T2 = calcário dolomítico com incubação de 30 dias; T3 = fertilizante mineral misto (CaO + MgO + S-SO<sub>4</sub>) com incubação de 30 dias; T4 = fertilizante mineral simples (CaO + MgO) com incubação de 30 dias; T5 = fertilizante mineral misto (CaO + MgO + S-SO<sub>4</sub>) sem incubação; T6 = fertilizante mineral simples (CaO + MgO) sem incubação. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

A massa seca total (Figura 3) apresentou comportamento semelhante ao observado para a massa seca da parte aérea. O tratamento com calcário dolomítico incubado (T2) apresentou a maior média, com 25,61 g, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Os tratamentos sem incubação, tanto com fertilizante mineral misto (CaO + MgO + S-SO<sub>4</sub>) (T5) quanto com fertilizante mineral simples (CaO + MgO) (T6), apresentaram médias próximas, de 22,47 g e 22,40 g, respectivamente, sem diferença entre si. O tratamento com fertilizante mineral misto (CaO + MgO + S-SO<sub>4</sub>) incubado (T3) apresentou média de 19,12 g, enquanto a testemunha (T1) e o tratamento com fertilizante mineral simples (CaO + MgO)

incubado (T4) apresentaram os menores valores, com 14,95 g e 15,85 g, respectivamente.

**Figura 3.** Massa seca total de mudas de cacaueteiro em função de fontes de Ca e Mg e da incubação do solo.



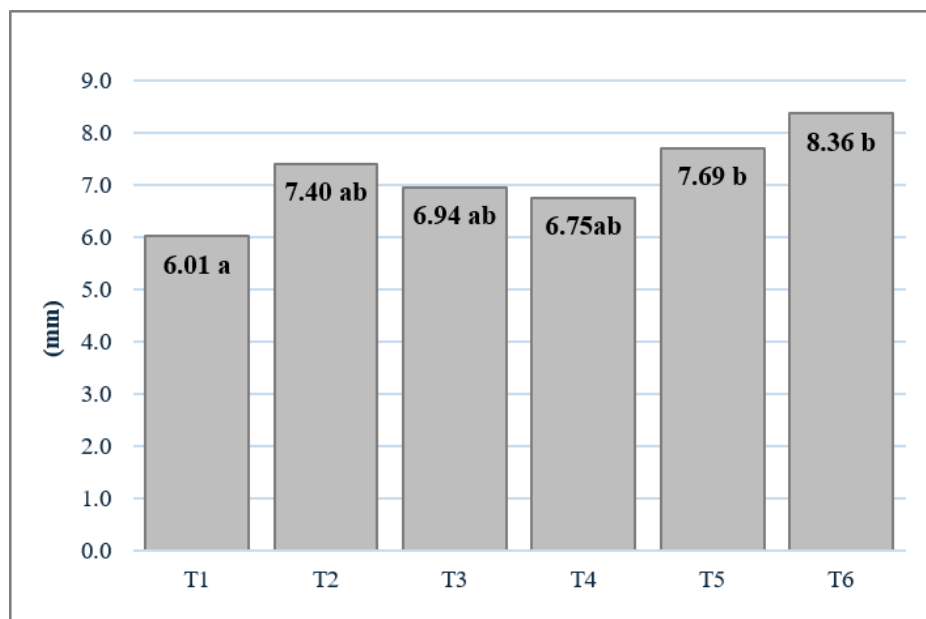
T1 = sem fontes de Ca e Mg; T2 = calcário dolomítico com incubação de 30 dias; T3 = fertilizante mineral misto (CaO + MgO + S-SO<sub>4</sub>) com incubação de 30 dias; T4 = fertilizante mineral simples (CaO + MgO) com incubação de 30 dias; T5 = fertilizante mineral misto (CaO + MgO + S-SO<sub>4</sub>) sem incubação; T6 = fertilizante mineral simples (CaO + MgO) sem incubação. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

O incremento do diâmetro do colo (Figura 4) variou de 6,01 mm a 8,36 mm entre os tratamentos. Os maiores valores foram observados nos tratamentos sem incubação com fertilizante mineral simples (CaO + MgO) (T6) e com fertilizante mineral misto (CaO + MgO + S-SO<sub>4</sub>) (T5), com médias de 8,36 mm e 7,69 mm, respectivamente, não diferindo entre si. A testemunha com aplicação apenas de NPK (T1) apresentou o menor valor médio, com 6,01 mm. Os tratamentos incubados com calcário dolomítico (T2), fertilizante mineral misto

(CaO + MgO + S-SO<sub>4</sub>) (T3) e fertilizante mineral simples (CaO + MgO) (T4) apresentaram valores intermediários, com médias de 7,40 mm, 6,94 mm e 6,75 mm, respectivamente.

Para o incremento em altura total (Figura 5), a testemunha (T1) apresentou o menor valor médio, com 14,80 cm, diferindo dos demais tratamentos. Os tratamentos que receberam fontes de Ca e Mg associadas à adubação de base não diferiram estatisticamente entre si, com médias de 25,07 cm para o calcário dolomítico incubado (T2), 23,30 cm para o fertilizante mineral misto (CaO + MgO + S-SO<sub>4</sub>) incubado (T3), 24,33 cm para o fertilizante mineral simples (CaO + MgO) incubado (T4), 26,43 cm para o fertilizante mineral misto (CaO + MgO + S-SO<sub>4</sub>) sem incubação (T5) e 27,90 cm para o fertilizante mineral simples (CaO + MgO) sem incubação (T6).

