

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA TROPICAL

**EFEITO DA CALAGEM NAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO,
NUTRIÇÃO MINERAL E DESENVOLVIMENTO DE CULTIVARES DE
TOMATE CEREJA**

ALAN FERREIRA LEITE DE LIMA

**MANAUS - AM
2025**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA TROPICAL

**EFEITO DA CALAGEM NAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO,
NUTRIÇÃO MINERAL E DESENVOLVIMENTO DE CULTIVARES DE
TOMATE CEREJA**

Tese apresentada à Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos do Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical, para obtenção do título de “Doutor”.

Doutorando:
Alan Ferreira Leite de Lima

Orientador:
Prof. Dr. José Zilton Lopes Santos

MANAUS - AM

2025

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

L732e Lima, Alan Ferreira Leite de
Efeito da calagem nas propriedades químicas do solo, nutrição mineral e
desenvolvimento de cultivares de tomate cereja / Alan Ferreira Leite de
Lima. - 2025.
63 f. ; 31 cm.

Orientador(a): José Zilton Lopes Santos .
Tese (doutorado) - Universidade Federal do Amazonas, Programa de
Pós-Graduação em Agronomia Tropical, Manaus, 2025.

1. Latossolo. 2. Acidez do solo. 3. Calcário. 4. Nutrição mineral. 5.
Estresse vegetal . I. Santos, José Zilton Lopes. II. Universidade Federal do
Amazonas. Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical. III.
Título

ALAN FERREIRA LEITE DE LIMA

EFEITO DA CALAGEM NAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO,
NUTRIÇÃO MINERAL E DESENVOLVIMENTO DE CULTIVARES DE TOMATE
CEREJA

Tese apresentada à Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos do Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical, para obtenção do título de “Doutor”.

Aprovado em 08 de dezembro de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente

 JOSE ZILTON LOPEZ SANTOS
Data: 08/12/2025 21:40:54-0300
Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

Prof. Dr. José Zilton Lopes Santos – (Presidente)
Universidade Federal do Amazonas

Documento assinado digitalmente
 DOUGLAS MARCELO PINHEIRO DA SILVA
Data: 10/12/2025 04:01:44-0300
Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

Prof. Dr. Douglas Marcelo Pinheiro da Silva – (Membro Titular)
Universidade Federal do Amazonas

Documento assinado digitalmente
 VAIRTON RADMANN
Data: 09/12/2025 14:32:06-0300
Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

Prof. Dr. Vairton Radmann – (Membro Titular)
Universidade Federal do Amazonas

Documento assinado digitalmente
 JOSINALDO LOPEZ ARAUJO ROCHA
Data: 09/12/2025 08:20:36-0300
Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

Prof. Dr. Josinaldo Lopes Araújo Rocha – (Membro Titular)
Universidade Federal de Campina Grande

Documento assinado digitalmente
 FERNANDO GOMES DE SOUZA
Data: 09/12/2025 18:22:02-0300
Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

Prof. Dr. Fernando Gomes de Souza – (Membro Titular)
Universidade Federal de Roraima

Dedicatória

A minha mãe Eziilna Maria Ferreira Leite

Minha avó Adelaide Ferreira Leite

Meu pai Raimundo Nonato Rocha de Lima

Agradecimentos

Primeiramente agradeço à Deus pela graça da vida e pelas oportunidades que tem me proporcionado.

À Universidade Federal do Amazonas, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical, por possibilitar a realização desse trabalho.

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pela concessão da bolsa de estudo, à CAPES pelo incentivo e apoio à pesquisa, à coordenação do PPGATR pelo apoio logístico e financeiro.

Ao meu Orientador, Prof. Dr. José Zilton Lopes Santos, por todas as contribuições, pelos ensinamentos, incentivo, paciência e confiança depositada em mim na realização deste trabalho.

À equipe do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, em especial João Cleber, João Paulo e Marcelo Nunes pela ajuda nos experimentos, pela paciência e disponibilidade sempre.

À toda minha família, em especial a minha vó Adelaide Ferreira Leite, minha mãe Eziilna Maria Ferreira Leite e meu pai Raimundo Nonato Rocha de Lima, pelo apoio e incentivo a nunca desistir dos meus sonhos;

Aos meus amigos, Wildson Benedito, Bruna Motter, Jozângelo Fernandes da Cruz, Wirlad Marylene Paiva e Paulo Lira pela ajuda nos experimentos, pela paciência e disponibilidade sempre.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical e amigos do mestrado, que sempre contribuíram direta ou indiretamente para minha formação.

SUMÁRIO

RESUMO	9
INTRODUÇÃO GERAL	11
CÁPITULO I: Efeito da interação entre calagem e adubação mineral nas propriedades químicas de um Latossolo Amarelo	14
1.1. INTRODUÇÃO	16
1.2. MATERIAL E MÉTODOS	17
1.2.1. Caracterização da área de coleta do solo.....	17
1.2.2. Preparo e caracterização do solo	18
1.2.3. Tratamentos e delineamento experimental.....	19
1.2.4. Condução do experimento.....	19
1.2.5. Determinação dos atributos químicos do solo	20
1.2.6. Análise dos dados.....	21
1.3. RESULTADOS.....	22
1.3.1. Acidez do solo.....	22
1.3.2. Carbono orgânico, troca de cátions, saturação por bases e por alumínio	23
1.3.3. Macronutrientes do solo	24
1.3.4. Micronutrientes do solo.....	25
1.4. DISCUSSÃO	27
1.4.1. Componentes de acidez do solo	27
1.4.2. Disponibilidade de macronutrientes no solo	27
1.4.3. Disponibilidade de micronutrientes no solo.....	28
1.4.4. Carbono orgânico, troca de cátions, saturação por bases e por alumínio	29
1.5. CONCLUSÕES	30
1.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
CÁPITULO II: Respostas de cultivares de tomate cereja a doses de calcário	34
2.1. INTRODUÇÃO	36
2.2. MATERIAL E MÉTODOS	37
2.2.1. Material vegetal e condições de crescimento.....	37
2.2.2. Caracterização da área de coleta do solo.....	38
2.2.3. Tratamentos e delineamento experimental.....	39
2.2.4. Incubação com calcário e adubação	39
2.2.5. Condução do experimento.....	40
2.2.6. Variáveis estudadas	41

2.2.7. Análise dos dados.....	43
2.3. RESULTADOS.....	43
2.3.1. Efeito da calagem na nutrição	43
2.3.2. Efeito da calagem nos pigmentos e crescimento.....	46
2.3.3. Efeito da calagem na morfologia	48
2.3.4. Efeito da calagem na produção e qualidade de frutos.....	51
2.4. DISCUSSÃO	53
2.4.1. Resposta nutricional a doses de calcário	53
2.4.2. Crescimento e pigmentação de plantas em resposta a doses de calcário	54
2.4.3. Respostas morfológicas a doses crescente de calcário.....	55
2.4.4. Produção e qualidade de frutos em função das doses de calcário.....	56
2.5. CONCLUSÕES	57
2.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA INTRODUÇÃO GERAL	61

LIMA, Alan Ferreira Leite. **Efeito da calagem nas propriedades químicas do solo, nutrição mineral e desenvolvimento de cultivares de tomate cereja.** 2025. 63 p. Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM.*

RESUMO

A acidez dos solos tropicais constitui um dos principais fatores limitantes à produtividade agrícola, especialmente em culturas agrícolas sensíveis ao pH, como o tomateiro cereja. A calagem é uma prática essencial para neutralizar o alumínio tóxico, elevar a saturação por bases e melhorar a disponibilidade de nutrientes. Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes doses de calcário sobre as propriedades químicas do solo, a nutrição mineral, o desenvolvimento e a produção de cultivares de tomate cereja. O estudo foi desenvolvido em LATOSOLO AMARELO Distrófico típico, textura média utilizando seis doses de calcário (0, 1, 2, 4, 8 e 12 t ha⁻¹) na presença e ausência de adubação mineral. As variáveis avaliadas incluíram atributos químicos do solo, teores foliares de macro e micronutrientes, pigmentos fotossintéticos, características morfológicas, biomassa e componentes de produção. As doses crescentes de calcário elevaram o pH em água e CaCl₂ reduziram H⁺Al e Al³⁺, aumentaram Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e B, reduziram a disponibilidade de P, Fe, Mn, Cu e Zn, no solo. As respostas fisiológicas e morfológicas variaram entre cultivares, refletindo diferenças genotípicas na tolerância à acidez e ao suprimento de Ca. A dose de calcário de 2 a 4 t ha⁻¹ proporcionou absorção mais equilibrada de nutrientes possibilitando maior crescimento, produção e qualidades dos frutos. A cultivar Yubi demonstrou ser mais sensível à acidez e aos fatores ambientais do que a cultivar Cereja que demonstrou superioridade em crescimento e produção.

Palavras-chave: Latossolo, Acidez do solo, Calcário, Nutrição mineral, Estresse vegetal

*Orientador: José Zilton Lopes Santos - UFAM.

LIMA, Alan Ferreira Leite. **Effect of liming on soil Chemical properties, mineral nutrition, and development of cherry tomato cultivars.** 2025. 63 p. Thesis (Doctorate in Tropical Agronomy) - Amazonas Federal University, Manaus, AM.^{1*}

ABSTRACT

The acidity of tropical soils is one of the main limiting factors for agricultural productivity, especially in pH-sensitive crops such as cherry tomatoes. Liming is an essential practice to neutralize toxic aluminum, increase base saturation, and improve nutrient availability. This study aimed to evaluate the effect of different lime doses on soil chemical properties, mineral nutrition, development, and production of cherry tomato cultivars. The study was conducted in a typical dystrophic Yellow Latosol, medium texture, using six lime doses (0, 1, 2, 4, 8, and 12 t ha⁻¹) in the presence and absence of mineral fertilization. The evaluations included soil chemical attributes, foliar macro- and micronutrient contents, photosynthetic pigments, morphological characteristics, biomass, and yield components. As increasing doses of limestone increased the pH in water and CaCl₂ reduced H⁺Al and Al³⁺, increased Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, and B, and reduced the availability of P, Fe, Mn, Cu, and Zn in the soil. Physiological and morphological responses varied among cultivars, reflecting genotypic differences in tolerance to acidity and Ca supply. A limestone dose of 2 to 4 t ha⁻¹ provided more balanced nutrient absorption, enabling greater growth, production, and fruit quality. The Yubi cultivar proved to be more sensitive to acidity and environmental factors than the Cereja cultivar, which demonstrated superior growth and production.

Key-words: Latossolo, Soil acidity, Limestone, Mineral nutrition, Plant stress

*Adviser: José Zilton Lopes Santos - UFAM.

INTRODUÇÃO GERAL

A floresta tropical amazônica apresenta diversas classes de solos, oriundos de diferentes materiais de origem e condições bioclimáticas, que influem nos processos pedogenéticos alterando os atributos químicos, físicos, morfológicos e mineralógicos. As classes de solos predominantes são os Argissolos (31,6%) e Latossolos (28,9%) (Quesada et al., 2011). Maior parte desses solos são formados de rochas sedimentares, que devido altas temperaturas, intensas precipitações e mineralogia composta em boa parte por caulinita, apresentam elevada acidez ($\text{pH} < 5,00$) e baixa fertilidade, com predominância de alumínio (Al) no complexo de troca do solo (Souza et al., 2018).

Em sistemas altamente intemperizados, como Latossolos e Argissolos, a acidificação é intensificada por processos naturais incluindo lixiviação de bases, precipitação ácida, deposição de nitrogênio e processos antrópicos como o uso contínuo de fertilizantes nitrogenados (Goulding, 2016; Lu et al., 2014; Mao et al., 2017). Esse processo reduz o pH do solo, diminui a saturação por bases e eleva as concentrações de alumínio trocável (Al^{3+}) a níveis tóxicos, comprometendo a absorção de nutrientes minerais e o crescimento radicular (Neina, 2019; Bian et al., 2013; Baquy et al., 2018). Em solos brasileiros, caracterizados por cargas variáveis e forte grau de intemperismo, a acidificação é particularmente crítica, exigindo manejo adequado do solo com o uso da técnica da calagem para restaurar a fertilidade e assegurar elevada produtividade agrícola (Fageria & Nascente, 2014; Gurmessa, 2021).

A calagem é amplamente reconhecida como a prática corretiva mais eficaz no enfrentamento da acidez, promovendo aumento do pH, elevação da saturação por cálcio (Ca) e magnésio (Mg), redução da atividade tóxica de Al^{3+} e melhoria das condições químicas e biológicas do solo (Fontoura et al., 2019; Minato et al., 2023). O fornecimento de Ca e Mg favorece a flocação da estrutura, a agregação e a atividade microbiana, estimulando o acúmulo de carbono e a ciclagem de nutrientes (Paradelo, 2015; Inagaki et al., 2016). A ação da calagem estende-se também a processos fisiológicos em nível de planta, aprimorando o crescimento radicular, o aproveitamento hídrico, as trocas gasosas e, consequentemente, a produtividade (Bossolani et al., 2021). Estudos de meta-análise mostram que os efeitos da calagem variam conforme o tipo de material calcário, método de aplicação, dose e espécie cultivada (Li et al., 2019), reforçando a necessidade de estudos refinados em espécies hortícolas de alto valor

comercial buscando a melhoria na produtividade e rentabilidade das culturas (Enesi et al., 2023).

Além de afetar macronutrientes, a calagem altera significativamente a disponibilidade de micronutrientes, os quais desempenham funções vitais no metabolismo vegetal (Fageria e Baligar, 2002). Micronutrientes como ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu) e boro (B) apresentam forte dependência do pH, podendo ter sua disponibilidade reduzida em ambientes excessivamente alcalinizados (Saha et al., 2019; Moreira et al., 2017). Em culturas agrícolas sensíveis a acidez do solo como o tomateiro, a desbalanço nutricional pode comprometer processos fisiológicos envolvidos na fotossíntese, formação de frutos e integridade de tecidos (Gama et al., 2023; Ma & Tsay, 2021; Ahmed et al., 2024). Trabalhos recentes de Yuste-Lisbona et al. (2020) e Wu et al. (2024) destacam que mudanças bruscas no pH fora da faixa adequada influenciam o crescimento radicular, a absorção de cátions (K, Ca e Mg) e ânions, e até mesmo a formação do meristema floral, afetando o tamanho e a qualidade dos frutos.

Em hortaliças como o tomate cereja, a correção da acidez do solo assume importância estratégica devido à elevada demanda nutricional da cultura e à sensibilidade a desbalanços de Ca^{2+} e Mg^{2+} . O tomate é uma espécie altamente exigente em Ca, o qual desempenha papel estrutural na parede celular e está relacionado diretamente à firmeza dos frutos e à prevenção de desordens fisiológicas como o fundo-preto (Kader, 2008; Ahmed et al., 2024). Nesse contexto, a calagem corrige a acidez e fornece Ca, desempenhando dupla função agronômica. Contudo, doses elevadas podem induzir deficiências de micronutrientes como Fe, Mn e Zn, prejudicando a fotossíntese, a síntese de clorofila e o crescimento (Long et al., 2017; Sediqui et al., 2024). Enquanto doses deficientes podem causar deficiência de macronutrientes, toxicidade pela elevada disponibilidade de micronutrientes, comprometendo o desenvolvimento da planta (Fageria e Baligar, 2002).

Estudos específicos com tomateiros confirmam que a resposta da cultura à calagem é complexa e altamente dependente do genótipo. Fink et al. (2020) verificaram que a calagem, quando associada ao manejo adequado de fósforo (P) e potássio (K), melhora o pH, reduz Al^{3+} e incrementa significativamente a produtividade de tomateiro cereja cultivado em Oxisol, entretanto, há variações entre cultivares quanto à tolerância a desequilíbrios nutricionais e à eficiência no uso de Ca e Mg. Em experimentos recentes, Sediqui et al. (2024) observaram que concentrações elevadas de calcário

(CaCO_3), afetam o desenvolvimento de raízes finas, o conteúdo de clorofila, os mecanismos antioxidativos e parâmetros de qualidade dos frutos de tomateiro, sugerindo que doses excessivas podem induzir estresse fisiológico. Esses resultados reforçam a importância de investigar respostas varietais de cultivares de tomateiro especialmente sob condições de solos tropicais com altas limitações químicas.

Além da nutrição, a calagem influencia a eficiência no uso da água, aspecto crucial em cenários de variabilidade climática e restrição hídrica. Em solos ácidos, a limitação radicular e a baixa disponibilidade de nutrientes reduzem a absorção de água, comprometendo transpiração e trocas gasosas (Gaiser et al., 2004). A calagem tende a melhorar o ambiente radicular, aumentando o volume de raízes explorado, a condutância estomática e o desempenho hídrico (Bossolani et al., 2021). Em cultivos sob déficit hídrico, a aplicação de calcário tem se mostrado eficaz em elevar a produtividade e a eficiência do uso de água (Asmamaw et al., 2025).

A complexidade das interações entre calagem, propriedades químicas do solo, nutrição mineral e desenvolvimento vegetal evidencia a necessidade de estudos específicos para diferentes cultivares do tomateiro e condições edafoclimáticas. Mesmo com o avanço das pesquisas (Fageria e Baligar, 2002; Minato et al., 2023), lacunas permanecem quanto à magnitude e ao equilíbrio das doses de calcário necessárias para otimizar simultaneamente a fertilidade do solo, a absorção de macro e micronutrientes, o vigor vegetativo e a qualidade dos frutos em espécies hortícolas de alto valor comercial, como o tomate cereja (Enesi et al., 2023). Além disso, os efeitos diferenciados entre genótipos reforçam a importância de abordagens comparativas que avaliem parâmetros químicos, fisiológicos e agronômicos de maneira integrada.

Diante desse contexto, o presente estudo avaliou o efeito de diferentes doses de calcário nas propriedades químicas do solo, no estado nutricional e no desenvolvimento de cultivares de tomate cereja. Visando contribuir para uma melhor definição de doses de calcário e escolha de cultivares de tomateiro cereja em região tropical. Ao integrar variáveis químicas, fisiológicas e produtivas, este trabalho pretende preencher lacunas existentes na literatura quanto ao equilíbrio das doses de calcário necessárias para otimizar simultaneamente a fertilidade do solo, a absorção de macro e micronutrientes e ampliar o conhecimento sobre a interação entre calagem e desempenho agronômico de cultivares de tomate cereja em solos ácidos.

CÁPITULO I

LIMA, Alan Ferreira Leite. **Efeito da interação entre calagem e adubação mineral nas propriedades químicas de um Latossolo Amarelo.** 2025. cap.1, 20p. Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM. *

RESUMO

Os Latossolos Amarelos apresentam elevada acidez e baixa disponibilidade de nutrientes, reduzindo a eficiência da adubação química, quando feita de forma isolada. A calagem, especialmente quando associada à adubação mineral, é essencial para corrigir o pH e otimizar a fertilidade do solo. Objetivamos neste estudo, avaliar o efeito da interação entre calagem e a adubação mineral sobre os atributos químicos de um Latossolo Amarelo distrófico classificar até o 4º nível categórico. Os tratamentos foram constituídos por combinação fatorial de duas condições de adubação mineral (presente e ausente) com seis níveis de calcário (0,0; 1,0; 2,0; 4,0; 8,0; 12,0 t ha⁻¹). As parcelas foram distribuídas em um delineamento inteiramente casualizado, com 12 repetições, totalizando 144 unidades experimentais. Foram analisados pH em água e CaCl₂, H+Al, Al³⁺, cálcio, magnésio e potássio trocáveis, fósforo disponível, carbono orgânico do solo, capacidade de troca catiônica potencial, saturação por bases e por alumínio. A calagem elevou o pH, reduziu a acidez potencial e aumentou Ca²⁺, Mg²⁺ e a saturação por bases, enquanto a adubação potencializou a disponibilidade de nutrientes essenciais. A interação entre ambas práticas influenciaram a dinâmica de P, Zn, Mn e Cu no solo. Conclui-se que a combinação de calagem e adubação mineral promoveu melhorias significativas na fertilidade do Latossolo Amarelo, criando condições mais favoráveis ao crescimento das culturas.

Palavras-chave: Solo Tropical, Acidez do solo, Fertilidade, Macronutrientes, Micronutrientes

*Orientador: José Zilton Lopes Santos - UFAM.