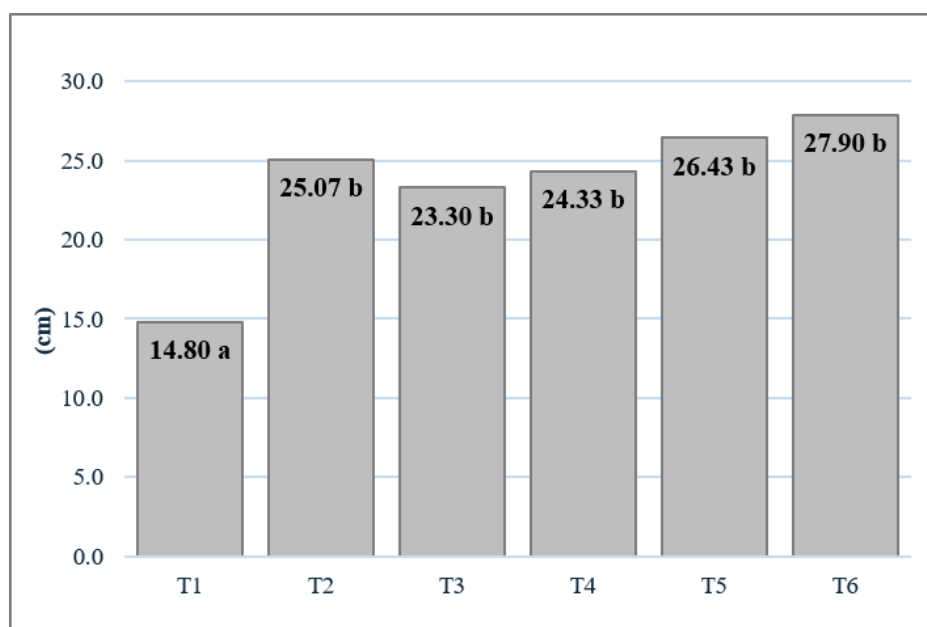
**Figura 4.** Incremento do diâmetro do colo de mudas de cacauero em função de fontes de Ca e Mg e da incubação do solo.



T1 = sem fontes de Ca e Mg; T2 = calcário dolomítico com incubação de 30 dias; T3 = fertilizante mineral misto (CaO + MgO + S-SO<sub>4</sub>) com incubação de 30 dias; T4 = fertilizante mineral simples (CaO + MgO) com incubação de 30 dias; T5 = fertilizante mineral misto (CaO +

MgO + S-SO<sub>4</sub>) sem incubação; T6 = fertilizante mineral simples (CaO + MgO) sem incubação. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

**Figura 5.** Incremento em altura total de mudas de cacaueteiro em função de fontes de Ca e Mg e da incubação do solo.



T1 = sem fontes de Ca e Mg; T2 = calcário dolomítico com incubação de 30 dias; T3 = fertilizante mineral misto (CaO + MgO + S-SO<sub>4</sub>) com incubação de 30 dias; T4 = fertilizante mineral simples (CaO + MgO) com incubação de 30 dias; T5 = fertilizante mineral misto (CaO + MgO + S-SO<sub>4</sub>) sem incubação; T6 = fertilizante mineral simples (CaO + MgO) sem incubação. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

#### 4. DISCUSSÃO

As mudas de cacaueteiro apresentaram resposta significativa à aplicação de fontes contendo cálcio e magnésio, com efeitos sobre massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST), incremento do diâmetro do colo (IDC) e incremento em altura total (IHT). Essa resposta indica que, nas condições do

experimento, a adubação de base com NPK, isoladamente, não foi suficiente para maximizar o crescimento inicial das mudas, uma vez que a testemunha esteve entre os menores valores para todas as variáveis avaliadas. Esse comportamento é coerente com a literatura sobre o cacaueteiro em solos ácidos, na qual a acidez, a baixa saturação por bases, a deficiência de Ca e Mg e a presença de alumínio trocável são frequentemente associadas à restrição do crescimento e da absorção de nutrientes (Morais; Santana; Santana, 1978; Santana; Cabala-Rosand, 1984; Baligar; Fageria, 2005; Rosas-Patiño; Puentes-Páramo; Menjivar-Flores, 2017).

A condição química inicial do solo ajuda a explicar a magnitude das respostas observadas. O Nitossolo Vermelho utilizado apresentou pH ácido, baixa saturação por bases, baixo teor de magnésio e presença de alumínio trocável, compondo um ambiente edáfico potencialmente restritivo ao crescimento inicial do cacaueteiro. Baligar e Fageria (2005) demonstraram que o aumento da saturação por alumínio reduz a massa seca da parte aérea e das raízes, a altura, o comprimento radicular, a taxa de crescimento relativo e a absorção de K, Ca e Mg em plantas de cacaueteiro. Moraes, Santana e Santana (1978), por sua vez, verificaram que a calagem aumentou o crescimento de plântulas de cacau quando a saturação por Al era elevada, embora a resposta também dependesse da disponibilidade de fósforo. Dessa forma, os resultados do presente estudo reforçam que a correção da acidez não atua apenas como prática complementar à adubação, mas como condição essencial para que os nutrientes aplicados sejam efetivamente aproveitados pelas mudas.

O maior acúmulo de massa seca da parte aérea foi observado no tratamento com calcário dolomítico incubado por 30 dias (T2), que

diferiu estatisticamente dos demais tratamentos. Esse resultado indica que a combinação entre fonte dolomítica e tempo prévio de reação no solo foi mais eficiente para a formação de biomassa aérea do cacauzeiro do que as demais fontes avaliadas. Resultado semelhante foi observado por Calva e Espinosa (2017), que, ao avaliarem quatro materiais de encalado em solo ácido, verificaram que a maior acumulação de matéria verde e matéria seca ocorreu com dolomita e carbonato de cálcio. Rosas-Patiño, Puentes-Páramo e Menjivar-Flores (2017) também observaram, em solo ácido da Amazônia colombiana cultivado com cacauzeiro, que a aplicação de dolomita neutralizou Al e H trocáveis, elevou o pH de 4,36 para 6,0 em aproximadamente dois meses e aumentou a disponibilidade de Ca, Mg, P e Zn. Assim, o desempenho superior do T2 sugere que a incubação do calcário dolomítico favoreceu condições químicas mais adequadas para o crescimento inicial das mudas.

A maior massa seca total também foi registrada no tratamento com calcário dolomítico incubado, repetindo o padrão observado para a massa seca da parte aérea. Esse comportamento indica que o efeito positivo do T2 não se restringiu ao crescimento aéreo isolado, mas se refletiu no acúmulo global de biomassa das mudas. Nakayama, Santana e Pinto (1988), em experimento com plântulas de cacau cultivadas em solos incubados com  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$ , também observaram que a calagem aumentou a produção de biomassa, com produção máxima associada à elevação da saturação por bases. Esse resultado reforça a importância do tempo de reação do corretivo no solo, especialmente quando se utiliza uma fonte carbonatada, cuja eficiência depende da reação gradual com a acidez do solo.

Os resultados obtidos para o cacauzeiro apresentam convergência parcial com os observados por Monteiro, Santos Junior e Silva (2026), que avaliaram fontes corretivas contendo cálcio e magnésio no crescimento inicial de mudas de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*. Naquele estudo, o calcário dolomítico incubado também se destacou como a fonte mais eficiente para o acúmulo de biomassa, promovendo os maiores valores de massa seca da parte aérea e massa seca total, enquanto as fontes alternativas não superaram o desempenho do corretivo dolomítico. Essa resposta se aproxima do presente estudo, no qual o tratamento com calcário dolomítico incubado por 30 dias proporcionou os maiores valores de MSPA e MST em mudas de cacauzeiro, indicando que a reação prévia do corretivo no solo pode favorecer a formação de biomassa em diferentes espécies cultivadas sob condições de acidez.

Entretanto, a comparação com Monteiro, Santos Junior e Silva (2026) também evidencia diferenças relevantes na amplitude da resposta das espécies às fontes avaliadas. Em *S. parahyba* var. *amazonicum*, os autores observaram efeito significativo dos corretivos sobre MSPA, MST e incremento em altura, mas não sobre massa seca de raiz e incremento do diâmetro do colo. No presente estudo, por outro lado, todas as variáveis avaliadas em mudas de cacauzeiro responderam significativamente aos tratamentos, incluindo MSR e IDC. Esse contraste sugere que o cacauzeiro apresentou resposta mais ampla às variações entre fontes contendo Ca e Mg, especialmente quando se considera que os tratamentos foram conduzidos em solo ácido, com baixa saturação por bases e baixo teor de Mg.

A comparação entre os dois estudos também reforça que a eficiência agrônômica das fontes não pode ser explicada apenas pela equivalência em CaO. Em ambos os experimentos, as doses das

fontes alternativas foram estabelecidas tomando como referência o fornecimento de Ca, mas as respostas agronômicas não foram equivalentes. No estudo com paricá, o calcário dolomítico incubado foi superior para biomassa e as fontes alternativas não apresentaram maior eficiência, apesar de sua maior reatividade potencial (Monteiro; Santos Junior; Silva, 2026). No presente estudo com cacaueiro, o calcário dolomítico incubado também foi superior para MSPA e MST, mas o fertilizante mineral misto ( $\text{CaO} + \text{MgO} + \text{S-SO}_4$ ) sem incubação e o fertilizante mineral simples ( $\text{CaO} + \text{MgO}$ ) sem incubação apresentaram respostas importantes em MSR, IDC e IHT. Isso indica que a fonte, o tempo de reação e a espécie avaliada interagem de maneira decisiva na expressão do crescimento.

A massa seca da raiz apresentou comportamento distinto da MSPA e da MST, pois os maiores valores foram observados no tratamento com fertilizante mineral misto ( $\text{CaO} + \text{MgO} + \text{S-SO}_4$ ) sem incubação (T5) e no tratamento com calcário dolomítico incubado (T2), ambos pertencentes ao mesmo grupo estatístico. Esse resultado não deve ser interpretado como superioridade geral do T5, uma vez que o T2 apresentou maior MSPA e maior MST. A resposta do T5 indica, mais especificamente, maior acúmulo radicular em relação aos demais tratamentos, o que sugere efeito diferenciado dessa fonte sobre a alocação de biomassa ou sobre o ambiente imediato de crescimento das raízes.

A interpretação do T5 exige cautela porque o fertilizante mineral misto ( $\text{CaO} + \text{MgO} + \text{S-SO}_4$ ) não deve ser tratado como uma simples variação do calcário dolomítico. Trata-se de uma fonte distinta, com composição própria, contendo Ca, Mg e  $\text{S-SO}_4$ . Portanto, sua resposta não precisa seguir necessariamente a mesma lógica de incubação esperada para materiais carbonatados. Enquanto o

calcário dolomítico atua predominantemente como corretivo da acidez, com reação dependente do tempo de contato com o solo, o fertilizante mineral misto pode apresentar também efeito nutricional mais direto, associado ao fornecimento de Ca, Mg e S na forma de sulfato. Essa distinção é importante para explicar por que o fertilizante mineral misto sem incubação apresentou desempenho radicular expressivo sem que o mesmo padrão fosse observado quando a fonte foi incubada.

A diferença entre T3 e T5 indica que o manejo de incubação modificou a resposta agrônômica do fertilizante mineral misto (CaO + MgO + S-SO<sub>4</sub>). Como ambos receberam a mesma fonte e a mesma dose, a diferença observada não pode ser atribuída à composição do produto, mas ao momento de aplicação e ao tempo de reação no solo. O melhor desempenho radicular do T5 sugere que, para essa fonte específica, a aplicação sem incubação pode ter favorecido uma resposta mais imediata no período inicial após o transplante, enquanto a incubação não resultou em maior eficiência agrônômica. Essa interpretação é compatível com estudos em cacauzeiro nos quais fontes sulfatadas de Ca e Mg não alteraram o pH do solo, mas funcionaram como fontes de Ca, Mg e S para as plantas (Nakayama; Santana; Pinto, 1988). Assim, o T5 deve ser interpretado como resposta específica de uma fonte mineral mista aplicada sem incubação, e não como evidência de maior eficiência corretiva em comparação ao calcário dolomítico.