LIMA, Alan Ferreira Leite. **Effect of the interaction between liming and mineral fertilisation on the chemical properties of a Yellow Latosol.** 2025. cap.1, 20p. Thesis (Doctorate in Tropical Agronomy) - Amazonas Federal University, Manaus, AM.*

ABSTRACT

Yellow Latosols exhibit high acidity and low nutrient availability, reducing the efficiency of chemical fertilization when applied in isolation. Liming, especially when combined with mineral fertilization, is essential to correct pH and optimize soil fertility. This study aimed to evaluate the effect of the interaction between liming and mineral fertilization on the chemical attributes of a dystrophic Yellow Latosol classified up to the 4th categorical level. The treatments consisted of a factorial combination of two mineral fertilization conditions (present and absent) with six levels of limestone (0.0; 1.0; 2.0; 4.0; 8.0; 12.0 t ha⁻¹). The plots were distributed in a completely randomized design with 12 replications, totaling 144 experimental units. pH in water and CaCl₂, H⁺+Al, Al³⁺, exchangeable calcium, magnesium and potassium, available phosphorus, soil organic carbon, potential cation exchange capacity, base saturation, and aluminum saturation were analyzed. Liming increased pH, reduced potential acidity, and increased Ca²⁺, Mg²⁺, and base saturation, while fertilization enhanced the availability of essential nutrients. The interaction between both practices influenced the dynamics of P, Zn, Mn, and Cu in the soil. It is concluded that the combination of liming and mineral fertilization promoted significant improvements in the fertility of the Yellow Latosol, creating more favorable conditions for crop growth.

Key-words: Tropical soil, Soil acidity, Fertility, Macronutrients, Micronutrients

*Orientador: José Zilton Lopes Santos - UFAM.

1.1. INTRODUÇÃO

Estima-se que 3950 milhões de hectares de terras aráveis no mundo são afetadas pela acidez do solo. Grande parte dos solos da região amazônica apresentam acidez natural, classificados como altamente ácido (pH 3,5–4,5) e moderadamente ácido (pH 4,5–5,5) (Bian et al., 2013), contudo, práticas de manejos inadequadas vêm degradando quimicamente esses solos, acidificando-os (Lima et al., 2018). Nesses solos, a acidez elevada provoca a disponibilidade de cátions ácidos como hidrogênio (H^+), alumínio (Al^{3+}), manganês (Mn^{2+}) e ferro (Fe^{2+}) muitas vezes chegando a níveis tóxicos, em contrapartida os cátions como cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e sódio (Na) apresentam baixa disponibilidade (Baquey et al., 2018).

Esses baixos valores de pH encontrados nos solos são consequências da ação de processo pedogenético, impulsionado por reações geradoras de prótons (H^+ e Al^{3+}), como a deposição de prótons (H^+) pela chuva, dissociação de ácidos carbônicos e orgânicos, nitrificação microbiana, absorção excessiva pela vegetação de cátions e baixa composição nutricional do material de origem (Lu et al., 2014). Desta forma, com o aumento nos teores de prótons, ocorre uma substituição dos cátions Ca, Mg e K do complexo de sorção do solo tamponando a entrada de ácidos, favorecendo perdas por lixiviação. Uma vez esgotados os cátions Ca, Mg e K do solo o pH ($pH < 4,2$) torna-se tamponado pelo Al e, posteriormente, com pH aproximado de 3,0 a 4,0 tamponado pelo ferro (Mao et al., 2017).

A acidez do solo é um dos principais fatores que impactam de forma positiva ou negativa no potencial produtivo das culturas (Meng et al., 2019). A calagem surge como principal prática agrícola para mitigar da acidez do solo (Bossolani et al., 2021). A calagem é responsável pela neutralização da acidez do solo, aumenta a concentração de nutrientes como Ca e Mg, reduz os níveis de elementos tóxicos ao desenvolvimento das plantas, aumenta a capacidade produtiva do solo (Bossolani et al., 2021, Li et al., 2019) e melhora os teores de matéria orgânica e consequentemente o carbono orgânico do solo (Inagaki et al., 2016, Gurmess, 2021). Em contrapartida, a calagem excessiva pode elevar o pH do solo acima da faixa adequada para o desenvolvimento das culturas, resultando em efeitos indesejáveis, como baixa disponibilidade de micronutrientes catiônicos metálicos [cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn) e manganês (Mn)] (Saha et al., 2019), afetar o balanço de bases e alterar a estrutura do solo (Augusti et al., 2023).

Desta forma, o sucesso da calagem depende de diversos fatores como tempo, frequência de aplicação, dose, tipo de solo, clima e manejo da cultura (Auler et al., 2019,

Bossolani et al., 2020). Li et al., (2019) ao avaliarem diversos trabalhos, observaram que, para atingir a faixa de pH ideal no solo, a duração entre uma aplicação e outra deve ser menos que 3 anos, com uma dose de aplicação de 3 a 6 t ha⁻¹ utilizando CaMg(CO₃)₂.

A calagem quando feita isoladamente não melhora de forma significativa a fertilidade do solo, quando realizada em solos pobres em nutrientes, como os solos tropicais. Desta forma há a necessidade de combina-la com a aplicação de fertilizantes para restaurar a fertilidade do solo e aumentar a eficiência do uso de fertilizantes (Aegnehu et al., 2023), Principalmente o K⁺ devido a competição com Ca e Mg que é fornecido pelo CaMg(CO₃)₂ (Ouimet e Moore 2015) e os micronutrientes Cu, Mn e Zn que reduzem a disponibilidade devido ao aumento no pH (Das et al., 2023).

Diante do exposto, o presente estudo teve o objetivo de avaliar o efeito da interação entre calagem e adubação mineral nas propriedades químicas do solo, além disso, buscou encontrar a dose ideal de calcário que proporcione melhorias nos atributos químicos do solo para o desenvolvimento das culturas em um Latossolo localizado na região sul do Amazonas.

1.2. MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1. Caracterização da área de coleta do solo

O estudo foi realizado utilizando solo coletado na Fazenda Experimental Mangabeira do IEAA/UFAM, localizada na BR-230 (Transamazônica), no km 4, sentido Humaitá-AM à Lábrea-AM (Figura 1). Sob as coordenadas geográficas 7°31'39.9"S 63°03'15.5"W, a uma altitude média de 92 m.

Na área de coleta predominava um Latossolo Amarelo Distrófico de textura média (Santos et al., 2018) e, a coleta foi feita na camada superficial de 0-20 cm de profundidade, em um ambiente de terra firme, sob vegetação nativa (Cerradão). Onde os solos estavam mais preservados e mantinham suas características físicas e químicas originais.

O clima da região segundo a classificação de Köppen, pertence ao grupo A (Clima Tropical) e tipo climático Am (Chuva de monção). A pluviosidade anual varia de 2.200 a 2.500 mm. A temperatura ao longo do ano varia de 22 °C a 32 °C. A umidade relativa é bastante elevada, variando entre 85% e 90% na época chuvosa e entre 60 a 70% na época seca (Alvares et al., 2013).

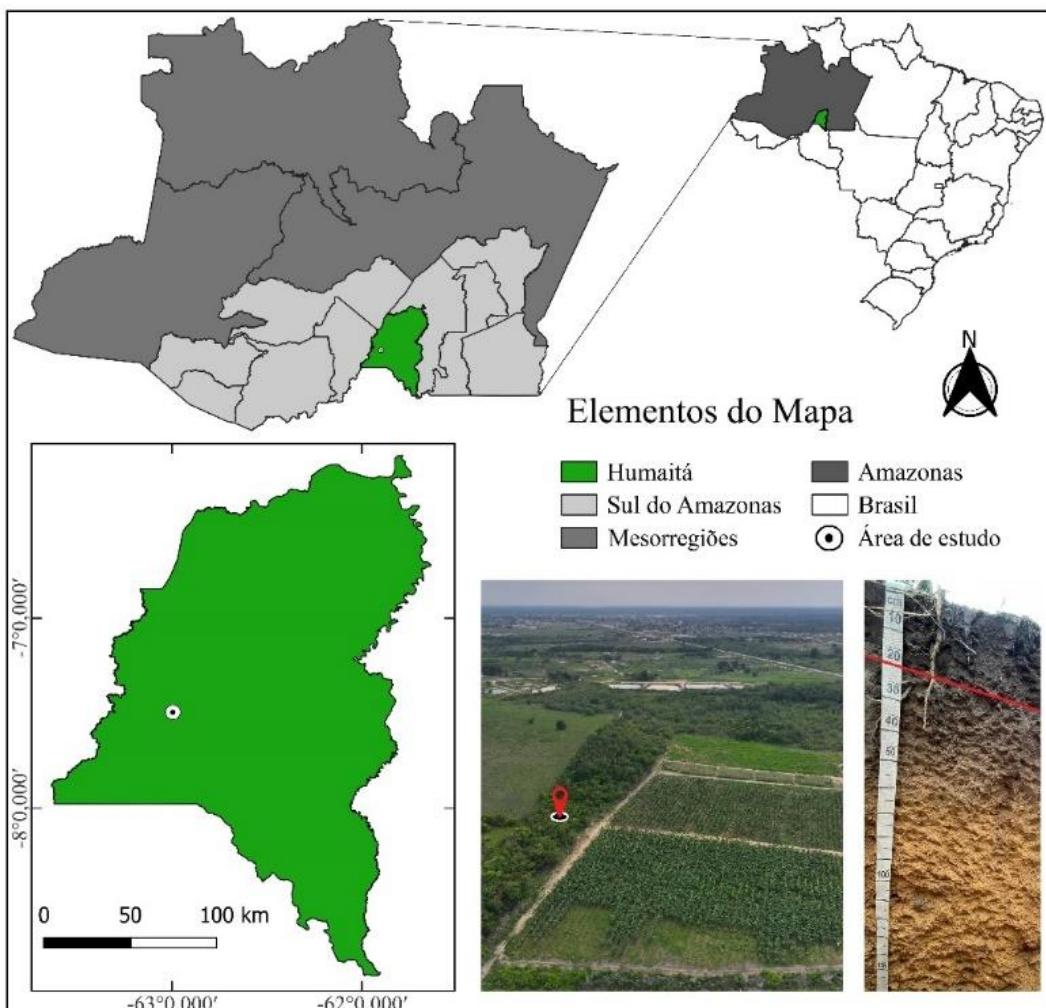


Figura 1. Localização da área de coleta do solo utilizado no estudo.

1.2.2. Preparo e caracterização do solo

Após a coleta, o solo foi destorrado, homogeneizado, seco à sombra e passado em peneira de 4,0 mm. Em seguida foram retiradas subamostras do solo que foram passadas em uma peneira de 2,0 mm de abertura para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Estas subamostras foram caracterizadas quimicamente e gronulometricamente, conforme Teixeira et al. (2017) e, os resultados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos químicos e granulométricos do solo (0 – 20 cm de profundidade), antes da aplicação dos tratamentos.

pH CaCl ₂	pH H ₂ O	Al ³⁺	H+Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	t	T	V
----- cmol _c dm ⁻³ -----										
3,13	4,14	3,78	6,63	0,17	0,21	0,08	0,04	4,29	7,13	7,06
m	P	Cu	Zn	Fe	Mn	B	COT	Areia	Silte	Argila
----- mg dm ⁻³ -----										
88,26	0,84	0,69	1,17	111,70	0,98	0,09	13,50	449,28	385,24	165,48

H+Al: acidez potencial, t: capacidade de trocar cátions efetiva, T: capacidade de trocar cátions potencial, V: saturação por bases, m: saturação por alumínio: COT: carbono orgânico total.

1.2.3. Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram constituídos por combinação fatorial de duas condições de adubação mineral (presente e ausente) com seis níveis de calcário (0,0; 1,0; 2,0; 4,0; 8,0; 12,0 t ha⁻¹). Os vasos com solo foram distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado, com 12 repetições, totalizando 144 unidades experimentais.

1.2.4. Condução do experimento

As amostras de solo seco e passadas em peneira de 4 mm foram acondicionadas nos vasos de 7,0 dm⁻³ sem poros de drenagem. Este solo foi transferido para uma bandeja, onde foi aplicado o calcário, composto por uma mistura de CaCO₃ + MgCO₃ (p.a), mantendo a relação estequiométrica Ca:Mg de 4:1. O calcário foi adicionado e misturado ao solo, de forma manual, visando alcançar uma mistura homogênea. Em seguida, o solo foi devolvido para o vaso de acordo com especificidade de cada tratamento e foi umedecido com água deionizada em aproximadamente 60% da capacidade de campo, os vasos foram tampados para manter a umidade durante o período 30 dias de incubação (Allen et al., 1998).

Após a incubação das doses de calcário, realizou a coleta de amostras de aproximadamente 50 g de solo em cada vaso. Nós utilizamos um trado tipo sonda para fazer três coletas em pontos equidistantes dentro do vaso, constituindo uma amostra composta unidade experimental. As amostras de solo foram secas a sombra, destorreadas e passadas em peneiras de 2 mm de abertura para obtenção TFSA e submetidas as análises químicas (Teixeira et al., 2017).

Concomitantemente, os vasos foram destampados na parte superficial, deixando exposto por sete dias a pleno sol para secagem. Em seguida foi realizada a adubação mineral, constituindo a segunda parte dos tratamentos. Esta fertilização do solo foi feita de acordo com Cantarella et al. (2022), para cultura de tomate de mesa, fundamentada nas recomendações de Malavolta (1980) para cultivo de plantas em ambiente protegido. As doses das fontes e nutrientes utilizadas estão apresentadas na Tabela 2. Os fertilizantes foram aplicados na forma de solução utilizando pipetas e posteriormente misturados ao solo para maior uniformização da aplicação.

Tabela 2. Fontes de fertilizantes empregadas no experimento, com as respectivas doses e o fornecimento de nutriente por dm³, associado a dose de cada fonte.

Nutrientes	Nutriente mg dm ⁻³	Fontes	Fonte mg dm ⁻³
N	217,35	MAP (Fosfato Monoamônico)	-
K	196,72	K ₂ SO ₄ (Sulfato de potássio)	438,38
P	490,93	MAP (Fosfato Monoamônico)	1811,25
S	81,82	-	-
B	5,00	H ₃ BO ₃ (Ácido Bórico)	28,59
Zn	10,00	ZnSO ₄ .7H ₂ O (Sulfato de zinco)	43,96
Cu	5,00	CuSO ₄ .5H ₂ O (Sulfato de cobre)	19,64
Mn	6,25	MnSO ₄ .H ₂ O (Sulfato de manganês)	19,23
Mo	0,15	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ . 4H ₂ O (Molibdato de amônio)	0,28

Após a adubação a umidade do solo foi ajustada para cerca de 60% da capacidade de campo (Allen et al., 1998) utilizando água deionizada, os vasos foram novamente tampados na parte superior e incubados por 30 dias. Após a incubação do solo com as doses de fertilizantes, realizou-se novamente a coleta de amostras de aproximadamente 50 g de solo em cada vaso. Foram utilizados trado tipo sonda para fazer três coletas em pontos equidistantes dentro do vaso, constituindo uma amostra composta por unidade experimental. As amostras de solo foram secas a sombra, destorreadas e passadas em peneiras de 2 mm de abertura para obtenção TFSA e submetidas as análises químicas (Teixeira et al., 2017).

1.2.5. Determinação dos atributos químicos do solo

A determinação dos atributos químicos foi feita nas amostras coletadas após a incubação do solo com doses de calcário e, posteriormente, após a adubação mineral. As amostras de solo foram secas a sombra, destorreadas e passadas em peneiras de 2 mm de abertura para obtenção TFSA e submetidas as análises químicas.

Em laboratório foram realizadas análises químicas, sendo avaliado os componentes de acidez, os macronutrientes, micronutrientes e carbono orgânico do solo, conforme a metodologias descritas por Teixeira et al. (2017).

Os componentes de acidez quantificados em laboratório: pH em H₂O e em CaCl₂, determinado potenciometricamente, utilizando a relação solo:solução de 1:2,5; alumínio trocável (Al³⁺) extraído por solução de KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por titulometria, utilizando NaOH a 0,025 mol L⁻¹; e azul de bromotimol como indicador colorimétrico, e acidez potencial (H+Al) foi extraída com acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ tamponado a pH

7,0 e determinada por titulometria utilizando NaOH a 0,025 mol L⁻¹ e fenolftaleína como indicador.

Os macronutrientes quantificados em laboratório: potássio (K⁺) e o fósforo (P) disponíveis, foram extraídos por Mehlich-1, sendo os teores de P determinados por espectrofômetro-UV-vis e os teores de K⁺ e Na⁺ por espectrofotometria de chama, O cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) foram extraídos por solução de KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por espectrometria de absorção atômica.

Os micronutrientes quantificados em laboratório: cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) que foram extraídos pelo extrator Mehlich-1 e determinados por espectrometria de absorção atômica, boro (B) extraído por Mehlich-1 e determinados por espectrofômetro-UV-vis (Chaves et al., 2006).

Com base nas determinações dos cátions trocáveis e acidez potencial foram estimadas: capacidade de troca de cátions (CTC) potencial, saturação por bases (V), e saturação por alumínio (m).

O carbono orgânico do solo (COS) foi determinado no método via úmida de acordo com Walkley-Black, modificado por Yeomans & Bremner (1988). Onde o carbono orgânico do solo é oxidado com uma mistura de dicromato de potássio a 0,0667 mol L⁻¹, utilizou-se como indicador a difenilamina 1% e sulfato ferroso amoniacial a 0,102 mol L⁻¹ como titulante.

1.2.6. Análise dos dados

Os resultados obtidos foram previamente submetidos à teste de detecção para retirada de *outliers* e, em seguida aos testes de normalidade (Shapiro e Wilk, 1965) e homogeneidade de variâncias (Levene, 1960).

Atendido aos pressupostos, os dados foram submetidos à análise de variância e, quando o *F* for significativo (*P*<0,05), as médias das variáveis foram testadas pelo teste de Tukey (*P*<0,05), adiante quando confirmado significância entre a interação da ausência e presença de adubação com as doses de calagem, foram realizados os desdobramentos verificando o efeito da presença e ausência de adubação dentro de cada dose e as doses de calagem para presença e ausência de adubação. Adiante os desdobramentos foram ajustados a modelos matemáticos de regressão polinomial de primeiro e segundo grau. Os critérios para escolha dos modelos de regressão foram a significância do modelo e coeficiente de determinação mais próximo de um.

1.3. RESULTADOS

1.3.1. Acidez do solo

As doses de calcário influenciaram significativamente ($P<0,05$) os componentes de acidez do solo para a presença e ausência de adubação. Foram observadas interações significativas para o pH em CaCl_2 e para o Al^{3+} (Figura 2).

O pH em água, pH em CaCl_2 tiveram efeito linear crescente com o aumento das doses de calcário tanto para presença quanto para ausência de adubação, sendo observado diferença estatística ($P<0,05$) entre a presença e ausência de adubação. O pH em água apresentou variação de 4,02 a 6,76 sem adubação e 3,91 a 5,37 com adubação para 0 e 12 t de calcário, sendo necessário para elevar uma unidade o pH do solo 4,55 t ha^{-1} de calcário para os tratamentos sem adubação e 10 toneladas para os tratamentos com adubação. O pH em CaCl_2 apresentou variação de 2,96 a 6,04 sem adubação e 3,29 a 5,02 com adubação para 0 e 12 t ha^{-1} de calcário, sendo observado valores superiores de pH para os tratamentos com adubação em relação aos sem adubação até a dose de 3 t ha^{-1} de calcário, observando maiores valores para o tratamento sem adubação.

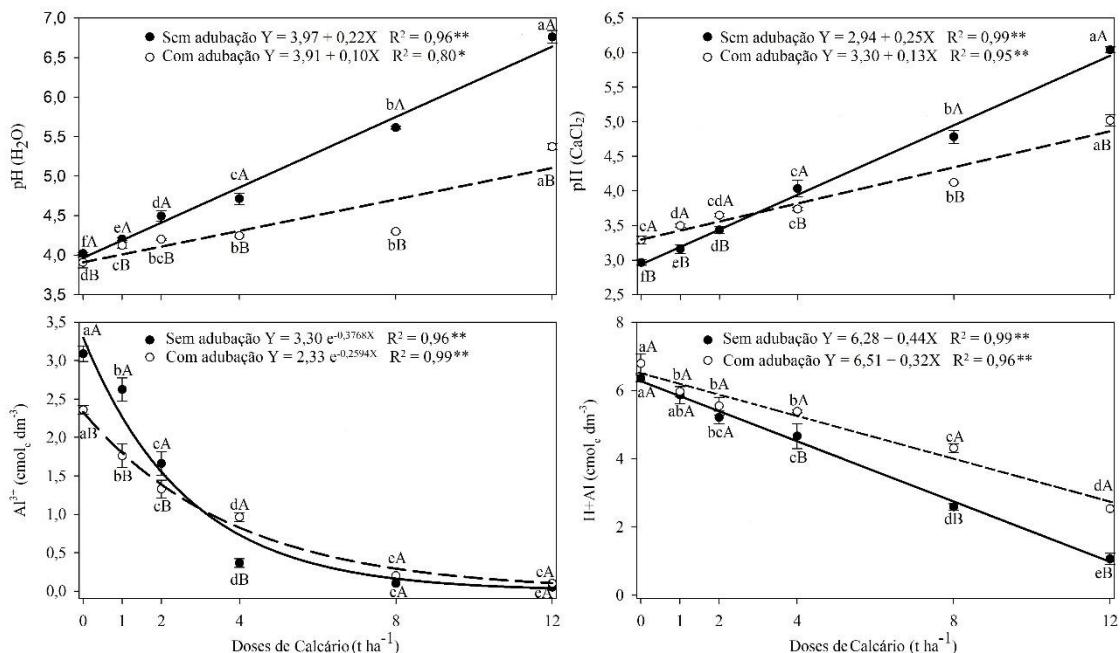


Figura 2. Efeito de doses de calcário e adubação química na acidez do solo. Letras minúsculas iguais entre as doses de calagem e letras maiúsculas iguais entre a presença e ausência de adubação, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O alumínio trocável ajustou-se ao modelo logaritmo decrescente em função das doses de calcário, sendo observado valores próximos de zero ($0,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) a partir da dose de 8 t ha^{-1} para presença e ausência de adubação. Até a dose de 2 t ha^{-1} , o tratamento com adubação foi superior ao sem adubação, sendo observado inversão desse efeito a partir da dose de 3 t ha^{-1} .

A acidez potencial apresentou efeito linear decrescente com o aumento das doses de calagem tanto para presença quanto para ausência de adubação. O tratamento com adubação foi superior ao tratamento sem, observando um aumento na discrepância entre os dois com o aumento das doses de calcário.

1.3.2. Carbono orgânico, troca de cátions, saturação por bases e por alumínio

O carbono orgânico do solo, a capacidade de trocar cátions, a saturação por bases e saturação por alumínio apresentaram diferença estatística ($P<0,05$) para as doses de calcário dentro da presença e ausência de adubação. Houve interação significativa para CTC, V% e m% (Figura 3).

Os teores de COS foram influenciados pelas doses de calcário, sendo ajustado ao modelo matemático quadrático negativo, observando maior teor entre as doses de 4 a 8 t ha^{-1} de calcário. Foram observados maiores teores nos tratamentos sem adubação, com diferença estatística ($P<0,05$) nas doses de 4 e 12 t ha^{-1} .

A CTC potencial do solo foi influenciada pelas doses e pela presença e ausência de adubação, sendo observado estabilização a partir da dose de 8 t ha^{-1} para o tratamento com adubação e redução a partir da dose de 4 t ha^{-1} para o tratamento sem adubação. O tratamento com adubação a partir da dose de 4 t ha^{-1} teve CTC superior ao sem adubação, com aumento crescente entre as doses.

A V dentro dos dois tratamentos ajustou-se ao modelo matemático quadrático negativo, sendo observado pouco ganho a partir da dose de 8 t ha^{-1} de calcário, atingindo no máximo 87%. Entre os tratamentos observou-se pouca diferença estatística ($P<0,05$), apenas entre as doses de 0 e 8 t ha^{-1} , evidenciando baixo efeito da adubação na saturação por bases.

A m dentro dos dois tratamentos ajustou-se ao modelo matemático logaritmo com decaimento nos valores com o aumento das doses de calcário, sendo observado valores baixos a partir da dose de 8 t ha^{-1} . Entre os tratamentos com e sem adubação foram

observados diferença entre as doses de 0 a 4 t ha⁻¹, sendo observado maiores valores para o tratamento sem adubação.

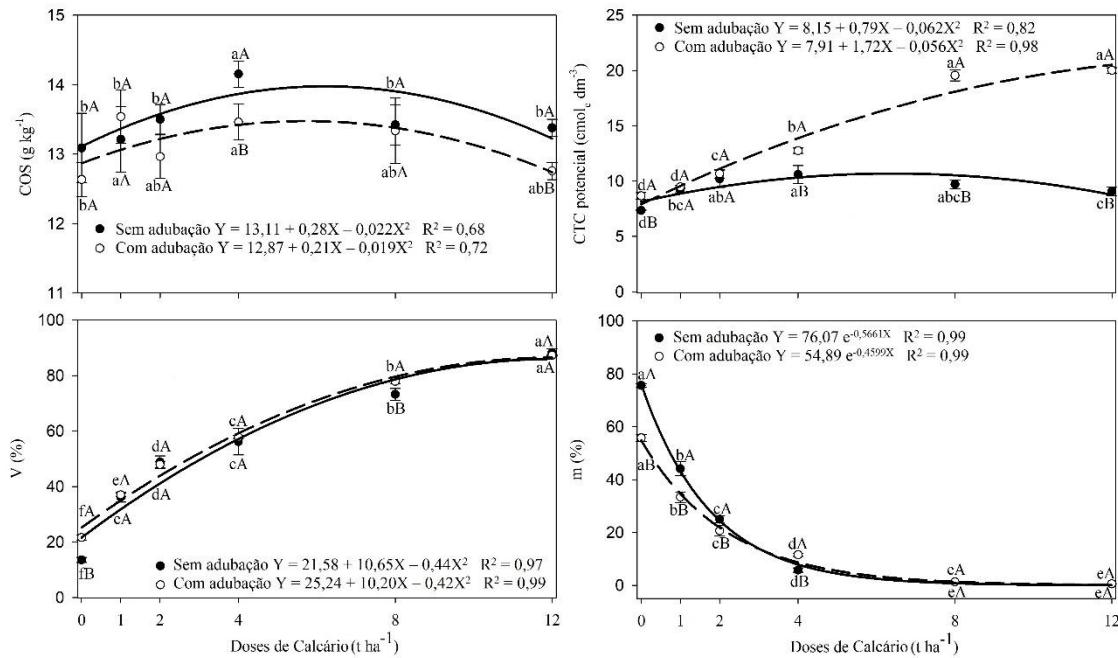


Figura 3. Efeito de doses de calcário e adubação química no carbono orgânico, CTC potencial e saturação por bases e alumínio do solo. Letras minúsculas iguais entre as doses de calagem e letras maiúsculas iguais entre a presença e ausência de adubação, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

1.3.3. Macronutrientes do solo

Foram observadas diferenças estatísticas ($P < 0,05$) para as doses de calcário e para presença e ausência de adubação, exceto para doses de calagem sem adubação para as variáveis K^+ e P. Observou-se interação significativa para o Ca^{2+} (Figura 4).

Os teores de Ca²⁺ no solo aumentaram com o incremento da dose de calcário, ajustando-se ao modelo quadrático, sendo observado teores de 0,80 a 6,64 cmol_c dm⁻³ para o tratamento sem adubação e 0,92 a 12,55 cmol_c dm⁻³, para o tratamento com adubação nas doses de 0 a 12 t ha⁻¹ de calcário, evidenciando a superioridade do tratamento com adubação a partir da dose de 2 t ha⁻¹.

Observou-se ganho linear na disponibilidade de Mg^{2+} para o tratamento com adubação e ganho exponencial menos expressivo para tratamento sem adubação, sendo observado pouco ganho a partir da dose de 8 t ha^{-1} . O tratamento com adubação foi superior ao sem adubação, sendo observada diferença a partir da dose de 2 t ha^{-1} .

As doses de calagem influenciaram a disponibilidade de K^+ para o tratamento com adubação, sendo observado um comportamento quadrático com maior disponibilidade

(0,49 cmol_c dm⁻³) nas doses 2 e 4 t ha⁻¹. Entre a presença e ausência de adubação houve diferença significativa com os maiores teores no tratamento com adubação.

Para o P observou-se efeito antagônico na disponibilidade, com o aumento das doses de calcário, para o tratamento com adubação, sendo observado uma variação de 125,48 para 99,43 entre as doses de 0 e 12 t ha⁻¹. Entre a presença e ausência de adubação houve diferença significativa com os maiores teores no tratamento com adubação.

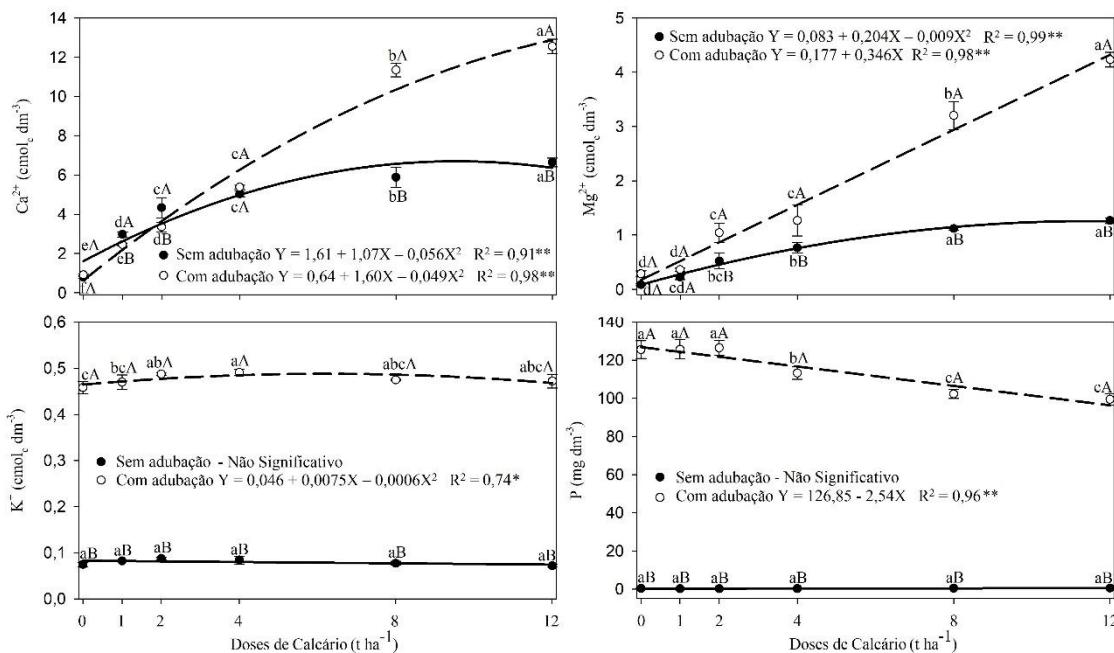


Figura 4. Efeito de doses de calcário e adubação química nos macronutrientes do solo. Letras minúsculas iguais entre as doses de calagem e letras maiúsculas iguais entre a presença e ausência de adubação, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

1.3.4. Micronutrientes do solo

Todos os micronutrientes estudados apresentaram diferença estatística ($P < 0,05$) para as doses de calcário e a presença e ausência de adubação. Não houve interação significativa entre as doses de calcário e presença e ausência de adubação (Figura 5).

O Cu, Mn e Fe, apresentaram decaimento com o aumento nas doses de calcário, sendo observado estabilização na disponibilidade a partir da dose de 8 t ha⁻¹. A maior disponibilidade foi observada no tratamento com adubação, exceto para Fe onde observou-se variações de 116,0 a 71,13 mg dm⁻³ para o tratamento sem adubação e 66,07 a 40,10 mg dm⁻³ para o tratamento com adubação nas doses de 0 a 12 t ha⁻¹ de calcário.

Foram observados maiores teores de Zn no tratamento com adubação, com variações de 1,18 a 0,02 mg dm⁻³ no tratamento sem adubação e 9,02 a 4,17 mg dm⁻³ no tratamento com adubação. A disponibilidade de Zn em função das doses de calcário

ajustou ao modelo linear, apresentando redução de 40 e 46% em sua disponibilidade com o aumento das doses de calagem para presença e ausência de adubação.

A disponibilidade de B apresentou efeito contrário aos demais micronutrientes, ajustando-se ao modelo linear, com efeito direto em função das doses de calagem para presença e ausência de adubação. Foram observados maiores disponibilidade de B no tratamento com adubação, com variações de 0,10 a 0,14 mg dm⁻³ no tratamento sem adubação e 0,19 a 0,32 mg dm⁻³ no tratamento com adubação.

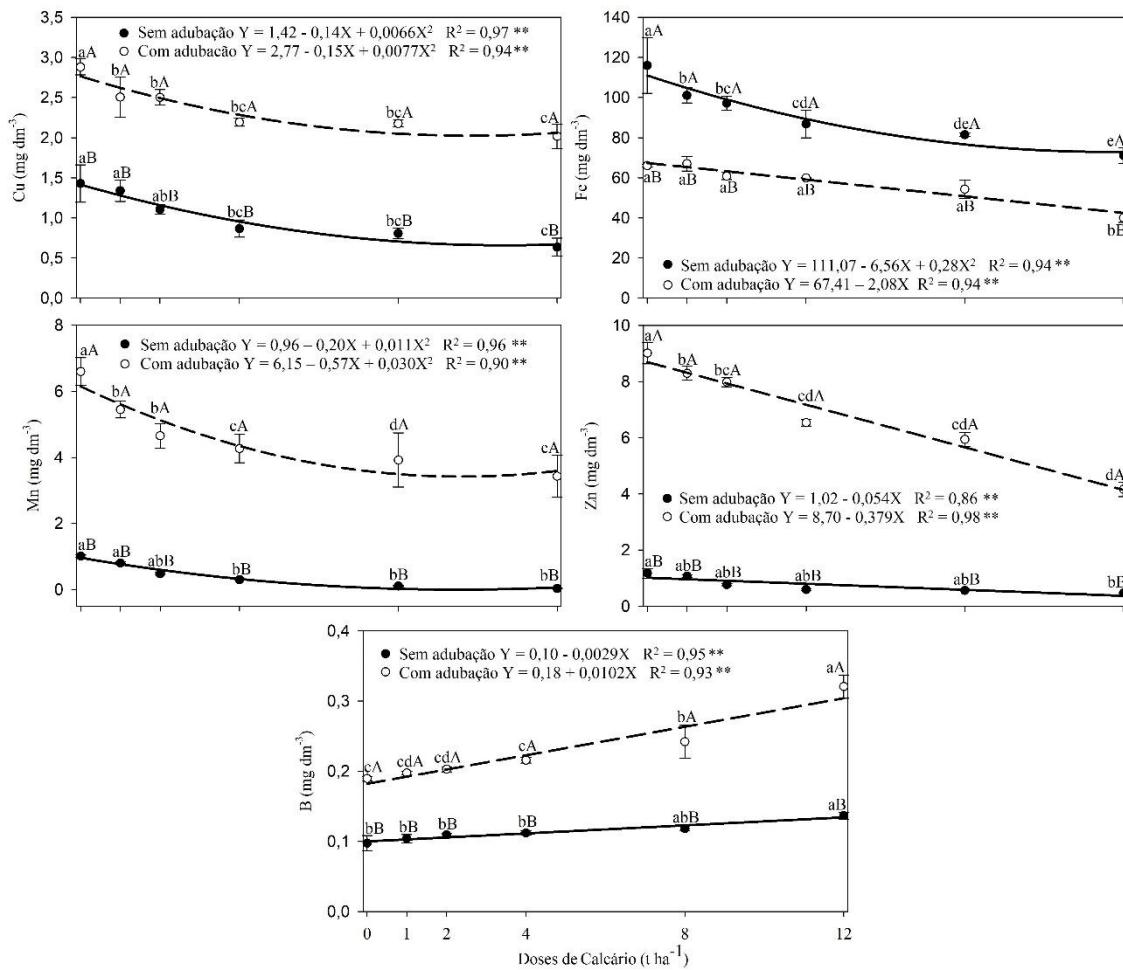


Figura 5. Efeito de doses de calcário e adubação química nos micronutrientes e fosforo do solo. Letras minúsculas iguais entre as doses de calagem e letras maiúsculas iguais entre a presença e ausência de adubação, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

1.4. DISCUSSÃO

1.4.1. Componentes de acidez do solo

A adição de calcário proporcionou melhoria nos componentes de acidez do solo, proporcionando aumento no pH em água e CaCl_2 e, redução na acidez potencial e alumínio trocável. Sendo observada aumento significativo de 68,15% no pH em água para o tratamento sem adubação e 37,34% para o tratamento com adubação, considerando a variação das doses de 0 a 12 t ha^{-1} (Figura 1.2). O aumento do pH e a redução dos níveis de Al^{3+} e acidez potencial, são associados à dissolução do carbonato ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$), que liberam cátions (Ca^{2+} e Mg^{2+}), hidroxilas (HO^-) e bicarbonato (HCO^{3-}) na solução do solo. Esses compostos reagem com os íons (H^+) da solução ou com aqueles adsorvidos no complexo de troca (Minato et al., 2023). O alto poder tampão do pH do solo é observada nos valores elevados de acidez potencial, incidindo em alta demanda de calcário, com doses de 8 t ha^{-1} de calcário para corrigir o pH e neutralizar o Al^{3+} .

A dose de 8 t ha^{-1} de calcário proporcionou redução dos íons H^+ e, um aumento no pH com valores 5,61 para o tratamento sem adubação, alterando as espécies químicas de alumínio e diminuindo o teor de Al^{3+} (Fontoura et al., 2019) que eram 3,09 para 0,1 cmol_c dm^{-3} .

Ao avaliarmos a presença e ausência de adubação, observamos que após a adubação o solo sofreu uma acidificação reduzindo em 20,56% o pH em água do solo para a dose de 12 t ha^{-1} (Figura 1.2). Essa acidificação é proporcionada pela adubação nitrogenada utilizando o fosfato monoamônico (MAP), que tem como fonte de N o NH_4^+ (Cecagno et al., 2019). Os sais de amônio acidificam fortemente os solos por meio do processo de nitrificação, onde o amônio (NH_4^+) reage com oxigênio (2O_2) formando nitrato (NO_3^-), água (H_2O) e hidrogênio (2H^+) acidificando o meio (Goulding, 2016). Essa acidificação pode ser mitigada através da adubação localizada e parcelada aplicando o adubo conforme a necessidade da cultura, não dando espaço para nitrificação e com isso a acidificação (Rosolem et al., 2003).

1.4.2. Disponibilidade de macronutrientes no solo

A calagem teve efeito direto na disponibilidade de Ca^{2+} e Mg^{2+} , entretanto teve efeito contrário na disponibilidade de P quando adubado, para o K^+ foi observado maior disponibilidade na dose de 4 t ha^{-1} . Os tratamentos com adubação foram superiores aos tratamentos sem (Figura 1.3). Esse ponto reforça que, em solos muito ácidos, não basta

apenas fertilizar é essencial corrigir o pH para que os nutrientes sejam mais disponibilizados (Fink et al., 2020), sendo a calagem o principal meio para corrigir a acidez do solo disponibilizando os nutrientes para as plantas (DAS et al., 2023).

A calagem em solos ácidos proporcionou um aumento na disponibilidade de K^+ para as plantas, devido à troca de K^+ dos coloides do solo para a solução do solo pelo Ca^+ e Mg^+ (DAS et al., 2023). Contudo, esse aumento foi observado até a dose de 4 t ha^{-1} de calcário, com doses elevadas de calcário dolomítico, há maior disponibilidade de Ca^{2+} e Mg^{2+} que irá competir com K^+ proporcionando redução na sua disponibilidade (Goulding, 2016).

A adubação com MAP proporcionou aumento significativo na disponibilidade de P no solo, contudo, a calagem proporcionou redução na disponibilidade desse nutriente (Figura 1.3). Em solos tropicais devido à baixa CTC e a proporção de cargas líquidas positivas podem influenciar na adsorção de fosfato diminuindo a biodisponibilidade do P do solo por mecanismos de atração (Crusciol et al., 2019). Mesmo aumentando a disponibilidade de OH^- na solução do solo através da calagem, o mesmo é rapidamente consumido pelos íons H^+ da acidez ativa e potencial, e com o aumento dos teores de Ca, Mg e K, há um aumento na quantidade de cargas positivas na solução do solo, proporcionando uma maior adsorção do fosfato ($H_2PO_4^-$).

1.4.3. Disponibilidade de micronutrientes no solo

A calagem tem impacto oposto na disponibilidade de micronutrientes no solo, observamos efeito inverso na disponibilidade de Cu, Mn, Zn e Fe, sendo a disponibilidade de Fe também reduzida pela adubação, contudo observou-se efeito direto na disponibilidade de B (Figura 1.4). Isso ocorre devido ao aumento do pH proporcionado pela calagem, que reduz a disponibilidade de íons catiônicos como Fe, Cu, Mn e Zn no solo (Bossolani et al., 2021).