O comportamento do fertilizante mineral misto também pode estar relacionado à presença de enxofre na forma de sulfato. O gesso agrícola, fonte clássica de sulfato de cálcio, é reconhecido como fornecedor de Ca e S e como insumo capaz de melhorar o ambiente radicular, principalmente pela movimentação de Ca e pela redução

dos efeitos tóxicos do Al em camadas subsuperficiais (Chepote *et al.*, 2013). Embora o fertilizante mineral misto utilizado neste estudo não seja simplesmente gesso agrícola, a presença de S-SO<sub>4</sub> diferencia essa fonte do calcário dolomítico e do fertilizante mineral simples (CaO + MgO), podendo ter contribuído para respostas específicas em raízes. No entanto, como o experimento não incluiu tratamento isolado com enxofre nem análise final de S no solo ou no tecido vegetal, essa possibilidade deve ser discutida como hipótese agrônômica, e não como causa comprovada.

O desempenho dos tratamentos sem incubação também merece destaque. T5 e T6 apresentaram valores intermediários ou elevados para algumas variáveis, especialmente MSR, IDC e IHT. Para o incremento do diâmetro do colo, os maiores valores foram observados no tratamento com fertilizante mineral simples (CaO + MgO) sem incubação (T6) e no tratamento com fertilizante mineral misto (CaO + MgO + S-SO<sub>4</sub>) sem incubação (T5). Para o incremento em altura total, todos os tratamentos que receberam fontes de Ca e Mg foram superiores à testemunha e não diferiram entre si. Esse padrão indica que, para variáveis morfométricas, fontes de maior reatividade ou de comportamento nutricional mais imediato podem promover respostas expressivas durante o período de condução das mudas.

O desempenho do T6 para IDC e IHT pode estar associado à maior reatividade do fertilizante mineral simples (CaO + MgO) em relação ao calcário dolomítico, o que tende a favorecer respostas mais rápidas em determinados componentes do crescimento. Entretanto, essa resposta não se refletiu em maior acúmulo de MSPA ou MST, pois o T6 foi inferior ao T2 para as variáveis de biomassa. Esse contraste demonstra que altura e diâmetro, embora importantes,

não devem ser interpretados isoladamente como indicadores de maior eficiência global do tratamento. López *et al.* (2023), ao compararem diferentes materiais de calagem em plantas de cacau, destacaram que a resposta das plantas depende não apenas do aumento do pH, mas também das propriedades do solo e da composição do material utilizado. Assim, o desempenho do T6 sugere efeito positivo sobre crescimento morfométrico, mas não superioridade na produção total de biomassa.

O tratamento com fertilizante mineral simples (CaO + MgO) incubado (T4) apresentou baixo desempenho para MSPA, MSR e MST, ficando próximo à testemunha para essas variáveis. Esse resultado é particularmente importante porque indica que a maior reatividade potencial dessa fonte não garantiu melhor crescimento quando houve incubação prévia. Moraes, Santana e Santana (1978) observaram que, após a eliminação do Al trocável, doses mais elevadas de calagem podem reduzir o crescimento de plântulas de cacau, efeito associado a deficiências de micronutrientes, especialmente Zn. Souza Jr. *et al.* (1999) também verificaram que valores elevados de pH, K e Mg apresentaram efeitos negativos sobre a produtividade do cacau em alguns talhões. Dessa forma, a resposta inferior do T4 sugere que fontes de maior reatividade podem exigir ajuste mais criterioso de dose e tempo de reação, evitando alterações químicas excessivas ou desequilíbrios nutricionais no substrato.

A comparação entre T4 e T6 reforça essa interpretação. Ambos os tratamentos receberam o fertilizante mineral simples (CaO + MgO) na mesma dose, mas o tratamento sem incubação apresentou melhores valores para MSPA, MST, IDC e IHT do que o tratamento incubado. Isso sugere que, para essa fonte, a incubação de 30 dias

pode não ter sido vantajosa nas condições avaliadas, possivelmente em função da rápida alteração da reação do solo antes do transplante. Resultado semelhante, em termos de necessidade de avaliar a fonte e não apenas a dose, foi discutido por López *et al.* (2023), que demonstraram que diferentes materiais de calagem podem produzir efeitos contrastantes sobre pH, CEC, Ca, Mg e absorção de elementos pelo cacauzeiro. Portanto, fontes de Ca e Mg não devem ser avaliadas apenas pela concentração de óxidos, mas pela resposta agrônômica resultante da interação entre fonte, solo e tempo de reação.

A resposta inferior da testemunha em todas as variáveis confirma que a aplicação isolada de NPK não foi suficiente para compensar as limitações impostas pela acidez do solo. Rosas-Patiño, Puentes-Páramo e Menjivar-Flores (2019) concluíram que a acidez do solo na Amazônia colombiana é uma condição desfavorável ao rendimento de clones de cacau, sendo necessário realizar calagem ou fertilização considerando as condições edáficas e as exigências de cada material genético. No presente estudo, como a adubação NPK foi padronizada em todos os tratamentos, as diferenças observadas entre as mudas refletem o efeito das fontes contendo Ca e Mg e do manejo de incubação sobre o ambiente químico do solo.

A interação entre calagem e disponibilidade de fósforo também é relevante para interpretar os resultados, pois o solo utilizado apresentava baixo teor inicial de P. Moraes, Santana e Santana (1978) verificaram que a resposta do cacauzeiro à calagem foi potencializada pela adubação fosfatada quando a saturação por Al era elevada, enquanto, em solos com menor saturação por Al, o fósforo foi mais efetivo que a calagem para aumentar o crescimento das plântulas. No presente estudo, a aplicação de NPK em todos os tratamentos

forneceu fósforo, mas a maior resposta das mudas nos tratamentos com fontes contendo Ca e Mg indica que o aproveitamento da adubação de base foi condicionado pela melhoria do ambiente químico do solo.