Esse aumento no pH do solo induz a hidrólise do Cu hidratado, podendo levar a uma adsorção mais forte por argilominerais e matéria orgânica, diminui 100 vezes a cada aumento de unidade de pH. O Fe, Mn e Zn com aumento do pH torna-se menos solúvel, precipitando-se em formas insolúveis (Fe_2O_3 , MnO_2 , $Zn(OH)_2$, e $ZnCO_3$) (Fageria et al., 2002, Moreira et al., 2017).

O aumento na disponibilidade de B com as doses de calagem, pode ser devido ao aumento do pH do solo que acelerou a decomposição da matéria orgânica como

observado na Figura 1.5. Esse aumento no pH proporciona um aumento na desprotonação de substâncias orgânicas, enfraquecendo a ligação entre compostos orgânicos com as partículas do solo, tornando-as substâncias orgânicas disponíveis para consumo microbiano (Neina, 2019) aumentando a disponibilidade de B na solução do solo (Sarkar et al., 2018) e possivelmente reduzindo a disponibilidade de Fe, Mn e Zn através da formação de complexos (Moreira et al., 2017).

Em estudo avaliando a aplicação de calcário e micronutrientes Das et al. (2023), observaram que a aplicação de micronutrientes e calagem melhoraram as propriedades químicas do solo e a produtividades de culturas em sucessão em solos ácidos. Desta forma, a adubação com micronutrientes é fundamental para reduzir o efeito da calagem na disponibilidade de micronutrientes do solo. Além disso, Zhang et al., (2025), observaram que a longo tempo a aplicação de esterco de galinha, palha e calcário, melhoraram a biodisponibilidade de micronutrientes por meio da regulação do carbono orgânico e do pH do solo. Esses estudos evidenciam a importância da adubação orgânica e mineral como forma de regular os efeitos da calagem na disponibilidade de micronutrientes do solo.

1.4.4. Carbono orgânico, troca de cátions, saturação por bases e por alumínio

As doses de calcário influenciaram no teor de carbono orgânico do solo, com maiores teores na dose de 6 t ha⁻¹, além disso, observou-se redução nos teores após a adubação (Figura 1.5). Podemos relacionar esse maior aumento no teor de carbono no solo, a crescente deposição de Ca²⁺ ao solo, responsáveis pela agregação de partículas do solo, protegendo estágios menos decompostos da matéria orgânica (Paradelo et al., 2015). Contudo, esse aumento no teor de COS é limitado, e a adubação pode ser um substrato para o crescimento microbiano e a aceleração da decomposição da matéria orgânica (Inagaki et al., 2016, Gurmess, 2021) atingindo seu limite na dose de 6 t ha⁻¹.

A calagem proporcionou aumento na capacidade de trocar cátions do solo, contudo atingiu o limite com 6 t ha⁻¹ de calcário. Quando avaliarmos a adubação verificou-se uma maior CTC do solo chegando a valores maiores que 20 cmol_c dm⁻³. Esses valores elevados são resultados do aumento do pH e da liberação de Na, K, Ca e Mg proporcionado pela decomposição do calcário e pela da adubação, que contribuíram para elevar a saturação por base (valores próximos de 90%) e reduzir a saturação por alumínio (<1%) tratamentos com e sem adubação (Anikwe et al., 2016, Leite et al., 2018).

1.5. CONCLUSÕES

O calcário foi eficaz no aumento do pH a níveis adequados, reduzindo assim os teores de alumínio trocável e acidez potencial, aumentando a disponibilidade de Ca, Mg, K e B no solo, melhorando a capacidade de trocar cátions, saturação por bases e carbono orgânico do solo. Doses de calcário tiveram efeitos antagônicos na disponibilidade de P e micronutrientes.

A adubação foi fundamental para melhoria na disponibilidade de macro e micronutrientes, com exceção de ferro, em contrapartida, proporcionou acidificação do solo. Recomendando a aplicação de fontes de N na forma de amônio, parcelada e localizada, reduzindo assim a acidificação por nitrificação.

As doses de 4 a 8 t ha⁻¹ de calcário proporcionaram melhores condições químicas do solo estudado, contudo, devido à grande diversidade de solos na Amazônia são necessários estudo com outras classes de solos pensando em recomendações mais generalizadas.

1.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agegnehu, G., Amede, T., Desta, G., Erkossa, T., Legesse, G., Gashaw, T., ... & Schulz, S. Improving fertilizer response of crop yield through liming and targeting to landscape positions in tropical agricultural soils. **Heliyon**, v. 9, n. 6, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17421>
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. **Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO Irrigation and Drainage Paper, n. 56. Rome, 297 p. 1998.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M., Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Anikwe, M. A. N., Eze, J. C., & Ibudialo, A. N. Influence of lime and gypsum application on soil properties and yield of cassava (*Manihot esculenta* Crantz.) in a degraded Ultisol in Agbani, Enugu Southeastern Nigeria. **Soil and Tillage Research**, v. 158, p. 32-38, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2015.10.011>
- Augusti, M. L., Nascimento, C. R., Silva, I. K. A. C., Rocha, P. R. R., Molina, R. A. A., & Uchoa, S. C. P. Lime Requirement in Tropical Soils: A Study in the Brazilian Amazon Savannah. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 10, n. 4, p. 1-10, 2023. <https://doi.org/10.32404/rean.v10i4.7477>.
- Auler, A. C., Caires, E. F., Pires, L. F., Galetto, S. L., Romaniw, J., & Charnobay, A. C. Efeitos da calagem em um sistema de plantio direto em Inceptisols no sul do Brasil. **Geoderma Regional**, v. 16, e00206, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2019.e00206>.

- Baqy, M. A. A., Li, J. Y., Jiang, J., Mehmood, K., Shi, R. Y., And Xu, R. K. Critical pH and exchangeable Al of four acidic soils derived from different parent materials for maize crops. **Journal of soils and sediments**, v. 18, p. 1490-1499, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11368-017-1887-x>
- Benincasa, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 42 p.
- Bian, M., Zhou, M., Sun, D., And Li, C. Molecular approaches unravel the mechanism of acid soil tolerance in plants. **The Crop Journal**, v. 1, n. 2, p. 91-104, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2013.08.002>
- Bossolani, J. W., Criscioli, C. A. C., Portugal, J. R., Moretti, L. G., Garcia, A., Rodrigues, V. A., ... & dos Reis, A. R. Long-term liming improves soil fertility and soybean root growth, reflecting improvements in leaf gas exchange and grain yield. **European Journal of Agronomy**, v. 128, 126308, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126308>
- Cantarella, H., Quaggio, J. A., Mattos Junior, D., Boaretto, R. M., Raij, B. V. (Ed.). Boletim 100: **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 2022. ISBN 978-65-88414-09-5.
- Cecagno, D., de Andrade, S. E. V. G., Anghinoni, I., Brambilla, D. M., & Nabinger, C. Acidificação do solo sob fertilização nitrogenada de longo prazo em campo nativo com introdução de azevém. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 2, p. 263-267, 2019. <https://doi.org/10.5965/223811711812019263>
- Chaves Fs, Nogueira Ara, Souza Gb, Primavesi Ac. 2006. **Avaliação de procedimento de extração e determinação de boro em amostras de solo**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 5: 41
- Criscioli, C. A., Marques, R. R., Carmeis Filho, A. C., Soratto, R. P., Costa, C. H., Ferrari Neto, J., ... & Franzluebbers, A. J. Lime and gypsum combination improves crop and forage yields and estimated meat production and revenue in a variable charge tropical soil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 115, n. 3, p. 347-372, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10705-019-10017-0>
- Das, S., Das, A., Idapuganti, R. G., Layek, J., Thakuria, D., Sarkar, D., ... & Debbarma, K. Liming and micronutrient application improves soil properties and productivity of the groundnut-rapeseed cropping system in an acidic Inceptisol of India's eastern Himalayas. **Land Degradation & Development**, v. 34, n. 12, p. 3681-3699, 2023. <https://doi.org/10.1002/lde.4713>
- Dunn, L. E. Lime requirement determination of soils by means of titration curves. **Soil Science**. v. 56, n. 5, p. 341-351, 1943.
- Fageria, N. K., Baligar, V. C., & Clark, R. B. Micronutrients in crop production. **Advances in Agronomy**, v. 77, n. 1, p. 185-268, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(02\)77015-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(02)77015-6)
- Fink, J., Sánchez-Rodríguez, A. R., Souza, C. P., Pierozan Junior, C., Lagos, F. S., Frosi, G., ... & Schwengber, A. Adjusting P-K fertilization and liming strategies to enhance yield of cherry tomato plants grown on an Oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 51, n. 13, p. 1736-1746, 2020. <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1798992>
- Fontoura, S.M.V., de Castro Pias, O.H., Tiecher, T., Cherubin, M.R., de Moraes, R.P., Bayer, C. Effect of gypsum rates and lime with different reactivity on soil acidity and

crop grain yields in a subtropical Oxisol under no-tillage. **Soil Tillage Research**, v. 193, p. 27–41, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.05.005>.

Goulding, K. W. T. Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. **Soil use and management**, v. 32, n. 3, p. 390-399, 2016. <https://doi.org/10.1111/sum.12270>

Gurmessa, B. Soil acidity challenges and the significance of liming and organic amendments in tropical agricultural lands with reference to Ethiopia. **Environment, Development & Sustainability**, v. 23, n. 1, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00615-2>

Inagaki, T. M., de Moraes Sá, J. C., Caires, E. F., & Gonçalves, D. R. P. Lime and gypsum application increases biological activity, carbon pools, and agronomic productivity in highly weathered soil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 231, p. 156-165, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.034>

Leite, O., Melo, M. S., de Oliveira, L. N., da Costa Sobrinho, M. R., & Melo, B. S. Influência de dosagens de calcário em um latossolo vermelho-amarelo distrófico no sul do Tocantins, Brasil. **Encyclopédia Biosfera**, v. 15, n. 28, p. 640, 2018. http://dx.doi.org/10.18677/EnciBio_2018B55

Levene, H. Robust Tests for the equality of variance. In: Olkin, I.(Ed.) **Contributions to Probability and Statistics**, Palo Alto, California. Stanford University Press, p.278– 292, 1960.

Li, Y., Cui, S., Chang, S.X., Zhang, Q. Liming effects on soil pH and crop yield depend on lime material type, application method and rate, and crop species: a global meta-analysis. **Journal Soils Sediments**, v. 19, p. 1393–1406, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2120-2>.

Lima, A. F. L., Campos, M. C. C., Martins, T. S., Brito Filho, E. G. D., Cunha, J. M. D., Souza, F. G. D., And Santos, E. A. N. D. Soil attributes and root distribution in areas under forest conversion to cultivated environments in south Amazonas, Brazil. **Bragantia**, v. 80, e4121, 2021. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20210106>

Lu, X., Mao, Q., Gilliam, F. S., Luo, Y., & Mo, J. Nitrogen deposition contributes to soil acidification in tropical ecosystems. **Global change biology**, v. 20, n. 12, p. 3790-3801, 2014. <https://doi.org/10.1111/gcb.12665>

Malavolta, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

Mao, Q., Lu, X., Zhou, K., Chen, H., Zhu, X., Mori, T., & Mo, J. Effects of long-term nitrogen and phosphorus additions on soil acidification in an N-rich tropical forest. **Geoderma**, v. 285, p. 57-63, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.09.017>

Meng, C., Tian, D., Zeng, H., Li, Z., Yi, C., & Niu, S. Global soil acidification impacts on belowground processes. **Environmental Research Letters**, v. 14, n. 7, 074003, 2019. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab239c>.

Minato, E. A., Brignoli, F. M., Neto, M. E., Besen, M. R., Cassim, B. M. A. R., Lima, R. S., ... & Batista, M. A. Lime and gypsum application to low-acidity soils: Changes in soil chemical properties, residual lime content and crop agronomic performance. **Soil and Tillage Research**, v. 234, 105860, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105860>

Moreira, S. G., Prochnow, L. I., Pauletti, V., Silva, B. M., Kiehl, J. D. C., & Silva, C. G. M. Effect of liming on micronutrient availability to soybean grown in soil under different

lengths of time under no tillage. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 39, n. 1, p. 89-97, 2017. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v39i1.30691>

Neina, D. The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation. **Applied and Environmental Soil Sciences**, v. 2019, 5794869, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/5794869>

Ouimet, R., & Moore, J. D. Effects of fertilization and liming on tree growth, vitality and nutrient status in boreal balsam fir stands. **Forest Ecology and Management**, v. 345, p. 39-49, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.02.032>

Paradelo, R., Virto, I., & Chenu, C. Net effect of liming on soil organic carbon stocks: a review. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 202, p. 98-107, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.01.005>

Rosolem, C. A., Foloni, J. S. S., & Oliveira, R. H. D. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, com palha na superfície. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 301-309, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2003000200018>

Saha, S., Saha, B., Seth, T., Dasgupta, S., Ray, M., Pal, B., Pati, S., Mukhopadhyay, S.K., Hazra, G. Micronutrients availability in soil-plant system in response to longterm integrated nutrient management under rice-wheat cropping system. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 19, p. 712-724, 2019. <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00071-6>.

Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. A., Lumbreras, J. F., Coelho, M. R., Almeida, J. A., Araujo Filho, J. C., Oliveira, J. B., E Cunha, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5^a edição revista e ampliada. Brasília: Embrapa. 2018.

Sarkar, D., Baishya, L. K., Meitei, C. B., Naorem, G. C., Thokchom, R. C., Singh, J., Bhuvaneswari, S., Batabyal, K., Das, R., Padhan, D., Prakash, N., & Rahman, F. H. Can sustainability of maize mustard cropping system be achieved through balanced nutrient management? **Field Crops Research**, v. 225, p. 9-21, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.05.018>

Shapiro, S. S. & Wilk, M. B. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). **Biometrika**, v. 52, p. 591-609, 1965. <https://doi.org/10.2307/2333709>

Teixeira, P. C., Donagema, G. K., Fontana, A., & Teixeira, W. G. (Eds.). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 3^a ed. revista e ampliada. – Brasília, DF: Embrapa, 2017, 573 p.

Yeomans, J. C., Bremner, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, p. 1467-1476, 1988. doi: 10.1080/00103628809368027

Zenebon, O., Pascuet, N.S **Métodos Físico-Químicos Para Análise de Alimentos**. 2005, pág. 1018.

Zhang, Y., Yang, L., Yu, L., Zheng, X., Liu, Y., & Li, T. Impact of Ten-Year Straw and Lime Management History on Soil Micronutrient Availability and Tomato Yield in Greenhouse. **Horticulturae**, v. 11, n. 11, p. 1307, 2025. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11111307>

CÁPITULO II

LIMA, Alan Ferreira Leite. **Respostas de cultivares de tomate cereja a doses de calcário.** 2025. cap.2, 27p. Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM.*

RESUMO

A acidez do solo é um dos principais fatores que limitam o crescimento e a produtividade do tomateiro, especialmente em solos tropicais. A calagem atua na neutralização do alumínio tóxico, aumento do pH e melhoria da disponibilidade de nutrientes, podendo influenciar de forma distinta o desempenho de diferentes culturas e cultivares agrícolas. Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito do calcário nos parâmetros morfológicos, nutricionais e produtivos de cultivares de tomate cereja. O experimento foi conduzido em condições controladas e, os tratamentos foram constituídos por combinação fatorial de duas cultivares de tomateiro (Yubi e Cereja vermelho) com seis níveis de calcário (0,0; 1,0; 2,0; 4,0; 8,0; 12,0 t ha⁻¹). As parcelas foram distribuídas em um delineamento inteiramente casualizado, com seis repetições, totalizando 36 unidades experimentais para avaliação de crescimento e nutrição e 36 unidades para avaliação da produção e qualidade dos frutos. Doses menores que 2 t ha⁻¹, promoveram deficiências de nutrientes com sintomas de clorose seguida por necrose e morte das duas cultivares. A dose de calcário de 2 a 4 t ha⁻¹ proporcionou absorção mais equilibrada de nutrientes possibilitando em maior crescimento, produção e qualidades dos frutos, doses acima de 8 t ha⁻¹ proporcionou deficiência de micronutrientes. A cultivar Yubi demonstrou ser mais sensível a acidez e aos fatores ambientais não produzindo frutos comerciais, a cultivar Cereja que demonstrou superioridade em crescimento e produção.

Palavras-chave: Calagem, Nutrição mineral, Produção, Qualidade de Frutos, Morfologia

*Orientador: José Zilton Lopes Santos - UFAM.

LIMA, Alan Ferreira Leite. **Response of cherry tomato cultivars to doses of limestone.** 2025. cap.2, 27p. Thesis (Doctorate in Tropical Agronomy) - Amazonas Federal University, Manaus, AM.*

ABSTRACT

Soil acidity is one of the main factors limiting tomato growth and productivity, especially in tropical soils. Liming neutralizes toxic aluminum, increases pH, and improves nutrient availability, potentially influencing the performance of different crops and agricultural cultivars in distinct ways. This study aimed to evaluate the effect of lime calculation on the morphological, nutritional, and productive parameters of cherry tomato cultivars. The experiment was conducted under controlled conditions, and the treatments consisted of a factorial combination of two tomato cultivars (Yubi and Red Cherry) with six levels of lime (0.0; 1.0; 2.0; 4.0; 8.0; 12.0 t ha^{-1}). The plots were distributed in a highly randomized design with six replications, totaling 36 experimental units for growth and nutrition evaluation and 36 units for fruit production and quality evaluation. Doses lower than 2 t ha^{-1} promoted nutrient deficiencies with symptoms of chlorosis followed by necrosis and death in both cultivars. A lime dose of 2 to 4 t ha^{-1} provided more balanced nutrient absorption, enabling greater growth, production, and fruit quality, doses above 8 t ha^{-1} caused micronutrient deficiencies. The Yubi cultivar proved to be more sensitive to acidity and environmental factors, and did not produce marketable fruit; the Cereja cultivar demonstrated superior growth and production.

Key-words: Liming, Mineral nutrition, Production, Fruit quality, Morphology

*Adviser: José Zilton Lopes Santos - UFAM.

2.1. INTRODUÇÃO

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) é uma das hortaliças mais cultivadas no mundo e destaca-se pelo elevado valor econômico, relevância nutricional e grande versatilidade de consumo. Entre os diferentes grupos comerciais, o tomate do tipo cereja tem ganhado destaque por apresentar frutos de maior doçura, melhor equilíbrio ácido-acúcar e maior aceitação no mercado de produtos premium. Por outro lado, esse grupo caracteriza por exigência nutricional e sensibilidade às condições físico-químicas do solo (Ahmed et al., 2024). Em sistemas tropicais, essa sensibilidade é ainda mais crítica, pois grande parte dos solos cultivados, como os Latossolos, apresentam acidez elevada, alta saturação por alumínio (m%) e baixa disponibilidade de nutrientes essenciais as plantas (Quesada et al., 2011), resultando em restrições ao crescimento radicular, redução da absorção mineral e comprometimento da produtividade culturas agrícolas (Enesi et al., 2023).

Em relação a acidez elevada dos solos tropicais, a calagem é reconhecida como a prática mais eficiente para mitigar seus efeitos negativos (Bossolani et al., 2021). Além de elevar o pH e neutralizar a toxidez por alumínio ativo (Al^{3+}), a aplicação de calcário aumenta o fornecimento e a saturação dos elementos cálcio (Ca) e magnésio (Mg) e favorece a absorção de macro e micronutrientes essenciais ao desenvolvimento do tomateiro (Fageria e Nascente, 2014). Tais modificações promovem avanços substanciais no crescimento radicular, na eficiência do uso da água, na atividade fotossintética e, em especial, nos processos reprodutivos relacionados à frutificação, enchimento e qualidade dos frutos (Gaiser et al., 2004, Asmamaw et al., 2025).

Estudos recentes confirmam que ajustes adequados nas doses de calcário podem melhorar significativamente a fisiologia e a produtividade do tomate, embora as respostas variem de acordo com o genótipo avaliado (Fink et al., 2020, Sediqui et al., 2024).