O papel da calagem sobre a disponibilidade e absorção de nutrientes também é sustentado por Nakayama, Santana e Pinto (1988), que observaram aumento da absorção de N, P, K, Ca e Mg em plântulas de cacau após calagem, além de redução da concentração foliar de Mn e Zn. Esse resultado mostra que a calagem pode ter efeitos simultaneamente positivos e restritivos, melhorando a absorção de macronutrientes, mas também reduzindo a disponibilidade de determinados micronutrientes. Portanto, a superioridade do T2 para biomassa pode estar associada a uma condição de equilíbrio mais favorável entre correção da acidez e nutrição, enquanto o baixo desempenho do T4 pode estar relacionado a possível desequilíbrio químico decorrente da reação do fertilizante mineral simples no solo.

A profundidade e a forma de distribuição do corretivo no solo também são aspectos importantes para compreender a resposta do cacau. Nakayama (1986), em plantações adultas de cacau, observou que a calagem a lanço, sem incorporação, corrigiu a acidez apenas até 10 cm de profundidade, com elevação de Ca e Mg principalmente nas camadas superficiais. Nakayama (1988), em casa de vegetação, verificou que a incorporação de calcário ao volume total do solo aumentou a matéria seca, a altura e o diâmetro de plântulas de cacau, enquanto a aplicação localizada na superfície reduziu o teor de P e os parâmetros de crescimento. No presente estudo, as fontes foram incorporadas ao solo nos tratamentos com

incubação, o que reforça a importância do contato entre o material aplicado e o volume de solo explorado pelas raízes.

Estudos recentes com cacauzeiro também indicam que a eficiência da calagem depende da profundidade corrigida e do tempo de reação. Argüello *et al.* (2020) demonstraram que a calagem pode reduzir a absorção de Cd pelo cacauzeiro, mas sua efetividade depende da profundidade de incorporação do corretivo, pois camadas subsuperficiais não corrigidas podem continuar influenciando a absorção radicular. Argüello *et al.* (2023), em estudo de campo no Equador, observaram que a aplicação superficial de calcário aumentou o pH do solo até 20 cm e reduziu Cd foliar em solo ácido, mas os efeitos sobre as amêndoas foram mais tardios; os autores também observaram que a mistura de calcário com composto aumentou a penetração da cal no perfil. Embora o presente estudo não tenha avaliado Cd, esses resultados reforçam que a eficiência da correção depende da interação entre fonte, profundidade de ação e tempo de reação.

A resposta das mudas de cacauzeiro às fontes contendo Ca e Mg também pode ser interpretada a partir da dinâmica de Al e de outros metais no solo. Bolou-Bi, Kouadio e Ettien (2023) verificaram que a aplicação de cal agrícola e dolomita em agrossistemas cacauzeiros aumentou o pH do solo e reduziu os teores de  $Al^{3+}$  e  $Cd^{2+}$  trocáveis e solúveis em água. López e Saldarriaga (2023) observaram que a coaplicação de calcário dolomítico com biochar ou composto favoreceu o deslocamento da alcalinidade no perfil e reduziu a biodisponibilidade de Cd em mudas de cacau. No presente estudo, a maior biomassa obtida com calcário dolomítico incubado é coerente com esse conjunto de evidências, pois a redução da acidez e da

atividade de elementos potencialmente tóxicos tende a favorecer o crescimento inicial das plantas.

A diferença entre os tratamentos também mostra que a recomendação de fontes corretivas ou nutricionais para mudas de cacaueteiro não deve ser baseada apenas na equivalência de CaO. No presente experimento, as doses das fontes alternativas foram ajustadas em relação ao teor de CaO fornecido pela dose de referência do calcário dolomítico, mas as respostas de crescimento foram distintas. Morais *et al.* (1975) indicaram que a composição química dos calcários, especialmente as proporções de Ca e Mg, influencia a neutralização do Al, a elevação de Ca + Mg trocáveis e o desenvolvimento do cacaueteiro. Santana e Cabala-Rosand (1984) também destacaram que as relações Ca + Mg/K, Ca/Mg e Mg/K influenciam o desenvolvimento do cacaueteiro. Portanto, a equivalência por CaO pode ser insuficiente para prever a resposta das mudas quando as fontes diferem em solubilidade, composição química, tempo de reação e efeito sobre as relações catiônicas.

Em conjunto, os resultados indicam que o cacaueteiro responde positivamente à aplicação de fontes contendo Ca e Mg em fase inicial de crescimento, mas a magnitude e o tipo de resposta dependem da natureza da fonte, do manejo de incubação e da variável avaliada. O calcário dolomítico incubado por 30 dias foi mais eficiente para a produção de massa seca da parte aérea e massa seca total, indicando maior eficiência para a formação global de biomassa. O fertilizante mineral misto (CaO + MgO + S-SO<sub>4</sub>) sem incubação, por sua vez, apresentou resposta específica em massa seca de raiz, sugerindo comportamento agrônômico distinto daquele observado para o calcário dolomítico convencional e para o fertilizante mineral simples (CaO + MgO). A comparação com

Monteiro, Santos Junior e Silva (2026) reforça que o calcário dolomítico incubado apresenta maior estabilidade agronômica para a formação de biomassa em mudas cultivadas em solo ácido, mas também evidencia que diferentes espécies e diferentes fontes contendo Ca e Mg podem expressar respostas distintas. Assim, a escolha da fonte para produção de mudas de cacaueteiro deve considerar não apenas a dose equivalente de Ca, mas também a forma química do material, o teor de Mg, a presença de nutrientes adicionais, o tempo de reação no solo e a variável de crescimento priorizada.

## **5. CONCLUSÃO**

As mudas de cacaueteiro apresentaram respostas significativas quando as fontes de cálcio e magnésio foram associadas à adubação de base, demonstrando que o fornecimento isolado de NPK não foi suficiente para maximizar o crescimento inicial nas condições avaliadas.

O calcário dolomítico incubado por 30 dias foi o tratamento mais eficiente para a formação de biomassa, proporcionando os maiores valores de massa seca da parte aérea e massa seca total. Esse resultado indica maior estabilidade agronômica dessa fonte para o crescimento inicial do cacaueteiro, especialmente quando há tempo prévio de reação no solo.

O fertilizante mineral misto (CaO + MgO + S-SO<sub>4</sub>) aplicado sem incubação apresentou resposta específica para massa seca da raiz, com maior valor numérico para essa variável, embora não tenha superado o calcário dolomítico incubado na produção de biomassa total. Esse comportamento indica que essa fonte pode favorecer o

crescimento radicular, mas não caracteriza superioridade global em relação ao calcário dolomítico.

O fertilizante mineral simples (CaO + MgO) sem incubação apresentou os maiores valores numéricos para incremento do diâmetro do colo e incremento em altura total, porém essa resposta morfológica não se refletiu em maior acúmulo de massa seca. Assim, altura e diâmetro devem ser interpretados em conjunto com as variáveis de biomassa para avaliação da eficiência dos tratamentos.

A equivalência das doses com base no teor de CaO não foi suficiente para produzir respostas agrônômicas semelhantes entre as fontes avaliadas. A escolha de fontes de cálcio e magnésio para a produção de mudas de cacau deve considerar a natureza química do material, o teor de magnésio, a presença de nutrientes adicionais, o tempo de reação no solo e a variável de crescimento priorizada.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AFONSO, F. M. Á. **O cacau na Amazônia**. Itabuna: Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira - Ceplac, 1979. 37 p. (Boletim Técnico, 66).

ALMEIDA, C. M. V. C.; MÜLLER, M. W.; SENA-GOMES, A. R.; MATOS, P. G. G. Sistemas agroflorestais com o cacau como alternativa sustentável para uso em áreas desmatadas, no estado de Rondônia, Brasil. **Agrotrópica**, v. 14, n. 3, p. 109-120, 2002.

ALMEIDA, N. M.; ALMEIDA, A. A. F.; MANGABEIRA, P. A.O.; AHNERT, D.; REIS, G. S. M.; CASTRO, A. V. Molecular, biochemical, morphological and ultrastructural responses of cacao seedlings to

aluminum (Al<sup>3+</sup>) toxicity. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 37, n. 2, p. 5, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1732-4>. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s11738-014-1732-4>. Acesso em: 25 jun. 2026.

ALVES JÚNIOR, M. A cultura do cacau no território da Transamazônica e Xingu: um enfoque às pesquisas realizadas no município de Medicilândia-PA. **Revista EDUCAmazônia**, v. 10, n. 1, p. 126-142, 2013.

ARGÜELLO, D.; CHAVEZ, E.; GUTIERREZ, E.; PITTOMVILS, M.; DEKEYREL, J.; BLOMMAERT, H.; SMOLDERS, E. Soil amendments to reduce cadmium in cacao (*Theobroma cacao* L.): A comprehensive field study in Ecuador. **Chemosphere**, v. 324, p. 138318, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138318>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0045653523005854>. Acesso em: 23 jun. 2026.

ARGÜELLO, D.; MONTALVO, D.; BLOMMAERT, H.; CHAVEZ, E.; SMOLDERS, E. Surface soil liming reduces cadmium uptake in cacao seedlings but subsurface uptake is enhanced. **Journal of Environmental Quality**, v. 49, n. 5, p. 1359–1369, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/jeq2.20123>. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jeq2.20123>. Acesso em: 23 jun. 2026.

BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K. Soil aluminum effects on growth and nutrition of cacao. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 51, n. 5, p. 709–713, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2005.tb00097.x>. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1111/j.1747-0765.2005.tb00097.x>. Acesso em: 23 jun. 2026.

BOLOU-BI, E. B.; KOUADIO, H. A.; ETTIEN, J. B. D. Soil Acidification in cocoa (*Theobroma cocoa*) agrosystems in Côte d'Ivoire: II. Dolomite and calcitic lime application impact on microbial activities and metals availability in soils. **International Journal Of Agriculture & Biology**, v. 30, n. 6, p. 388–396, 2023. DOI: <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.2100>. Disponível em: [https://api.fspublishers.org/viewPaper/79561\\_02%20doi%2015.2100%20IJAB-23-0259%20%289%29%20388-396.pdf](https://api.fspublishers.org/viewPaper/79561_02%20doi%2015.2100%20IJAB-23-0259%20%289%29%20388-396.pdf). Acesso em: 23 jun. 2026.

BRASIL, E. C.; CRAVO, E. C.; VIEGAS, I. J. M. **Recomendações de calagem e adubação para o Estado do Pará**. 3. ed. rev. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2020. 90 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1125022/recomendacoes-de-calagem-e-adubacao-para-o-estado-do-para>. Acesso em: 25 jun. 2026.

CALVA, C.; ESPINOSA, J. Efecto de la aplicación de cuatro materiales de encalado en control de la acidez de un suelo de Loreto, Orellana. *Siembra*, v. 4, n. 1, p. 110–120, 2017. DOI: <https://doi.org/10.29166/siembra.v4i1.505>. Disponível em: <http://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA/article/view/505>. Acesso em: 23 jun. 2026.

CHEPOTE, R. E.; SODRÉ, G. A.; REIS, E. L.; PACHECO, R. G.; MARROCOS, P. C. L.; VALLE, R. R. **Recomendações de corretivos e fertilizantes na cultura do cacauero no Sul da Bahia**. Ilhéus: CEPLAC/CEPEC, 2013. 44 p. (Boletim Técnico, 203).

FERREIRA, L. D. S.; BOTELHO, E. V. D.; SILVA, T. S.; SANTOS, C. B. Tendências, desafios e oportunidades no cultivo de cacau na região amazônica: uma revisão da relação sociedade-natureza. **Natural**

**Resources**, v. 13, n. 4, p. 74–80, 2023. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2237-9290.2023.004.0005>. Disponível em:

<https://sustenere.inf.br/index.php/naturalresources/article/view/8377>.

Acesso em: 25 jun. 2026.

FOY, C. D. Physiological effects of hydrogen, aluminum, and manganese toxicities in acid soils. In: ADAMS, F. (ed.). **Soil acidity and liming**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1984. p. 57-97. (Agronomy Monograph, 12). DOI:

<https://doi.org/10.2134/agronmonogr12.2ed.c2>. Disponível em:

<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2134/agronmonogr12.2ed.c2>.