Avanços importantes têm sido feitos na compreensão da relação entre calagem, nutrição e metabolismo vegetal. Fink et al. (2020) demonstraram que estratégias combinadas de calagem e adubação P-K em Latossolo favorecem o crescimento e aumentam o rendimento do tomate cereja. Em outra perspectiva, Sediqui et al. (2024) observaram que concentrações elevadas de calcário ($CaCO_3$) alteram respostas fisiológicas, incluindo acúmulo de biomassa, equilíbrio nutricional e atributos de qualidade, destacando limites superiores para o benefício da calagem. Além disso, estudos envolvendo regulação molecular da nutrição, como o de Gama et al. (2023) sobre

homeostase de ferro e os de Li et al. (2023) sobre deficiência de boro em tomate, reforçam que o pH do solo e a disponibilidade de Ca influenciam diretamente o funcionamento de sistemas transportadores e o balanço nutricional. Em escala de sistemas agrícolas, meta-análises indicam que a calagem aumenta produtividade e lucratividade em culturas sensíveis à acidez, mas apontam que respostas dependem das características genéticas das plantas e do manejo histórico do solo (Enesi et al., 2023, Zhang et al., 2025).

Apesar dos avanços, ainda são escassos estudos que avaliem comparativamente diferentes cultivares de tomate cereja sob doses crescentes de calcário, especialmente integrando múltiplos indicadores de desempenho fisiológico, nutricional e produtivo. A ausência de recomendações específicas por genótipo é uma lacuna relevante, considerando que características como absorção mineral, arquitetura radicular, eficiência fotossintética e qualidade de frutos são altamente dependentes da interação entre genótipo e ambiente (Ahmed et al., 2024, Sediqui et al., 2024). Assim, compreender a resposta de diferentes cultivares frente ao manejo da calagem é fundamental para aprimorar o manejo sustentável da fertilidade e otimizar a produtividade em sistemas intensivos de produção de tomate cereja.

Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da interação entre cultivares de tomate com doses calcário sobre os parâmetros nutricionais, fisiológicos, desenvolvimento e produção do tomateiro cereja.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1. Material vegetal e condições de crescimento

O presente projeto foi conduzido em um ambiente protegido localizado no Instituto de Educação Agricultura e Ambiente – IEAA/UFAM, no município de Humaitá, AM, sob as coordenadas geográficas 7°30'54.4"S 63°01'43.4"W e 90 metros de altitude. As plantas foram cultivadas em casa de vegetação com luz natural e condições ambientais semicontroladas, sendo utilizado filme plástico transparente de 150 micras para cobrir a casa e tela sombrite preta de 50% de retenção de luminosidade.

Os cultivares de tomateiro utilizados no experimento foram do tipo cereja, sendo duas cultivares distintas cultivar Yubi e cultivar Cereja Vermelho. A cultivar yubi geralmente apresenta porte mais compacto, sendo uma cultivar destinada a condições específicas como cultivo protegido. Os frutos são conhecidos por sua alta doçura (Brix elevado), textura firme e aparência brilhante (Batista et al., 2021). A cultivar cereja, tem

porte indeterminado (crescimento contínuo). Apresenta maior vigor vegetativo, resistência a estresses abióticos (seca, calor) e bióticos (pragas e doenças). Embora muitas cultivares também apresentem boa qualidade, há maior variação no teor de açúcar, firmeza e cor. Pode variar em ciclo, dependendo da cultivar, com opções de ciclo curto a longo (Malcher, 2021).

2.2.2. Caracterização da área de coleta do solo

O estudo foi realizado utilizando solo coletado na Fazenda Experimental Mangabeira do IEAA/UFAM, localizada na BR-230 (Transamazônica), no km 4, sentido Humaitá-AM à Lábrea-AM (Figura 1). Sob as coordenadas geográficas 7°31'39.9"S 63°03'15.5"W, a uma altitude média de 92 m.

Na área de coleta predominava um Latossolo Amarelo Distrófico de textura média (Santos et al., 2018) e, a coleta foi feita na camada superficial de 0-20 cm de profundidade, em um ambiente de terra firme, sob vegetação nativa (Cerradão). O solo coletado foi passado em peneira de 4 mm, adiante as amostras de solos foram secas a sombra. O solo de estudo possui uma capacidade de campo de 41% (410 mL de água para 1 dm⁻³ de solo).

O clima da região segundo a classificação de Köppen, pertence ao grupo A (Clima Tropical) e tipo climático Am (Chuva de monção). A pluviosidade anual varia de 2.200 a 2.500 mm. A temperatura ao longo do ano varia de 22 °C a 32 °C. A umidade relativa é bastante elevada, variando entre 85% e 90% na época chuvosa e entre 60 a 70% na época seca (Alvares et al., 2013). A temperatura ao longo do experimento variou de 24 a 32 °C e a umidade relativa do ar variou de 55 a 90% (Figura 1).

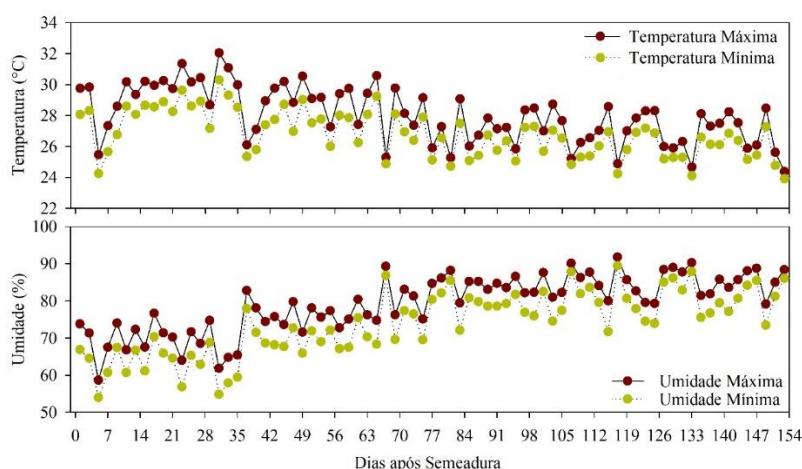


Figura 1. Temperatura e umidade do ar no município de Humaitá durante a realização do experimento no ano de 2024/2025.

2.2.3. Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram constituídos por combinação fatorial de duas cultivares de tomate cereja (Yubi e Cereja vermelho) com seis doses de calcário (0,0, 1,0, 2,0, 4,0, 8,0, 12,0 t ha⁻¹). Os vasos com plantas foram distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado, com seis repetições e uma planta por unidade experimental, totalizando 72 plantas, sendo 36 unidades experimentais para avaliação de crescimento e nutrição e 36 unidades para avaliação da produção e qualidade dos frutos

2.2.4. Incubação com calcário e adubação

As doses de calcário foram aplicadas em amostras de solo secas ao ar, homogeneizadas em bandejas plástica, essas foram acondicionadas em vasos plásticos de polietileno, sem poro de drenagem com 7 dm³, colocadas para incubação por aproximadamente 30 dias, conforme o método descrito por Dunn (1943). O solo foi incubado por 30 dias com diferentes doses da mistura de CaCO₃ + MgCO₃ (0,0, 1,0, 2,0, 4,0, 8,0, 12,0 t ha⁻¹ ou 0,0, 0,5, 1,0, 2,0, 4,0, 6,0 g dm⁻³), mantendo a relação estequiométrica Ca:Mg de 4:1. A umidade do solo foi ajustada para cerca de 60% da capacidade de campo utilizando água deionizada, os vasos foram tampados para manter a umidade (Allen et al., 1998). Após os 30 dias os vasos foram destampados e deixado para secar por 7 dias, para posteriormente serem feitas a adubação.

Para adubação de base foram utilizadas as recomendações propostas por Cantarella et al. (2022), para cultura de tomate de mesa, fundamentada nas recomendações de Malavolta (1980) para cultivo de plantas em ambiente protegido. As doses dos nutrientes e as fontes utilizadas estão apresentadas na Tabela 1. Após a adubação a umidade do solo foi ajustada para cerca de 60% da capacidade de campo (Allen et al., 1998) utilizando água deionizada, os vasos foram tampados e incubados por 30 dias.

Tabela 1. Fontes e doses de nutrientes utilizados no experimento.

Nutrientes	Base		Produção		Adubação		Base		Produção	
	Nutriente				Fontes		Fonte			
	mg dm ⁻³	mg planta ⁻¹					mg dm ⁻³	mg planta ⁻¹		
N	217,35	1,60			MAP (Fosfato Monoamônico)		-		-	
K	196,72	2,66			K ₂ SO ₄ (Sulfato de potássio)		438,38		1,96	
P	490,93	1,00			MAP (Fosfato Monoamônico)		1811,25		3,70	
S	81,82	0,30			-		-		-	
B	5,00	0,0060			H ₃ BO ₃ (Ácido Bórico)		28,59		0,0343	

Zn	10,00	0,0020	ZnSO ₄ .7H ₂ O (Sulfato de zinco)	43,96	0,0088
Cu	5,00	0,0010	CuSO ₄ .5H ₂ O (Sulfato de cobre)	19,64	0,0039
Mn	6,25	0,0060	MnSO ₄ .H ₂ O (Sulfato de manganês)	19,23	0,0185
Mo	0,15	0,0005	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ . 4H ₂ O (Molibdato de amônio)	0,28	0,0009
Adubação de Cobertura (16 dias após o transplantio)				-	-
N	25	-	Ureia	55,55	2,57
K	25	-	KCl (Cloreto de Potássio)	47,67	-

Após a incubação do solo com as doses de fertilizantes, realizou-se a coleta de amostras de aproximadamente 50 g de solo em cada vaso. Foram utilizados trado tipo sonda para fazer três coletas em pontos equidistantes dentro do vaso, constituindo uma amostra composta por unidade experimental. As amostras de solo foram secas a sombra, destorreadas e passadas em peneiras de 2 mm de abertura para obtenção terra fina seca ao ar (TFSA) e submetidas as análises químicas (Teixeira et al., 2017).

Tabela 2. Caracterização química do solo após a adubação, em função de diferentes doses de calcário.

Doses t ha ⁻¹	pH CaCl ₂	pH H ₂ O	Al ³⁺	H+Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	T
	cmol _c dm ⁻³								
0	3,29	3,91	2,36	6,79	0,92	0,29	0,46	0,21	8,67
1	3,50	4,12	1,76	5,97	2,45	0,36	0,47	0,23	9,48
2	3,65	4,20	1,33	5,55	3,35	1,04	0,49	0,23	10,66
4	3,74	4,24	0,96	5,39	5,38	1,27	0,49	0,23	12,76
8	4,12	4,30	0,20	4,31	11,35	3,20	0,47	0,22	19,56
12	5,02	5,37	0,10	2,54	12,55	4,23	0,47	0,23	20,02
Doses t ha ⁻¹	V -----	m % -----	P	Cu	Zn	Fe	Mn	B	COS g kg ⁻¹
				-----	mg dm ⁻³	-----			
0	21,61	55,74	125,48	2,88	9,02	66,07	4,27	0,19	12,63
1	37,03	33,37	125,63	2,51	8,30	67,03	6,60	0,20	13,54
2	47,94	20,65	126,43	2,50	7,99	60,90	5,45	0,20	12,97
4	57,77	11,55	113,19	2,19	6,54	59,97	4,66	0,22	13,46
8	77,94	1,29	102,30	2,18	5,94	54,37	3,92	0,24	13,34
12	87,32	0,57	99,43	2,02	4,17	40,10	3,43	0,32	12,76

H+Al: acidez potencial, t: capacidade de trocar cátions efetiva, T: capacidade de trocar cátions potencial, V: saturação por bases, m: saturação por alumínio: COS: carbono orgânico do solo.

2.2.5. Condução do experimento

Produção de mudas: As mudas foram produzidas na casa de vegetação, sendo a semeadura realizada 22/08/2024 em bandeja de plástico com 162 células, cada uma com capacidade de 0,03dm³, tendo como substrato Turfa Pindstrup com Granulometria de 0,0 a 5,0 mm, condutividade elétrica de 0,3 mS/cm, densidade 105,0 kg/m³, pH 5,5 a 5,9. As

sementes foram regadas diariamente, no período da manhã e da tarde com solução nutritiva. A germinação das sementes ocorreu 4 dias após a semeadura.

Transplantio e organização dos vasos: As plântulas foram transplantadas em 12/09/2024 para vasos de polietileno com capacidade para 11 kg e volume estimado de 7,0 dm⁻³ de solo. Os vasos foram organizados sobre as bancadas obedecendo um espaçamento de 50 x 50 cm entre fileira e entre plantas, respectivamente, a cada 15 dias foram redistribuídos nas bancadas com intuito de reduzir o efeito do ambiente sobre as plantas. Após o transplantio foram selecionadas 5 plântulas de cada cultivar, para serem mensuradas a biomassa total e, calculadas a taxa de crescimento absoluto.

Irrigação das plantas: Os vasos foram irrigados diariamente com água deionizada, sendo a umidade do solo mantida a 60% da capacidade de campo (Allen et al., 1998), para monitorar a umidade do solo foram realizadas pesagens diárias dos vasos, sendo o consumo de água registrado. Na fase de condução do estudo, foram realizadas observações visuais quais??dos aspectos relacionados ao solo e a planta visando um melhor manejo da irrigação.

Controle de pragas e doenças: Durante o período experimental, foram necessárias medidas de controle para a praga mosca-branca (*Bemisia tabaci*). Utilizou-se o inseticida-acaricida Dicarzol 500 (dose de 1 g L⁻¹ de calda), com ação de contato e ingestão. Além disso, foi empregado um fungicida de forma preventiva, utilizando-se o fungicida sistêmico CabrioTOP (dose de 2 g L⁻¹ de calda).

Tutoramento e condução das plantas: O cultivo foi conduzido com tutoramento utilizando arame liso para sustentar os filhais que foram amarrados no caule das plantas. As plantas manejadas até a produção foram podadas deixando apenas duas hastes produtivas, as folhas mais velhas foram retiradas conforme o desenvolvimento de folhas mais novas.

2.2.6. Variáveis estudadas

Após 38 dias de exposição das plantas aos tratamentos, quando as plantas iniciaram a fase reprodutiva, foram selecionadas 36 plantas, três plantas de cada tratamento, para serem avaliadas quanto aos pigmentos, morfológicos, biomassa, crescimento e parâmetros nutricionais. As 36 plantas restantes foram manejadas para obtenção das variáveis de produção e qualidade dos frutos.

Pigmentos: Índice de clorofila relativo A e B foi medido no ponto médio do terceiro par de folhas, no espaço entre as principais nervuras, as medições foram feitas entre 10:00 e 14:00 hs, em três repetições nas folhas localizada na parte média das plantas, utilizando um medidor de clorofila portátil (Modelo CFL2060 da Falker).

Morfologia: Os sintomas do estado nutricional da parte aérea das plantas foram descritos e fotografados durante a condução do experimento, enquanto que, a avaliação do sistema radicular foi feita no momento de compartimentalização para as análises destrutivas.

Biomassa: Após a retirada das plantas do vaso, estas foram compartimentalizadas em parte aérea (folha + caule) e raízes. Em seguida foram lavadas em água deionizada e secas em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de 65°C até atingirem massa constante. Após a secagem foram determinadas a massa seca das folhas (MSF), massa seca das raízes (MSR), massa seca do caule (MSC) e massa seca total MST (MST = MSF + MSR + MSC), utilizando-se balança com precisão de 0,001 g.

Crescimento: Avaliações de área foliar (AF) foram determinadas no software ImageJ, onde foram fotografadas as folhas em papel branco com escala conhecida e posteriormente foram quantificadas no software. Com os dados de massa seca total coletados no transplantio e após os 38 dias, foi calculada a taxa de crescimento absoluto (TCA g dia^{-1}), sendo: $\text{TCA} = (\text{W2} - \text{W1})/\text{t2} - \text{t1}$, W2 = massa final (g), W1 = massa inicial (g), t2 = tempo final (dias), t1 = tempo inicial (dias) (Benincasa, 2003).

Eficiência no uso da água: Todos os dias foram medida a quantidade de água consumida pela planta (evaporação e transpiração), posteriormente com os dados de consumo de água e massa seca total foram calculados a eficiência no uso da água (EUA) para cada tratamento.

Nutrição mineral de plantas: Quanto as variáveis nutricionais, foram avaliados os teores de macro e micronutrientes nas plantas. A caracterização química do estado nutricional das plantas foi feita por meio de moagem da massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) em moinho tipo Willey, sendo as análises da MSR feitas apenas para fins de caracterização. Adiante as amostras foram digeridas em bloco digestor utilizando ácido sulfúrico e peróxido de hidrogênio, e incineração a 550°C no forno mufla para extração do B. As leituras de Ca, Mg, Fe, Mn, Zn e Cu foram feitas por espectrometria de absorção atômica, as leituras de K e Na foram feitas por espectrofotometria de chama, P e B determinados por espectrofotômetro-UV-vis, e o N utilizando o método semi-micro Kjeldahl seguido por titulometria (Malavolta, 1997).

Produção de frutos: Para as variáveis de produção foram avaliados o número de frutos por planta (NFP) e peso médio de frutos (PMF).

Qualidade dos frutos: a firmeza, medida em penetrômetro de bancada (Marca: Marcone, modelo: MA 933), pH foi determinado em pHmetro digital de bancada (Marca: Quimis, Modelo: Q400AS), na relação de 1:10 sendo 10 g da polpa macerada para 100 mL de água destilada, o teor de sólidos solúveis totais (SST) foi determinado utilizando-se o refratômetro portátil (Modelo: HT111, Marca: e-Labshop), sendo os resultados expressos em °Brix, A acidez total titulável (ATT) foi determinada por titulometria com NaOH a 0,1mol L⁻¹ e os resultados foram expressos em porcentagem de ácido cítrico, A relação SST/ATT foi obtida pela razão entre os teores de sólidos solúveis e de acidez total titulável. Essas análises foram feitas de amostras compostas maceradas, de acordo com a metodologia descrita por Zenebon e Pascuet (2005).

2.2.7. Análise dos dados

Os resultados obtidos foram previamente submetidos à teste de detecção para retirada de *outliers* e, em seguida aos testes de normalidade (Shapiro e Wilk, 1965) e homogeneidade de variâncias (Levene, 1960).

Atendendo aos pressupostos, os dados foram submetidos à análise de variância e, quando o *F* for significativo ($P<0,05$), as médias das variáveis dependentes: nutricionais da parte aerea, pigmentos, crescimento, produção e qualidade dos frutos, foram testadas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey e, ajustadas a modelos matemáticos de regressão polinomial de primeiro e segundo grau. Os critérios para escolha dos modelos de regressão, foram a significância do modelo, maior coeficiente de determinação. Para as variáveis de produção e qualidade dos frutos foram confeccionados os gráfico de bloxplot.

2.3. RESULTADOS

2.3.1. Efeito da calagem na nutrição

Na Tabela 3 são apresentados, com intuito de caracterizar, os teores de macro e micronutrientes presentes nas raízes de cultivares de tomates cereja. Observou-se efeito direto na absorção de Ca e Mg, e efeito inverso para o Fe com as doses de calcário, nas duas cultivares de tomates avaliadas. As maiores absorções de macronutrientes N, P e K, e micronutrientes Cu, Zn, Mn e B nas doses centrais de 2 a 4 t ha⁻¹ nas duas cultivares

avaliadas, com exceção do K para cultivar Yubi onde observou-se maior absorção na dose 12 t ha⁻¹. As doses elevadas impactaram de forma negativa na absorção desses nutrientes. Dentre as cultivares avaliadas a cultivar Cereja teve maior capacidade de absorção de Mg, Zn, Fe e Mn, e a cultivar Yubi N, P, K, Ca, Cu e B pela raiz.

Tabela 3. Caracterização dos teores de macro e micronutrientes presentes em raízes de diferentes cultivares de tomate cereja submetidos a doses de calagem.