Acesso em: 25 jun. 2026.

GAIA, S. C.; CRUZ, B. E. V. O cacau de várzea como expressão da sociobiodiversidade amazônica: A experiência da Região de Integração do Tocantins, Pará. **Desde el Sur**, v. 17, n. 3, p. e0047, 2025. DOI:

<https://doi.org/10.21142/DES-1703-2025-0047>. Disponível em:

<https://revistas.cientifica.edu.pe/index.php/desdeelsur/article/view/2442>.

Acesso em: 25 jun. 2026.

HARTEMINK, A. E. Nutrient stocks, nutrient cycling, and soil changes in cocoa ecosystems: a review. **Advances in Agronomy**, v. 86, p. 227–253, 2005. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(05\)86005-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)86005-5).

Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0065211305860055>.

Acesso em: 25 jun. 2026.

LANAUD, C.; VIGNES, H.; UTGE, J.; VALETTE, G.; RHONÉ, B.; GARCIA-CAPUTI, M.; ANGARITA NIETO, N. S.; FOUET, O.; GAIKWAD, N.; ZARRILLO, S.; POWIS, T. G.; CYPHERS, A.; VALDEZ, F.; OLIVERA-

NUNEZ, S.Q.; SPELLER, C.; BLAKE, M.; VALDEZ JR., F.; RAYMOND, S.; ROWE, S. M.; DUKE, G. S.; ROMANO, F. E.; LOOR-SOLÓRZANO, R. G.; ARGOUT, X. A revisited history of cacao domestication in pre-Columbian times revealed by archaeogenomic approaches. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 2972, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-53010-6>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-024-53010-6>. Acesso em: 25 jun. 2026.

LOCKARD, R. G.; BURRIDGE, J. C. The levels of macro- and micronutrients in the beans of cacao (*Theobroma cacao* L.) in relation to shade, fertilizer, irrigation and season. *Annals of Botany*, v. 29, n. 115, p. 377-382, 1965.

LÓPEZ, J. E.; BUILES, S.; GIL, A.; RESTREPO, T. I.; ARISTIZÁBAL, A.; ARROYAVE, C. Effects of different liming materials on the uptake of cadmium and mineral nutrients in cacao plants. **ACS Agricultural Science & Technology**, v. 3, n. 12, p. 1139–1147, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsagscitech.3c00296>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsagscitech.3c00296>. Acesso em: 23 jun. 2026.

LÓPEZ, J. E.; SALDARRIAGA, J. F. Surface co-application of dolomitic lime with either biochar or compost changes the fractionation of cd in the soil and its uptake by cacao seedlings. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 23, n. 4, p. 4926–4936, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01469-z>. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s42729-023-01469-z>. Acesso em: 23 jun. 2026.

MONTEIRO, G. B.; SANTOS JUNIOR, J. B.; SILVA, S. A. S. Crescimento inicial de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby submetido à aplicação de diferentes fontes corretivas contendo cálcio e magnésio. **Revista Tópicos**, v. 4, n. 33, p. 1–33, 2026. DOI: <https://doi.org/10.70773/revistatopicos/779303939>. Disponível em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/crescimento-inicial-de-schizolobium-parahyba-var-amazonicum-huber-ex-ducke-barneby-submetido-a-aplicacao-de-diferentes-fontes-corretivas-contendo-calcio-e-magnesio>. Acesso em: 26 jun. 2026.

MORAIS, F. I. O.; PRADO, E. P.; CABALA-ROSAND, F. P.; SANTANA, M. B. M. Efeito da mistura de carbonato de cálcio e magnésio no desenvolvimento de plântulas de cacau. **Revista Theobroma**, Itabuna, v. 5, n. 1, p. 21-30, 1975. Disponível em: <https://repositorio-dspace.agricultura.gov.br/handle/1/731?locale=en>. Acesso em: 25 jun. 2026.

MORAIS, F. I. O.; SANTANA, C. J. L.; SANTANA, M. B. M. Efeito da aplicação de calcário e fósforo no crescimento de plântulas de cacau em casa de vegetação. **Revista Theobroma**, Itabuna, v. 8, n. 2, p. 73-85, 1978. Disponível em: <https://repositorio-dspace.agricultura.gov.br/handle/1/797>. Acesso em: 25 jun. 2026.

NAKAYAMA, L. H. I. Efeito da calagem no pH e nos teores de cálcio, magnésio e alumínio em solo ácido cultivado com cacau. **Revista Theobroma**, Itabuna, v. 16, n. 4, p. 243-247, 1986. Disponível em: <https://repositorio-dspace.agricultura.gov.br/handle/1/1096?locale=en>. Acesso em: 25 jun. 2026

NAKAYAMA, L. H. I. Influência das formas de aplicação de calcário e gesso agrícola sobre o desenvolvimento do cacaueiro. **Revista**

**Theobroma**, Itabuna, v. 18, n. 4, p. 241-246, 1988. Disponível em: <https://repositorio-dspace.agricultura.gov.br/handle/1/1207>. Acesso em: 25 jun. 2026

NAKAYAMA, L. H. I.; SANTANA, C. J. L.; PINTO, L. R. M. Resposta do cacaueiro em desenvolvimento à calagem. **Revista Theobroma**, Itabuna, v. 18, n. 4, p. 229-240, 1988. Disponível em: <https://repositorio-dspace.agricultura.gov.br/handle/1/1206>. Acesso em: 25 jun. 2026.

NIETHER, W.; JACOBI, J.; BLASER, W. J.; ANDRES, C.; ARMENGOT, L. Cocoa agroforestry systems versus monocultures: a multi-dimensional meta-analysis. **Environmental Research Letters**, v. 15, n. 10, p. 104085, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abb053>. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abb053>. Acesso em: 25 jun. 2026.

ROSAS-PATIÑO, G.; PUENTES-PÁRAMO, Y. J.; MENJIVAR-FLORES, J. C. Efecto del encalado en el uso eficiente de macronutrientes para cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Amazonia colombiana. **Ciencia & Tecnología Agropecuaria**, v. 20, n. 1, 2019. DOI: [https://doi.org/10.21930/rcta.vol20\\_num1\\_art:1247](https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num1_art:1247). Disponível em: <https://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/1247>. Acesso em: 23 jun. 2026.