Dose de Calcário (t ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	B
----- g kg ⁻¹ ----- ----- mg kg ⁻¹ -----										
Cultivar Cereja										
0	22,70	3,73	15,96	15,17	1,15	44,00	20,58	2094,00	231,20	79,24
1	24,24	4,32	27,70	15,46	1,43	43,80	46,00	1916,20	271,20	99,52
2	24,06	5,45	26,29	15,70	1,84	44,80	136,00	1829,00	282,20	105,62
4	23,36	5,31	33,80	16,34	2,34	75,20	566,00	1793,00	502,20	111,54
8	23,10	4,88	31,92	18,27	2,64	45,80	207,20	933,40	419,60	95,57
12	21,96	4,82	27,70	18,64	4,44	38,20	89,00	914,20	304,00	58,78
Cultivar Yubi										
0	24,85	3,81	19,25	15,00	0,96	63,40	25,40	1644,20	254,00	60,75
1	26,34	4,95	30,05	15,34	1,07	70,20	30,16	1502,00	332,00	79,77
2	27,04	5,55	32,86	15,75	1,23	78,20	405,60	1393,00	404,00	127,87
4	24,33	5,27	21,60	16,14	1,77	80,00	313,20	998,80	379,20	105,80
8	23,98	5,15	36,15	17,85	2,79	67,40	171,80	959,00	382,00	105,98
12	22,05	4,68	35,68	18,70	3,75	64,20	160,00	936,00	259,40	90,90

Observa-se diferença significativa (P<0,05) entre as cultivares e entre as doses para todos os teores de macronutrientes presentes nas folhas. Os teores de N, Ca e Mg tiveram interação significativa (Figura 2). A cultivar Yubi demonstrou ser mais exigente em N, P e K em relação a cultivar cereja, não havendo diferença nítida para Ca e Mg. Verificou comportamento linear decrescente entre as doses de calcário com os teores de N para as duas cultivares, observando maiores teores na cultivar Yubi até a dose de 8 t ha⁻¹. Observou-se que, para cada tonelada de calcário aplicada há uma redução nos teores da parte aérea de 0,25 (Cereja) e 0,77 (Yubi) g kg⁻¹ de N. Para o P observou-se comportamento quadrático com maiores teores nas doses de 1 a 4 t ha⁻¹. Em relação ao K observou-se comportamentos diferentes entre as duas cultivares, sendo linear decrescente para cultivar cereja e quadrática para cultivar Yubi, com maiores teores nas entre as doses de 2 a 1 a 4 t ha⁻¹. Ca e Mg apresentaram comportamento quadrático, não sendo observado o ponto máximo, evidenciando que, as cultivares podem responder a doses maiores que 12 t ha⁻¹.

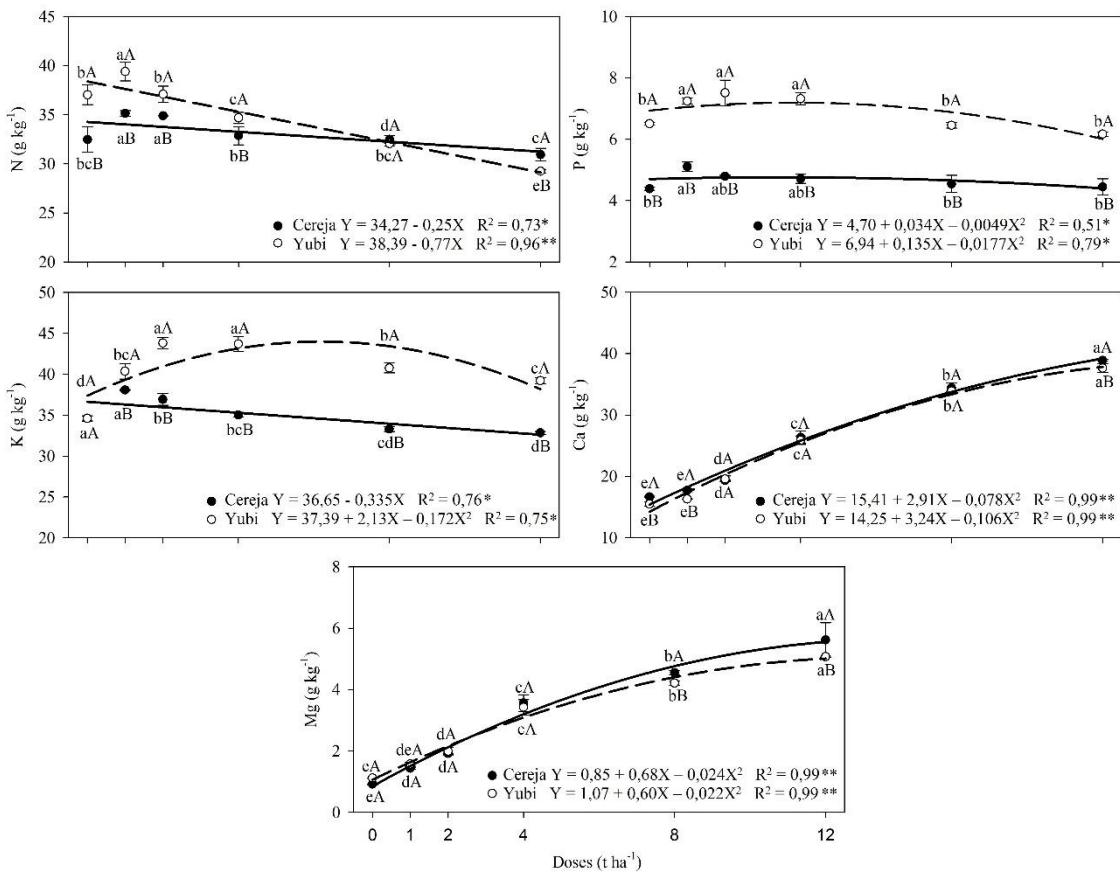


Figura 2. Análise de regressão dos teores de macronutrientes na parte aérea de diferentes cultivares de tomate cereja submetidos a doses de calagem. Letras minúsculas iguais entre as doses de calagem e letras maiúsculas iguais entre as cultivares, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Observou-se efeito significativo das doses nos teores de todos os micronutrientes estudados e entre as cultivares, sendo encontrado interação significativa para Fe e B (Figura 3). O Cu apresentou efeito linear decrescente para a cultivar cereja e efeito quadrático para cultivar Yubi, sendo observado maior teor na dose de 2 t ha⁻¹. Para o Zn observou-se efeito linear decrescente nas duas cultivares com redução de 66% nos teores, sendo a cultivar cereja mais exigente. O Fe apresentou diferença entre as cultivares apenas na dose 0 t ha⁻¹, com maior teor na cultivar Yubi, invertendo essa relação a partir da dose de 1 t ha⁻¹, para as duas cultivares observou-se comportamento logarítmico em relação as doses de calcário. O Mn apresentou comportamento quadrático, com aumento até a dose de 4 t ha⁻¹ e redução após essa dose, entre as cultivares a cultivar cereja apresentou maiores teores. Para o B observou-se decaimento exponencial acentuado com aumento das doses de calagem, com efeitos negativos a partir da dose de 4 t ha⁻¹, evidenciando pouca variação entre as cultivares a partir da dose de 2 t ha⁻¹. A cultivar cereja foi superior

na dose de 0 t ha⁻¹, a partir da dose de 1 t ha⁻¹ a cultivar yubi foi superior até a dose de 8 t ha⁻¹.

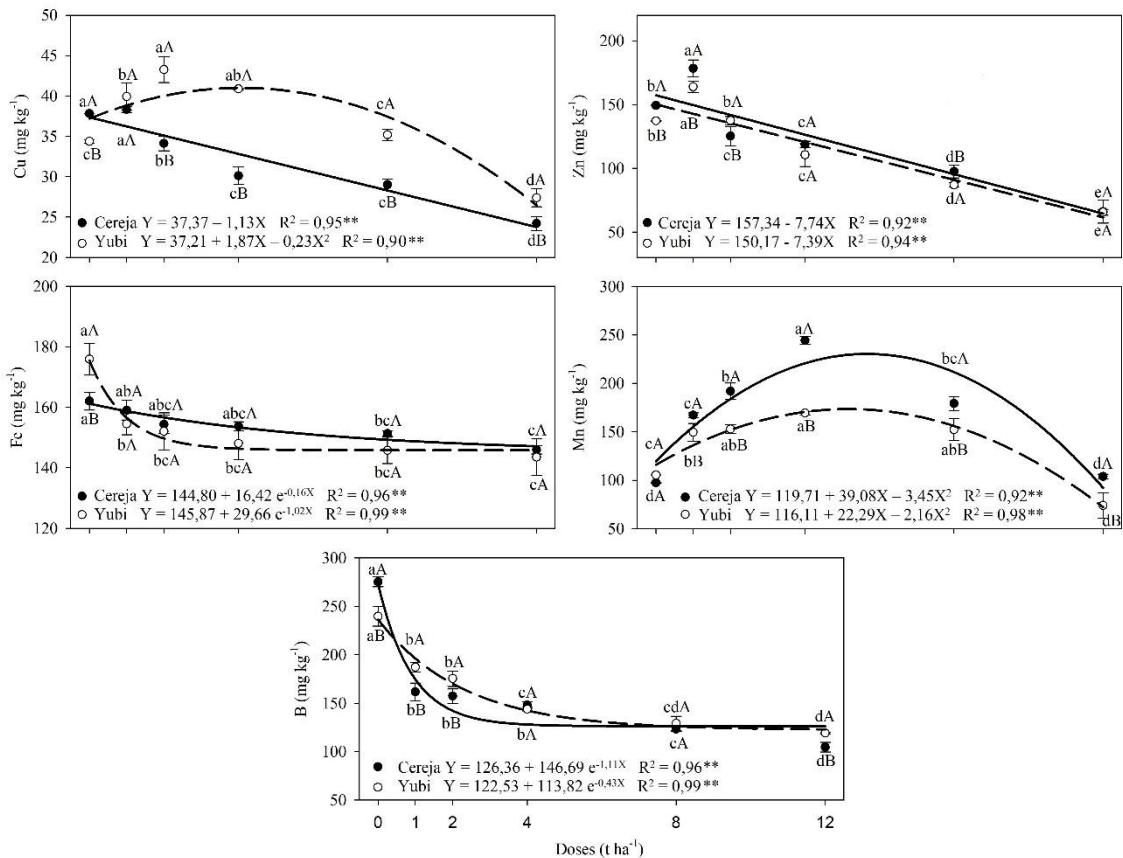


Figura 3. Análise de regressão dos teores de micronutrientes na parte aérea de diferentes cultivares de tomate cereja submetidos a doses de calagem. Letras minúsculas iguais entre as doses de calagem e letras maiúsculas iguais entre as cultivares, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

2.3.2. Efeito da calagem nos pigmentos e crescimento

Observou-se efeito significativo das doses e cultivares nos teores foliares de clorofila A e clorofila B em função das doses de calagem para duas cultivares de tomate cereja. Ambas as cultivares apresentaram aumento nos teores de clorofila com a calagem, ajustando-se a um modelo exponencial, com saturação até a dose 4 t ha⁻¹, estabilizando nas doses superiores. Quando avaliamos as cultivares, observou que, a cultivar Yubi apresentou teores de clorofila A superiores em todas as doses, sugerindo maior eficiência fotossintética. Para clorofila B, a cultivar Cereja exibiu teores mais elevados, especialmente (Figura 4).

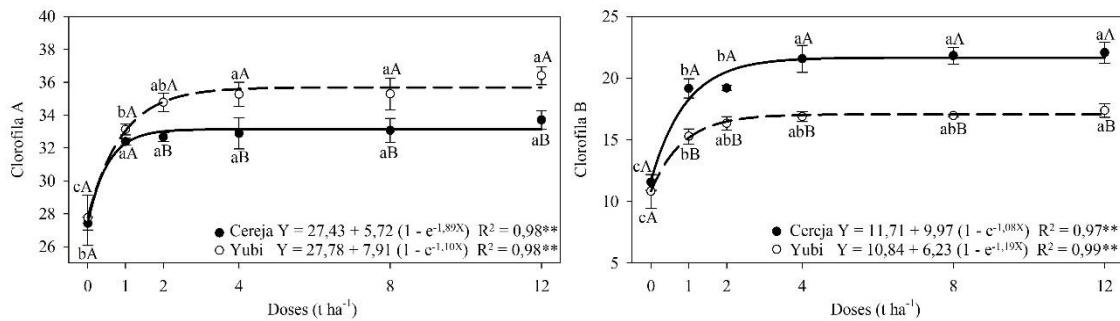


Figura 4. Análise de regressão dos índices de clorofila A e B nas folhas de diferentes cultivares de tomate cereja submetidos a doses de calagem. Letras minúsculas iguais entre as doses de calagem e letras maiúsculas iguais entre as cultivares, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Os gráficos indicam que a massa seca de raízes (MSR), caule (MSC), folha (MSF) e total (MST) apresentaram resposta positiva às doses de calagem, com ajuste exponencial e altos coeficientes de determinação ($R^2 \geq 0,97$), evidenciando consistência do modelo (Figura 5). Observa-se um rápido incremento na produção de biomassa até a dose de 4 t ha⁻¹ de calcário, seguido por estabilização a partir da dose de 8 t ha⁻¹. A cultivar Cereja apresentou valores superiores de biomassa em todas as frações (MSR, MSC, MSF e MST), já a cultivar Yubi exibiu crescimento semelhante, mas com leve limitação em doses menores, o que pode refletir menor capacidade de adaptação a solos inicialmente ácidos.

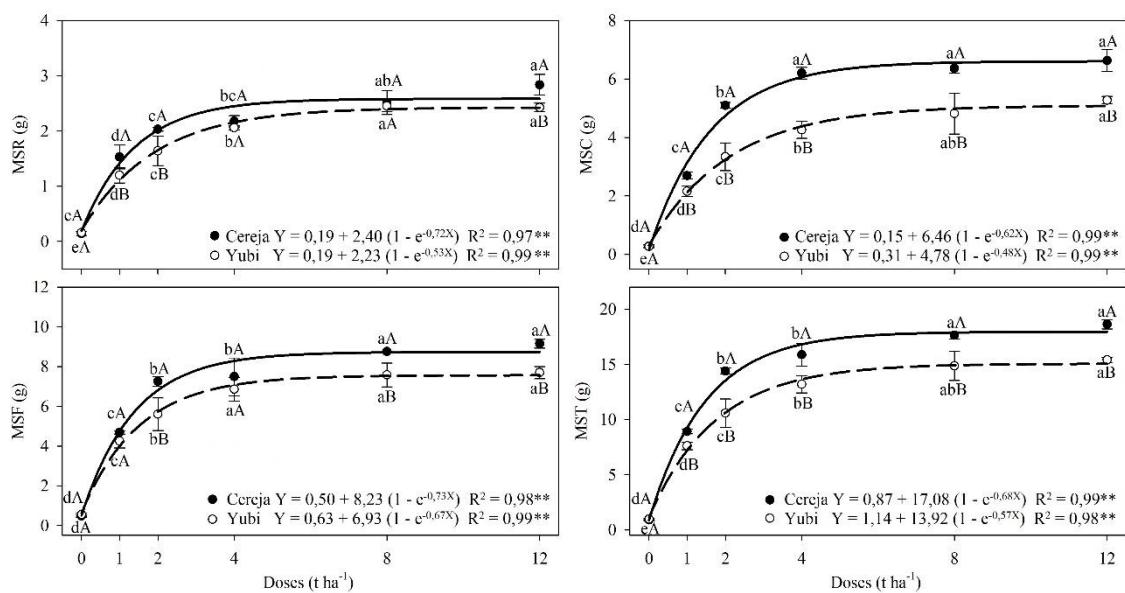


Figura 5. Análise de regressão da biomassa de diferentes cultivares de tomate cereja submetidos a doses de calagem. Letras minúsculas iguais entre as doses de calagem e letras maiúsculas iguais entre as cultivares, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Os resultados evidenciam que a área foliar, a eficiência no uso da água e a taxa de crescimento absoluto responderam positivamente às doses de calagem, ajustando-se ao modelo exponencial com elevado incremento até a dose de 4 t ha⁻¹ (Figura 6). A AF aumentou expressivamente até cerca de 4 t ha⁻¹ de calcário, atingindo valores máximos em torno de 1800 cm² para a cultivar Cereja e ligeiramente menores para Yubi. A EUA e a TCA apresentaram tendência semelhante, com rápido incremento até as doses intermediárias (4 t ha⁻¹) e estabilização posterior, sendo evidenciado maiores eficiência para cultivar cereja.

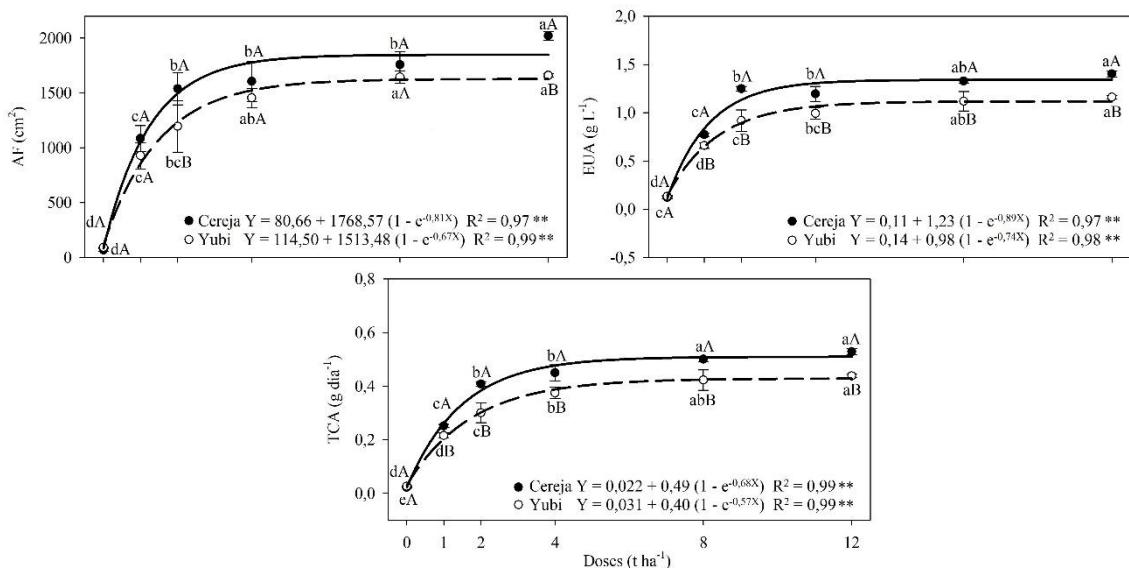


Figura 6. Análise de regressão da área foliar, eficiência no uso da água e da taxa de crescimento absoluto, de diferentes cultivares de tomate cereja submetidos a doses de calagem. Letras minúsculas iguais entre as doses de calagem e letras maiúsculas iguais entre as cultivares, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

2.3.3. Efeito da calagem na morfologia

A morfologia radicular das cultivares de tomate foi fortemente influenciada pelo aumento das doses de calagem. De modo geral, observou-se uma evolução de um padrão radicular restrito e atrofiado (em baixa calagem) para um sistema radicular vigoroso, ramificado e profundo (em doses intermediárias e altas) (Figura 7).

Nas doses baixas (0 e 1 t ha⁻¹), observou-se raízes atrofiadas e pouco funcionais com crescimento extremamente limitado, com baixa densidade de raízes finas e presença predominante de raízes primárias curtas e grossas, com coloração amarelada a acastanhada, indicativa de oxidação e morte apical. As raízes exibiram reduzido volume, com pouca ramificação lateral, especialmente em Yubi, que demonstrou maior sensibilidade à acidez.

Nas doses intermediárias (2 e 4 t ha⁻¹), verificou-se que o sistema radicular ficou mais vigoroso e funcional. O aumento da dose de calcário para 2 t ha⁻¹ promoveu expressiva recuperação do crescimento radicular, com aumento da espessura e comprimento da raiz principal e formação abundante de raízes secundárias e terciárias. Em 4 t ha⁻¹, o sistema radicular atingiu máximo vigor morfológico, com alta densidade de raízes finas (absorventes), distribuição uniforme no volume de solo e coloração branca e saudável, indicando alta atividade metabólica e funcionalidade.

Nas doses mais altas (8 e 12 t ha⁻¹), o crescimento radicular manteve-se vigoroso, porém com tendência à estabilização ou leve redução na densidade de raízes finas, sugerindo saturação fisiológica da resposta à calagem.

A cultivar Cereja apresentou raízes mais longas e profundas, caracterizando um padrão de exploração vertical do solo, enquanto Yubi mostrou maior densidade de raízes laterais, configurando um padrão mais superficial e ramificado.

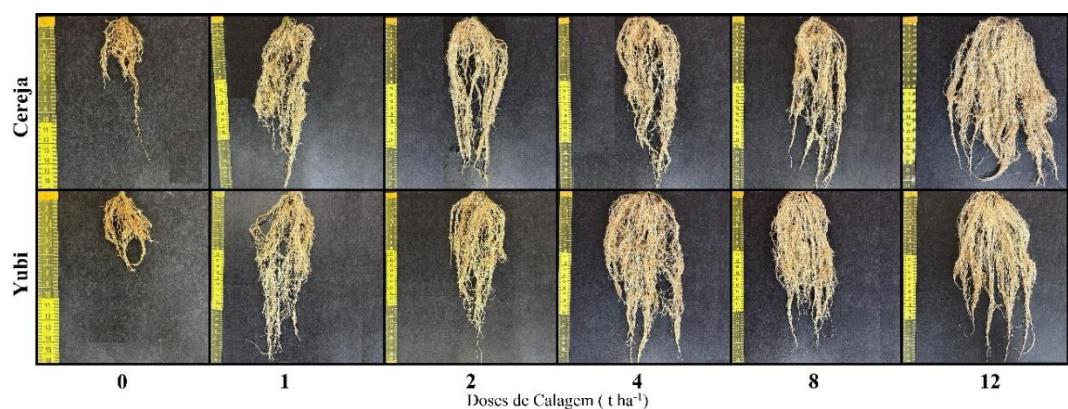


Figura 7. Morfologia radicular de cultivares de plantas de tomate cereja submetidas a diferentes doses de calcário.

As observações morfológicas das plantas evidenciaram respostas gradativa e positiva à calagem para ambas as cultivares (Cereja e Yubi), com expressivas diferenças em altura, arquitetura, vigor e coloração foliar ao longo do gradiente de doses (Figura 8).

Nas doses mais baixas (0 e 1 t ha⁻¹), as duas cultivares apresentam crescimento extremamente limitado, reduzido número de folhas e ramos laterais, e porte compacto, com sintomas visuais típicos de estresse por acidez e deficiência nutricional. As plantas exibem folhas pequenas, cloróticas e enroladas, com necroses marginais e amarelecimento generalizado, indicando deficiência de cálcio, magnésio e fósforo, além de provável toxicidade por alumínio. A cultivar Cereja mostrou leve vantagem morfológica, apresentando maior alongamento do caule principal e disposição mais ereta

das folhas, sugerindo maior tolerância à acidez. Já Yubi apresentou folhagem mais enrugada, internódios curtos e redução drástica da área foliar.

As doses intermediárias (2 e 4 t ha⁻¹) verificou-se na dose de 2 t ha⁻¹ a recuperação morfológica, com crescimento vigoroso da parte aérea, alongamento do caule, expansão da copa e aumento da área foliar. As plantas exibem coloração verde intensa, folhas amplas e bem distribuídas, e ramificação equilibrada. A arquitetura torna-se mais aberta e simétrica, com aumento da altura e do volume vegetativo. Na dose de 4 t ha⁻¹, ambas as cultivares atingiram o ponto de máxima expressão vegetativa: caules espessos, internódios alongados, folhas densas e torgo elevado e presença de inflorescências bem formadas. A cultivar Cereja mantém porte mais ereto e internódios ligeiramente mais longos, enquanto Yubi apresenta maior densidade de folhas e início de floração mais precoce.

Para as doses elevadas (8 e 12 t ha⁻¹), observa-se manutenção do vigor vegetativo e morfologia típica de plantas saudáveis. As folhas apresentam coloração verde uniforme, textura firme e disposição simétrica, o caule mostra bom diâmetro e sustentação, e a copa mantém arquitetura equilibrada. Contudo, nota-se que o incremento em altura e volume vegetativo tende à estabilização, sugerindo saturação da resposta à calagem. A cultivar Cereja mantém porte mais vertical e folhas ligeiramente maiores, enquanto Yubi apresenta maior número de ramos laterais e maior densidade de folhas e flores.

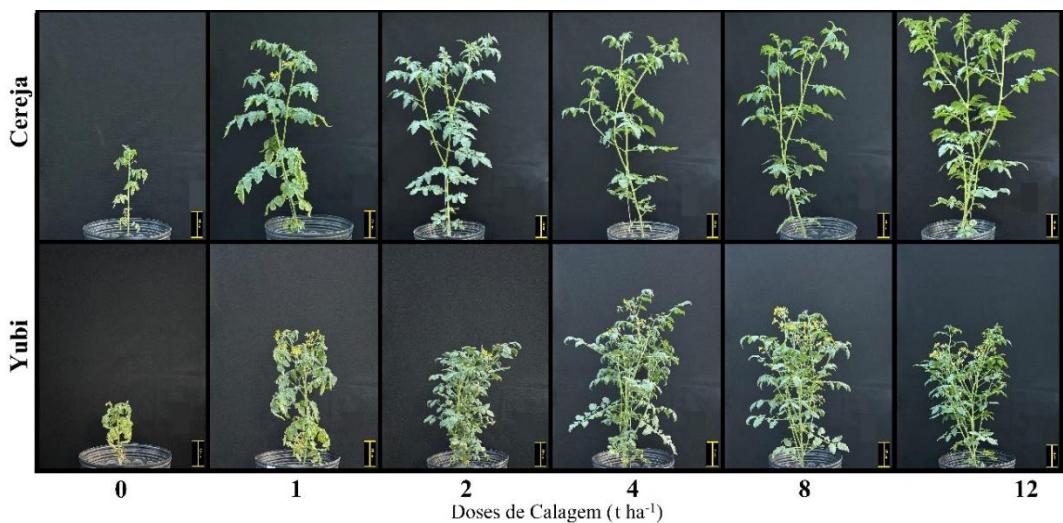


Figura 8. Fenótipo de cultivares de plantas de tomate cereja sob diferentes doses de calcário.

A análise visual das folhas das cultivares de tomate cereja, evidenciaram melhoria progressiva no aspecto morfológico e fitossanitário com as doses crescentes de calagem,

com diferenças marcantes entre a condição sem calcário (doses baixas) e as doses intermediárias a altas (Figura 9).

Nas doses baixas (0 e 1 t ha⁻¹), observou-se folhas com coloração verde-amarela, com clorose internerval acentuada, e redução do tamanho. A cultivar Cereja mostrou sintomas menos intensos que Yubi, com leve formação de nervuras ainda verdes. Já a cultivar Yubi apresentou folhas menores, deformadas e com maior incidência de necrose marginal.

Nas doses intermediárias (2 e 4 t ha⁻¹) verificou-se a recuperação da coloração verde intensa, expansão laminar foliar e melhor definição dos folíolos. A cultivar Cereja apresentou folhas amplas, bem recortadas e uniformemente verdes, enquanto Yubi ainda mostrou leve clorose marginal em 2 t ha⁻¹, totalmente corrigida em 4 t ha⁻¹.

Doses elevadas (8 e 12 t ha⁻¹) as folhas mantiveram o aspecto visualmente saudável, mas em alguns casos observa-se sutil clareamento do verde. A Cereja manteve coloração verde-escura e textura firme até a dose máxima, enquanto Yubi apresentou leve perda de intensidade de cor.

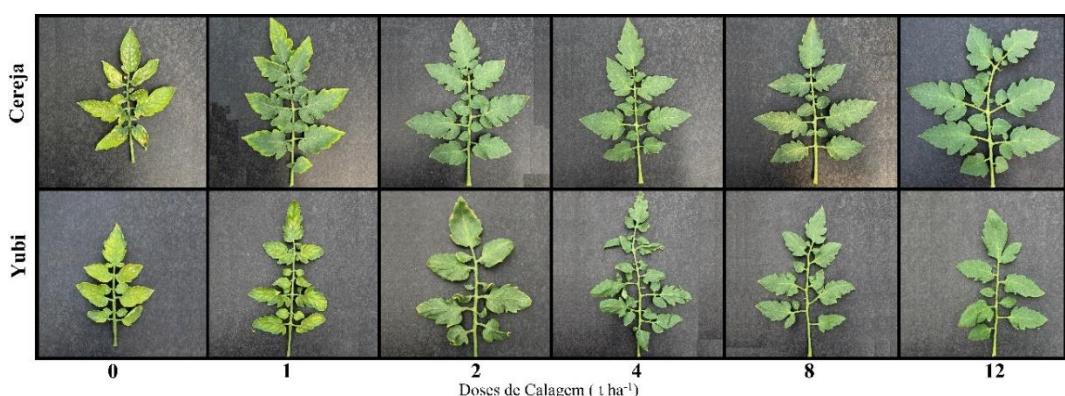


Figura 9. Morfologia foliar de cultivares de plantas de tomate cereja submetidas a diferentes doses de calcário.

2.3.4. Efeito da calagem na produção e qualidade de frutos

As doses de calagem tiveram efeito significativo apenas na produção de tomate da cultivar Cereja para as doses 2 a 12 t ha⁻¹. A cultivar Yubi não produziu frutos economicamente viáveis, devido a má formação e a baixa qualidade comercial, como consta na Figura 12. Ao avaliarmos a produção por NFP observou-se superioridade da dose 8 t ha⁻¹ em relação as demais, com produção média de 15,40 frutos por planta, observando uma redução na dose de 12 t ha⁻¹ para 13,40 frutos por planta. Para o PMF observou maior produção na dose de 4 t ha⁻¹ com 6,30 g por fruto, com redução no peso nas doses superiores (Figura 10).

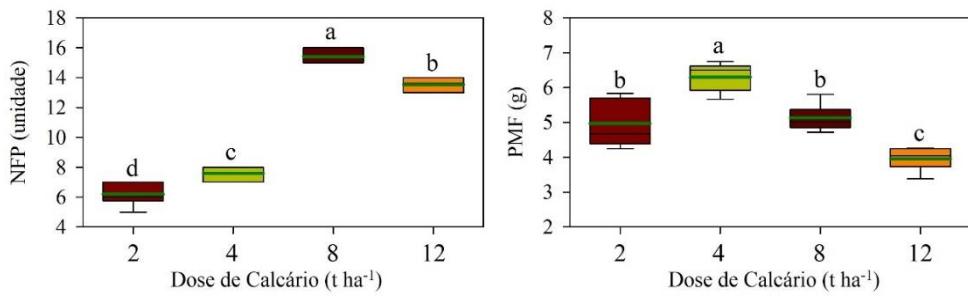


Figura 10. Blox plot da produção de tomate da cultivar cereja submetidos a doses de calagem. Letras minúsculas iguais entre as doses de calagem não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Ao avaliarmos a qualidades dos frutos produzidos para as diferentes doses de calagem, observou-se diferença estatística para firmeza, SS, AT e SS/AT, exceto para o pH (Figura 11). O tratamento com 2 t ha⁻¹ apresentou os maiores valores de firmeza, observando redução nos valores de 0,195 para 0,154 kgf com o aumento das doses de calagem. Para os SS observou aumento nos valores de 6,22 para 7,30 °Brix nas doses de 2 a 8 t ha⁻¹, com pequena redução nas doses de 12 t ha⁻¹, com valores de 7,24 °Brix. Para acidez titulável houve redução na concentração de ácido cítrico com aumento nas doses de calagem, variando de 0,98 para 0,75% de ácido cítrico. Entretanto ao avaliarmos a relação SS/AT observou aumento nos valores com aumento das doses de calagem, variando de 6,40 a 9,71 entre as doses de 2 a 12 t ha⁻¹.

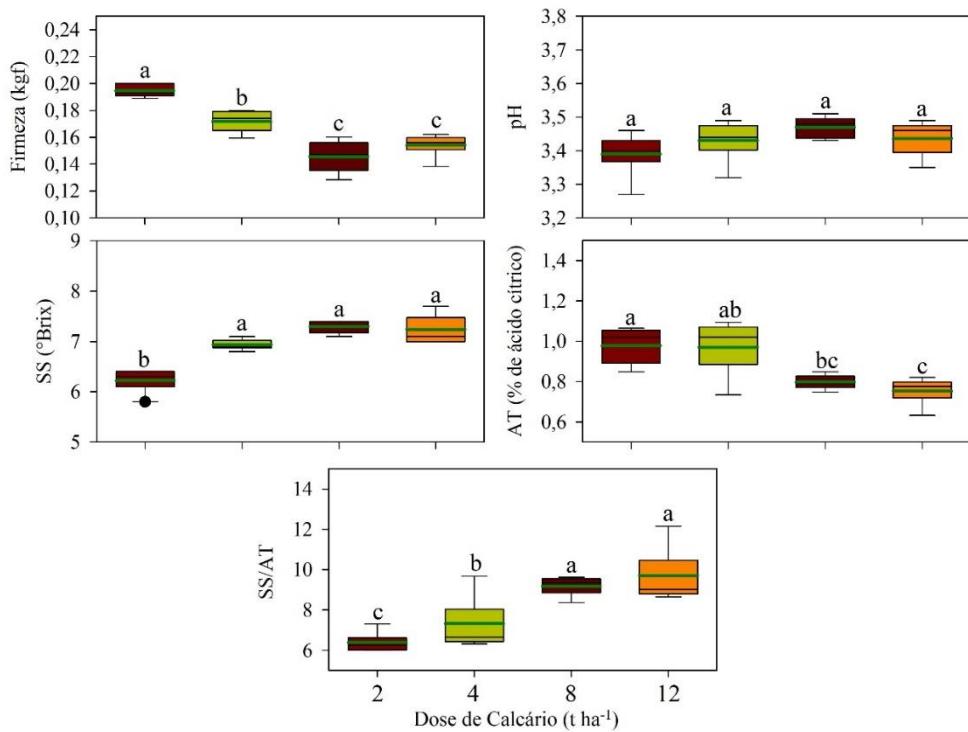


Figura 11. Blox plot das variáveis de pós colheita de tomate da cultivar cereja submetidos a doses de calagem. Letras minúsculas iguais entre as doses de calagem não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Em plantas da cultivar Yubi, observou-se distúrbios morfofisiológicos, com a ocorrência de frutos deformados, caracterizados pela presença de estruturas internas semelhantes a frutos secundários, fenômeno conhecido como proliferação floral ou fasciação. Na Figura 12 B, a baixo observa-se desorganização do eixo floral, com encurtamento e curvatura do pedúnculo com fusão parcial das flores e ovários, resultando em estruturas compostas, com mais de um ovário por flor.

Observa-se na Figura 12 C e D, o fruto principal desenvolvido com uma estrutura secundária emergindo da região apical, semelhante a um segundo fruto em desenvolvimento. O corte evidencia duas câmaras carpelares fusionadas lateralmente, confirmando a fusão de dois meristemas florais adjacentes. As paredes internas estão parcialmente lignificadas e o pericarpo é irregular, com regiões mais espessas. Nota-se a continuidade vascular entre os dois frutos, indicando origem comum do pedúnculo e tecidos adjacentes.

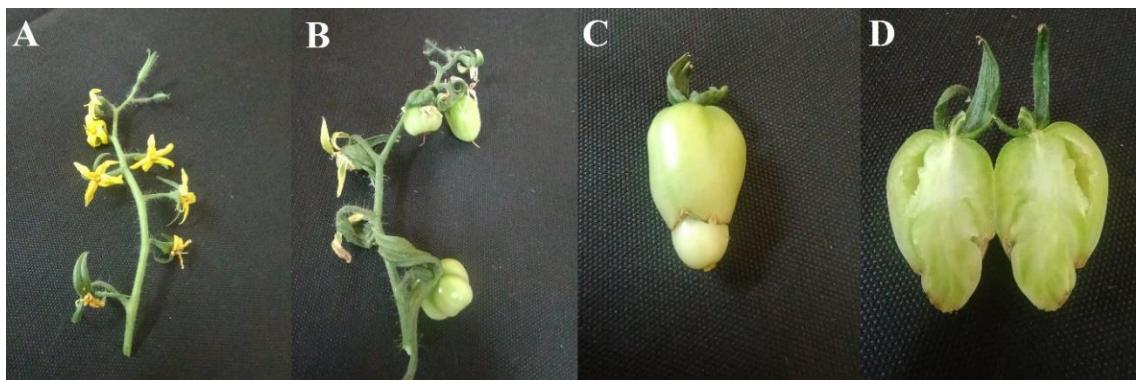


Figura 2.12. Distúrbio fisiológicos em plantas de tomate cereja (cultivar Yubi) submetidas a diferentes doses de calcário.

2.4. DISCUSSÃO

2.4.1. Resposta nutricional a doses de calcário

A calagem proporcionou melhorias na acidez, capacidade de trocar cátions e saturação por bases, consequentemente aumentando a disponibilidade de macronutrientes, entretanto com doses elevadas maiores que 8 t ha^{-1} há uma redução na disponibilidade de micronutrientes (Tabela 2). Essas alterações modificam a solubilidade e disponibilidade dos nutrientes na rizosfera da planta, em consequência há uma maior absorção de nutrientes pelas raízes, devido as mudanças químicas na disponibilidade

iônica, aumento no comprimento das raízes, presença de raízes finas, pelos radiculares aumentando a área de contato e a eficiência de absorção, aumentando os teores de nutrientes presentes na parte aérea da planta (Zhang et al., 2025).

As doses de calagem alteraram significativamente a distribuição de macro e micronutrientes presentes do tomateiro (Tabela 3, Figura 2 e 3). Um padrão de distribuição caracterizado pelo aumento das proporções de micronutrientes presentes nas raízes em relação as folhas, as raízes apresentaram valores mais elevados de Cu, Zn, Fe, Mn e B. Evidenciando a regulação entre a absorção e a translocação de nutrientes entre a raiz e a parte aérea da planta (Ma & Tsay, 2021). Essa diferença entre o Fe presente na raiz e na parte aérea chegando a ser 10 vezes menor na folha, está relacionado a transportador de ferro do tomateiro LeFRO1, localizado principalmente na membrana plasmática das raízes, desempenha um papel crucial no transporte de ferro para parte aérea quando suprimida sua expressão interrompe a homeostase do ferro e de outros elementos minerais nas plantas (Gama et al., 2023).

Para as doses baixas de calagem menor que 1 t ha⁻¹, observou-se teores baixos de Ca, Mg, K e P, níveis elevado de Fe tanto na raiz quanto da parte aérea, na dose intermediária entre 2 a 4 t ha⁻¹, observou-se maior equilíbrio na absorção dos nutrientes pela raiz e parte aérea. As doses mais elevadas maiores que 8 t ha⁻¹ proporcionaram redução acentuada nas concentrações de N, P, K, Fe, Mn, Zn, Cu e B. Doses muitos elevadas de calcário podem causar desequilíbrio na absorção de macronutrientes, principalmente pelo fornecimento em excesso de Ca, desequilibrando a absorção de P e K (Fink et al., 2020).

2.4.2. Crescimento e pigmentação de plantas em resposta a doses de calcário

A calagem proporciona melhorias na acidez do solo, disponibilizando nutrientes e fornecendo Ca e Mg para as plantas influenciando diretamente na nutrição e consequentemente na fotossíntese (Clorofila A e B) e no crescimento tanto da raiz como da parte aérea (Sediqui et al., 2024, Fink et al., 2020). Contudo, a resposta à calagem é limitada e não linear, concentrações elevadas de CaCO₃ reduzem o crescimento radicular e aéreo, diminuem a biomassa total e provocam severos desequilíbrios nutricionais devido à baixa disponibilidade de micronutrientes como Fe, Mn, Zn e Cu (Sediqui et al. 2024). A calagem exerce um papel duplo nos teores de clorofila, em doses moderadas melhora a disponibilidade de Mg e N (Elementos estruturais da clorofila) e reduz toxidez

de Al, promovendo aumento e recuperação dos teores de clorofila A e B, já em doses elevadas maiores que 8 t ha⁻¹, promovem deficiências de micronutrientes (Fe, Mn, Zn, B) que comprometem a biossíntese e manutenção dos pigmentos (Ahmed et al., 2024).

A melhoria da eficiência hídrica está associada ao crescimento radicular e expansão foliar, sendo as doses adequadas 4 a 8 t ha⁻¹, que permitiram que as plantas convertessem a água transpirada em maior acúmulo de biomassa, aumentando a eficiência hídrica após a calagem (Gaiser et al., 2004). No entanto, a resposta não é linear, enquanto doses moderadas otimizam a fisiologia hídrica e nutricional, doses excessivas elevam o pH além da faixa ideal e podem reduzir micronutrientes essenciais, comprometendo o desempenho hídrico da planta. Assim, a calagem deve ser manejada dentro de uma faixa ótima que maximize simultaneamente a absorção de água, a nutrição e a eficiência fisiológica das plantas (Asmamaw et al., 2025).

Dessa forma, embora doses adequadas de calagem otimizem o desempenho fisiológico e consequentemente o crescimento o excesso de calcário compromete a síntese de clorofilas, reduz a eficiência fotossintética e limita o crescimento da planta. Assim, o manejo da calagem deve buscar uma faixa ideal que maximize a nutrição e o desenvolvimento sem ultrapassar níveis que induzam supercalagem e consequente estresse nutricional (Enesi et al., 2023).

2.4.3. Respostas morfológicas a doses crescente de calcário

A evolução morfológica das raízes, parte aérea e folhas demonstra o efeito benéfico da calagem para ambas as cultivares (Cereja e Yubi), sobre o desenvolvimento vegetativo do tomateiro, com expressivas diferenças em altura, arquitetura, vigor e coloração foliar ao longo do gradiente de doses, observando-se uma evolução de um padrão restrito e atrofiado (em baixa calagem) para um crescimento vigoroso (em doses intermediárias e altas) (Figura 7, 8 e 9). As plantas submetidas a dose de 0 e 1 t ha⁻¹ apresentam sintomas de toxicidade de micronutrientes catiônicos (Fe, Mn, Zn e Cu), resultante do pH ácido do solo e auto teor de Al³⁺ maior que 0,5 cmol_c dm⁻³, que inibem a absorção radicular e o metabolismo fotossintético (Long et al., 2017).