ROSAS-PATIÑO, G.; PUENTES-PÁRAMO, Y. J.; MENJIVAR-FLORES, J. C. Relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un Entisol de la Amazonia colombiana. **Ciencia & Tecnología Agropecuaria**, v. 18, n. 3, p. 529-541, 2017. DOI: [https://doi.org/10.21930/rcta.vol18\\_num3\\_art:742](https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num3_art:742). Disponível em: <https://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/742>. Acesso em: 23 jun. 2026.

SANTANA, C. J. L.; CABALA-ROSAND, P. Acidez do solo e resposta do cacauzeiro à calagem no Sul da Bahia, Brasil. **Revista Theobroma**, Itabuna, v. 14, n. 4, p. 241-251, 1984. Disponível em: <https://repositorio-dspace.agricultura.gov.br/handle/1/993>. Acesso em: 25 jun. 2026.

SANTANA, M. B. M.; CABALA-ROSAND, F. P.; MORAIS, F. I. O. Efeitos da incorporação de doses crescentes de calcário em alguns solos da região cacauzeira da Bahia. **Revista Theobroma**, Itabuna, v. 1, n. 2, p. 17-28, abr./jun. 1971. Disponível em: <https://repositorio-dspace.agricultura.gov.br/handle/1/1764?locale=en>. Acesso em: 25 jun. 2026.

SILVA, I. C. Sistema agroflorestal com cacauzeiro: contexto, oportunidades e desafios. **Novos Cadernos NAEA**, v. 28, n. 3, 2025. DOI: <https://doi.org/10.18542/ncn.v28i3.20166>. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/article/view/20166>. Acesso em: 25 jun. 2026.

SNOECK, D.; KOKO, L.; JOFFRE, J.; BASTIDE, P.; JAGORET, P. Cacao nutrition and fertilization. In: LICHTFOUSE, E. (ed.). **Sustainable Agriculture Reviews**, v. 19, p. 155-202. Cham: Springer, 2016. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-26777-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-26777-7_4). Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-26777-7\\_4](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-26777-7_4). Acesso em: 25 jun. 2026.

SOMARRIBA, E.; BEER, J. Productivity of *Theobroma cacao* agroforestry systems with timber or legume service shade trees. **Agroforestry Systems**, v. 81, n. 2, p. 109-121, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9364-1>. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10457-010-9364-1>. Acesso em: 25 jun. 2026.

SOUZA JÚNIOR, J. O.; SODRÉ, G. A.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do solo, correção da acidez e recomendação de adubação para o cacauero. In: SOUZA JÚNIOR, J. O. (org.). **Cacau: cultivo, pesquisa e inovação**. Ilhéus: Editus, 2018. 333-378p.

SOUZA JÚNIOR., J. O.; MELLO, J. W. V.; ALVAREZ-VENEGAS, V. H.; NEVES, J. C. L. Produtividade do cacauero em função de características do solo: I. características químicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 4, p. 863–872, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000400013>. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06831999000400013&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06831999000400013&lng=pt&tlng=pt). Acesso em: 23 jun. 2026.

TAÍPE-CANCHO, M. H.; CABRERA-VIGIL, C. E.; ARICOCHEA-MUÑOZ, P.; BENDEZÚ-DIAZ, L. F.; COTRINA-CABELLO, G. G. Uso de enmiendas cálcicas para mejorar propiedades químicas y disponibilidad de nutrientes de suelos ácidos. **Revista Alfa**, v. 9, n. 27, p. 22–30, 2025. DOI: <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i27.392>. Disponível em: <https://revistaalfa.org/index.php/revistaalfa/article/view/541>. Acesso em: 23 jun. 2026.

VELOSO, T. C.; SANTANA, A. C.; CALVI, M. F.; AZEVEDO JUNIOR, W. C.; GOMES, S. C.; MENDES, F. A. T.; SANTANA, Á.L. Efeitos sociobioeconômicos da transição do cacau cultivado em sistemas agroflorestais para pleno sol na Amazônia. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 19, n. 1, p. e010739, 2025. DOI: <https://doi.org/10.24857/rgsa.v19n1-100>. Disponível em: <https://rgsa.openaccesspublications.org/rgsa/article/view/10739>. Acesso em: 25 jun. 2026.

VENTURIERI, A.; OLIVEIRA, R. R. S.; IGAWA, T. K.; FERNANDES, K. A.; ADAMI, M.; OLIVEIRA JÚNIOR, M. C. M.; ALMEIDA, C. A.; SILVA, L. G. T.; CABRAL, A. I. R.; PINTO, J. F. K. C.; MENEZES, A. J. A.; SAMPAIO, S. M. N. The sustainable expansion of the cocoa crop in the state of Pará and its contribution to altered areas recovery and fire reduction. **Journal of Geographic Information System**, v. 14, n. 03, p. 294–313, 2022. DOI: <https://doi.org/10.4236/jgis.2022.143016>. Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=118147>. Acesso em: 25 jun. 2026.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 04, p. 743-755, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000400001>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/rSb9bsbsgjBqw4t9b9jrDBC/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 25 jun. 2026.

---

<sup>1</sup> Engenheiro Florestal, Mestre e Doutor em Ciência do Solo. Docente do Curso de Engenharia Florestal e do Programa de Pós-Graduação em Estudos em Etnodiversidade do Campus Universitário de Altamira da Universidade Federal do Pará. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2933-8764>.

<sup>2</sup> Engenheiro Florestal, Especialista em Gestão da Produção e em Geoprocessamento, Assessor Técnico da Associação Indígena Tato'a. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6771-7109>.

<sup>3</sup> Licenciado em Geografia, Especialista em Práticas de Ensino de Geografia. Professor da EMEIEF Leonardo D' Vinci. E-mail: [acesse o](#)

artigo original para visualizar o e-mail. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0363-1208>.