As doses intermediárias de 2 a 4 t ha⁻¹, apresentaram melhores características morfológicas, devido a um maior fornecimento equilibrado de nutrientes promovendo melhores condições de absorção de nutrientes pelas raízes, maior síntese de clorofila e melhoria no crescimento, refletindo-se na maior eficiência fotossintética observada nos

dados de clorofila e área foliar (Long et al., 2017). Entretanto, em doses excessivas maiores que 8 t ha⁻¹, a pesar das folhas apresentarem aspecto visual saudável, em alguns casos observa-se sutil clareamento do verde, indicando deficiências de micronutrientes (Fe, Mn, Zn e Cu), reforçando a necessidade de um manejo equilibrado da calagem, considerando a necessidade de cada cultivar (Sediqui et al., 2024).

2.4.4. Produção e qualidade de frutos em função das doses de calcário

A calagem promoveu efeitos significativos sobre o número de frutos por planta (NFP) e o peso médio dos frutos (PMF) da cultivar de tomate cereja, evidenciando que o ajuste adequado do pH é determinante para a expressão do potencial produtivo (Figura 10). A correção de acidez do solo proporcionou aumento na produção de frutos de tomate cereja, devido a melhorias nas características do solo, que possibilitou maior desenvolvimento radicular, maior absorção de nutrientes, maior desenvolvimento da parte aérea e com isso maior produção de tomates (Fink et al., 2020). Por outro lado, a dose mais elevada (12 t ha⁻¹) reduziu tanto NFP quanto PMF, possivelmente devido à menor disponibilidade de micronutrientes essenciais em pH elevado (Sediqui et al., 2024).

A qualidade pós-colheita dos frutos de tomate cereja foi influenciada pelas doses de calagem, refletindo alterações significativas na firmeza, nos sólidos solúveis (SS), na acidez titulável (AT) e na relação SS/AT (Figura 11). A firmeza reduziu com o aumento das doses, possivelmente devido ao maior suprimento de Ca favorecer a integridade da parede celular até certo ponto, mas doses excessivas podem desbalancear cátions e comprometer a deposição estrutural, principalmente pela deficiência de B, que é um elemento estrutural da parede celular (Ahmed et al., 2024). Por outro lado, os teores de SS aumentaram com a calagem, indicando melhoria no acúmulo de açúcares decorrente de melhor nutrição e condições fisiológicas mais favoráveis (Fink et al., 2020). A AT apresentou tendência de redução em doses mais elevadas, comportamento típico em frutos mais maduros e metabolicamente equilibrados, o que elevou a relação SS/AT importante indicador de características sensoriais dos frutos (Kader, 2008). Esses resultados demonstram que a calagem, quando aplicada em níveis adequados, melhora atributos físico-químicos essenciais para a qualidade do tomate.

O distúrbio (proliferação floral ou fasciação), observados nos frutos da cultivar Yubi, trata-se de um distúrbio morfofisiológico originado no meristema floral, antes da

fecundação, e está associado a desequilíbrios hormonais e/ou alterações ambientais e nutricionais que afetam a diferenciação dos órgãos florais (Yuste-Lisbona et al., 2020). Esse desbalanço pode ser induzido por estresse térmico, deficiência ou excesso de nutrientes (Wu et al., 2024). Onde podemos comprovar esses fatores devido as elevadas variações térmicas observadas ao longo do experimento (temperatura 24 a 32 °C e umidade 55 a 90%) e pelos elevados teores de micronutrientes presentes na raiz (Tabela 3) e pela deficiência de boro na folha (Li et al., 2023).

2.5. CONCLUSÕES

Doses menores que 2 t ha⁻¹, promoveram deficiências de nutrientes com sintomas de clorose seguida por necrose e morte das duas cultivares.

A dose de calcário de 2 a 4 t ha⁻¹ proporcionou absorção mais equilibrada de nutrientes possibilitando em maior crescimento, produção e qualidades dos frutos.

Doses elevadas de calcário maiores que 8 t ha⁻¹, proporcionam crescimento e produção satisfatória, contudo deve-se ter cuidado com a deficiência de micronutrientes que impactam na produção e qualidade dos frutos.

A cultivar Yubi é mais sensível a acidez e aos fatores ambientais do que a cultivar Cereja que demonstrou superioridade em crescimento e produção.

Em virtude das diversas classes de solos presente na região e das diversas cultivares de tomate cereja, são necessários mais estudos avaliando diferentes cultivares e solos na região.

2.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahmed, N., Zhang, B., Chachar, Z., Li, J., Xiao, G., Wang, Q., ... & Tu, P. Micronutrients and their effects on horticultural crop quality, productivity and sustainability. *Scientia Horticulturae*, v. 323, 112512, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112512>

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. **Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO Irrigation and Drainage Paper, n. 56. Rome, 297 p. 1998.

Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M., Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

Asmamaw, D. K., Walraevens, K., Assaye, H., Nigate, F., Adgo, E., & Cornelis, W. M. Management strategies for improving maize yield and water productivity under water deficit and soil acidity. *Experimental Agriculture*, v. 61, e11, 2025. <https://doi.org/10.1017/S0014479725000092>

Batista, Mateus C., Nascimento, Ronaldo, Maia Júnior, Sebastião De O., Nascimento, Elka C. S., Bezerra, Carlos V. De C., Lima, Robson F. De. Fisiologia e produção de cultivares de tomate cereja em sistema hidropônico utilizando água salobra. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 4, p. 219-227, 2021.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 42 p.

Bossolani, J. W., Crusciol, C. A. C., Portugal, J. R., Moretti, L. G., Garcia, A., Rodrigues, V. A., ... & dos Reis, A. R. Long-term liming improves soil fertility and soybean root growth, reflecting improvements in leaf gas exchange and grain yield. **European Journal of Agronomy**, v. 128, 126308, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126308>

Cantarella, H., Quaggio, J. A., Mattos Junior, D., Boaretto, R. M., Raij, B. V. (ed.). **Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 2022. ISBN 978-65-88414-09-5.

Dunn, L. E. Lime requirement determination of soils by means of titration curves. **Soil Science**. v. 56, n. 5, p. 341-351, 1943.

Enesi, R. O., Dyck, M., Chang, S., Thilakarathna, M. S., Fan, X., Strelkov, S., & Gorim, L. Y. Liming remedies soil acidity and improves crop yield and profitability-a meta-analysis. **Frontiers in Agronomy**, v. 5, 1194896, 2023. <https://doi.org/10.3389/fagro.2023.1194896>

Fageria, N. K., & Nascente, A. S. Management of soil acidity of South American soils for sustainable crop production. **Advances in agronomy**, v. 128, p. 221-275, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-802139-2.00006-8>

Fink, J., Sánchez-Rodríguez, A. R., Souza, C. P., Pierozan Junior, C., Lagos, F. S., Frosi, G., ... & Schwengber, A. Adjusting P-K fertilization and liming strategies to enhance yield of cherry tomato plants grown on an Oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 51, n. 13, p. 1736-1746, 2020. <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1798992>

Gaiser, T., Barros, I., Lange, F. M., & Williams, J. R. Water use efficiency of a maize/cowpea intercrop on a highly acidic tropical soil as affected by liming and fertilizer application. **Plant and soil**, v. 263, n. 1, p. 165-171, 2004. <https://doi.org/10.1023/B:PLSO.0000047733.98854.9f>

Gama, F., Saavedra, T., Dandlen, S., García-Caparrós, P., de Varennes, A., Nolasco, G., ... & Pestana, M. Silencing of FRO1 gene affects iron homeostasis and nutrient balance in tomato plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 186, n. 5, p. 554-567, 2023. <https://doi.org/10.1002/jpln.202300071>

Kader, A. A. Flavor quality of fruits and vegetables. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 88, n. 11, p. 1863-1868, 2008. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3293>

Levene, H. **Robust Tests for the equality of variance. In: Olkin, I(Ed.) Contributions to Probability and Statistics**, Palo Alto, California. Stanford University Press, p.278-292, 1960.

Li, J., Fan, H., Song, Q., Jing, L., Yu, H., Li, R., ... & Xu, J. Physiological and molecular bases of the boron deficiency response in tomatoes. **Horticulture Research**, v. 10, n. 12, uhad229, 2023. <https://doi.org/10.1093/hr/uhad229>

Long, A., Zhang, J., Yang, L. T., Ye, X., Lai, N. W., Tan, L. L., ... & Chen, L. S. Effects of low pH on photosynthesis, related physiological parameters, and nutrient profiles of

citrus. **Frontiers in plant science**, n. 8, n. 185, 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00185>

Ma, J. F., & Tsay, Y. F. Transport systems of mineral elements in plants: transporters, regulation and utilization. **Plant and Cell Physiology**, v. 62, n. 4, p. 539-540, 2021. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcab026>

Malavolta, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

Malavolta, E., Vitti, G. C., Oliveira, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira de Potassa e do Fósforo, 1997. 319 p.

Malcher, D. **Santos Soares et al. Produtividade de diferentes cultivares de tomateiro do grupo cereja** (*lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*) nas condições edafoclimáticas de Paragominas-PA. In: IV INTEGRA UFRA - Evento: Online, 2021. Disponível em: <<https://doity.com.br/anais/integra-ufra-2021/trabalho/203982>>. Acesso em: 20/11/2024 às 21:53.

Quesada, C. A., Lloyd, J., Anderson, L. O., Fyllas, N. M., Schwarz, M., And Czimczik, C. I. Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites. **Biogeosciences**, v. 8, n. 6, p. 1415-1440, 2011. <https://doi.org/10.5194/bg-8-1415-2011>

Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. A., Lumbreras, J. F., Coelho, M. R., Almeida, J. A., Araujo Filho, J. C., Oliveira, J. B., E Cunha, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5^a edição revista e ampliada. Brasília: Embrapa. 2018.

Sediqui, N., Amin, M. W., Dawlatzai, N., Gulab, G., Poyesh, D. S., Terada, N., ... & Koshio, K. Elucidation of shoot and root growth, physiological responses, and quality traits of tomato (*Solanum lycopersicon* L.) exposed to elevated calcium carbonate concentrations. **Horticulturae**, v. 10, n. 6, p. 573, 2024. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10060573>

Shapiro, S. S., Wilk, M. B. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). **Biometrika**, v. 52, p. 591–609, 1965. <https://doi.org/10.2307/2333709>

Teixeira, P. C., Donagema, G. K., Fontana, A., & Teixeira, W. G. (Eds.). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 3^a ed. revista e ampliada. – Brasília, DF: Embrapa, 2017, 573 p.

Wu, J., Li, P., Li, M., Zhu, D., Ma, H., Xu, H., ... & Wu, S. Heat stress impairs floral meristem termination and fruit development by affecting the BR-SICRCA cascade in tomato. **Plant Communications**, v. 5, n. 4, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2023.100790>

Yuste-Lisbona, F. J., Fernández-Lozano, A., Pineda, B., Bretones, S., Ortíz-Atienza, A., García-Sogo, B., ... & Lozano, R. ENO regulates tomato fruit size through the floral meristem development network. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 117, n. 14, p. 8187-8195, 2020. <https://doi.org/10.1073/pnas.1913688117>

Zenebon, O., Pascuet, N.S **Métodos Físico-Químicos Para Análise de Alimentos**. 2005, pág. 1018.

Zhang, Y., Yang, L., Yu, L., Zheng, X., Liu, Y., & Li, T. Impact of Ten-Year Straw and Lime Management History on Soil Micronutrient Availability and Tomato Yield in

Greenhouse. **Horticulturae**, v. 11, n. 11, p. 1307, 2025.
<https://doi.org/10.3390/horticulturae1111307>

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA INTRODUÇÃO GERAL

- Ahmed, N., Zhang, B., Chachar, Z., Li, J., Xiao, G., Wang, Q., ... & Tu, P. Micronutrients and their effects on horticultural crop quality, productivity and sustainability. **Scientia Horticulturae**, v. 323, 112512, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112512>
- Asmamaw, D. K., Walraevens, K., Assaye, H., Nigate, F., Adgo, E., & Cornelis, W. M. Management strategies for improving maize yield and water productivity under water deficit and soil acidity. **Experimental Agriculture**, v. 61, e11, 2025. <https://doi.org/10.1017/S0014479725000092>
- Baqy, M. A. A., Li, J. Y., Jiang, J., Mehmood, K., Shi, R. Y., And Xu, R. K. Critical pH and exchangeable Al of four acidic soils derived from different parent materials for maize crops. **Journal of soils and sediments**, v. 18, p. 1490-1499, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11368-017-1887-x>
- Bian, M., Zhou, M., Sun, D., And Li, C. Molecular approaches unravel the mechanism of acid soil tolerance in plants. **The Crop Journal**, v. 1, n. 2, p. 91-104, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2013.08.002>
- Bossolani, J. W., Crusciol, C. A. C., Portugal, J. R., Moretti, L. G., Garcia, A., Rodrigues, V. A., ... & dos Reis, A. R. Long-term liming improves soil fertility and soybean root growth, reflecting improvements in leaf gas exchange and grain yield. **European Journal of Agronomy**, v. 128, 126308, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126308>
- Enesi, R. O., Dyck, M., Chang, S., Thilakarathna, M. S., Fan, X., Strelkov, S., & Gorim, L. Y. Liming remediates soil acidity and improves crop yield and profitability-a meta-analysis. **Frontiers in Agronomy**, v. 5, 1194896, 2023. <https://doi.org/10.3389/fagro.2023.1194896>
- Fageria, N. K., & Nascente, A. S. Management of soil acidity of South American soils for sustainable crop production. **Advances in agronomy**, v. 128, p. 221-275, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-802139-2.00006-8>
- Fageria, N. K., Baligar, V. C., & Clark, R. B. Micronutrients in crop production. **Advances in Agronomy**, v. 77, n. 1, p. 185-268, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(02\)77015-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(02)77015-6)
- Fink, J., Sánchez-Rodríguez, A. R., Souza, C. P., Pierozan Junior, C., Lagos, F. S., Frosi, G., ... & Schwengber, A. Adjusting P-K fertilization and liming strategies to enhance yield of cherry tomato plants grown on an Oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 51, n. 13, p. 1736-1746, 2020. <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1798992>
- Fontoura, S.M.V., de Castro Pias, O.H., Tiecher, T., Cherubin, M.R., de Moraes, R.P., Bayer, C. Effect of gypsum rates and lime with different reactivity on soil acidity and crop grain yields in a subtropical Oxisol under no-tillage. **Soil Tillage Research**, v. 193, p. 27–41, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.05.005>
- Gaiser, T., Barros, I., Lange, F. M., & Williams, J. R. Water use efficiency of a maize/cowpea intercrop on a highly acidic tropical soil as affected by liming and fertilizer application. **Plant and soil**, v. 263, n. 1, p. 165-171, 2004. <https://doi.org/10.1023/B:PLSO.0000047733.98854.9f>
- Gama, F., Saavedra, T., Dandlen, S., García-Caparrós, P., de Varennes, A., Nolasco, G., ... & Pestana, M. Silencing of FRO1 gene affects iron homeostasis and nutrient balance

in tomato plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 186, n. 5, p. 554-567, 2023. <https://doi.org/10.1002/jpln.202300071>

Goulding, K. W. T. Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. **Soil use and management**, v. 32, n. 3, p. 390-399, 2016. <https://doi.org/10.1111/sum.12270>

Gurmessa, B. Soil acidity challenges and the significance of liming and organic amendments in tropical agricultural lands with reference to Ethiopia. **Environment, Development & Sustainability**, v. 23, n. 1, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00615-2>

Inagaki, T. M., de Moraes Sá, J. C., Caires, E. F., & Gonçalves, D. R. P. Lime and gypsum application increases biological activity, carbon pools, and agronomic productivity in highly weathered soil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 231, p. 156-165, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.034>

Kader, A. A. Flavor quality of fruits and vegetables. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 88, n. 11, p. 1863-1868, 2008. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3293>

Li, Y., Cui, S., Chang, S.X., Zhang, Q. Liming effects on soil pH and crop yield depend on lime material type, application method and rate, and crop species: a global meta-analysis. **Journal Soils Sediments**, v. 19, p. 1393–1406, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2120-2>.

Long, A., Zhang, J., Yang, L. T., Ye, X., Lai, N. W., Tan, L. L., ... & Chen, L. S. Effects of low pH on photosynthesis, related physiological parameters, and nutrient profiles of citrus. **Frontiers in plant science**, n. 8, n. 185, 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00185>

Lu, X., Mao, Q., Gilliam, F. S., Luo, Y., & Mo, J. Nitrogen deposition contributes to soil acidification in tropical ecosystems. **Global change biology**, v. 20, n. 12, p. 3790-3801, 2014. <https://doi.org/10.1111/gcb.12665>

Ma, J. F., & Tsay, Y. F. Transport systems of mineral elements in plants: transporters, regulation and utilization. **Plant and Cell Physiology**, v. 62, n. 4, p. 539-540, 2021. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcab026>

Mao, Q., Lu, X., Zhou, K., Chen, H., Zhu, X., Mori, T., & Mo, J. Effects of long-term nitrogen and phosphorus additions on soil acidification in an N-rich tropical forest. **Geoderma**, v. 285, p. 57-63, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.09.017>

Minato, E. A., Brignoli, F. M., Neto, M. E., Besen, M. R., Cassim, B. M. A. R., Lima, R. S., ... & Batista, M. A. Lime and gypsum application to low-acidity soils: Changes in soil chemical properties, residual lime content and crop agronomic performance. **Soil and Tillage Research**, v. 234, 105860, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105860>

Moreira, S. G., Prochnow, L. I., Pauletti, V., Silva, B. M., Kiehl, J. D. C., & Silva, C. G. M. Effect of liming on micronutrient availability to soybean grown in soil under different lengths of time under no tillage. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 39, n. 1, p. 89-97, 2017. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v39i1.30691>

Neina, D. The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation. **Applied and Environmental Soil Sciences**, v. 2019, 5794869, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/5794869>

- Paradelo, R., Virto, I., & Chenu, C. Net effect of liming on soil organic carbon stocks: a review. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 202, p. 98-107, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.01.005>
- Quesada, C. A., Lloyd, J., Anderson, L. O., Fyllas, N. M., Schwarz, M., And Czimczik, C. I. Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites. **Biogeosciences**, v. 8, n. 6, p. 1415-1440, 2011. <https://doi.org/10.5194/bg-8-1415-2011>
- Rosolem, C. A., Foloni, J. S. S., & Oliveira, R. H. D. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, com palha na superfície. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 301-309, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2003000200018>
- Saha, S., Saha, B., Seth, T., Dasgupta, S., Ray, M., Pal, B., Pati, S., Mukhopadhyay, S.K., Hazra, G. Micronutrients availability in soil-plant system in response to longterm integrated nutrient management under rice-wheat cropping system. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 19, p. 712–724, 2019. <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00071-6>.
- Sediqui, N., Amin, M. W., Dawlatzai, N., Gulab, G., Poyesh, D. S., Terada, N., ... & Koshio, K. Elucidation of shoot and root growth, physiological responses, and quality traits of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) exposed to elevated calcium carbonate concentrations. **Horticulturae**, v. 10, n. 6, p. 573, 2024. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10060573>
- Souza, E. S. D., Fernandes, A. R., Souza Braz, A. M., Oliveira, F. J. D., Alleoni, L. R. F., And Campos, M. C. C. Physical, chemical, and mineralogical attributes of a representative group of soils from the eastern Amazon region in Brazil. **Soil**, v. 4, n. 3, p. 195-212, 2018. <https://doi.org/10.5194/soil-4-195-2018>
- Wu, J., Li, P., Li, M., Zhu, D., Ma, H., Xu, H., ... & Wu, S. Heat stress impairs floral meristem termination and fruit development by affecting the BR-SICRCA cascade in tomato. **Plant Communications**, v. 5, n. 4, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2023.100790>
- Yuste-Lisbona, F. J., Fernández-Lozano, A., Pineda, B., Bretones, S., Ortíz-Atienza, A., García-Sogo, B., ... & Lozano, R. ENO regulates tomato fruit size through the floral meristem development network. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 117, n. 14, p. 8187-8195, 2020. <https://doi.org/10.1073/pnas.1913688117>