

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

LILIAN CLARA DE SOUZA GARCIA

**COMBINAÇÕES DE NITRATO E AMÔNIO ALTERAM A
FOTOSSÍNTESE E CRESCIMENTO DE PIMENTA-DE-CHEIRO**

MANAUS – AM
2025

LILIAN CLARA DE SOUZA GARCIA

**COMBINAÇÕES DE NITRATO E AMÔNIO ALTERAM A
FOTOSSÍNTESE E CRESCIMENTO DE PIMENTA-DE-CHEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Faculdade de Ciências Agrárias - UFAM, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Agronomia Tropical, área de concentração em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. José Zilton Lopes Santos

MANAUS – AM
2025

Ficha Catalográfica

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

G216c Garcia, Lilian Clara de Souza
 Combinações de nitrato e amônio alteram a fotossíntese e crescimento de
 pimenta-de-cheiro / Lilian Clara de Souza Garcia. - 2025.
 53 f. : il., color. ; 31 cm.

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

 1. adubação nitrogenada. 2. Capsicum chinense. 3. formas de nitrogênio.
 4. nitrato redutase. I. Santos, José Zilton Lopes. II. Universidade Federal
 do Amazonas. Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical. III.
 Título

LILIAN CLARA DE SOUZA GARCIA

COMBINAÇÕES DE NITRATO E AMÔNIO ALTERAM A FOTOSSÍNTESE E
CRESCIMENTO DE PIMENTA-DE-CHEIRO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Faculdade de Ciências Agrárias - UFAM, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Agronomia Tropical, área de concentração em Produção Vegetal.

Aprovado em 18 de junho de 2025.

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente

JOSE ZILTON LOPES SANTOS

Data: 18/06/2025 15:39:56-0300

Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. José Zilton Lopes Santos - (Presidente)

Universidade Federal do Amazonas



Documento assinado digitalmente

JOSINALDO LOPES ARAUJO ROCHA

Data: 19/06/2025 16:05:15-0300

Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Josinaldo Lopes Araujo Rocha - (Membro Titular)

Universidade Federal de Campinas Grande



Documento assinado digitalmente

ARNON AFONSO DE SOUZA CARDOSO

Data: 19/06/2025 17:23:20-0300

Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Dr. Arnon Afonso de Souza Cardoso - (Membro Titular)

Universidade Federal de Lavras

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, pela força, saúde e sabedoria concedidas ao longo desta jornada. Sem Sua presença em minha vida, cada desafio teria sido muito mais difícil de superar.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Zilton, expresso meu profundo reconhecimento pela orientação dedicada, pelas sugestões construtivas e pelo incentivo contínuo à busca pelo conhecimento e pela excelência acadêmica. Seu compromisso com a ciência e com a formação de novos pesquisadores foi fundamental para a realização deste estudo.

Aos meus colegas do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), minha sincera gratidão pelo apoio, companheirismo e pelas valiosas trocas de conhecimento que contribuíram de forma significativa para o desenvolvimento deste trabalho. Em especial, agradeço ao Marcelo Nunes e ao João Cleber, pela amizade, paciência e colaboração constante durante todas as etapas desta pesquisa.

Ao Anselmo Verdes, deixo minha especial gratidão pelo apoio, pelas palavras de encorajamento e por estar sempre disposto a ajudar em momentos cruciais desta trajetória.

À minha família, minha base e meu alicerce, agradeço por todo o amor, compreensão e incentivo. Um agradecimento especial à minha irmã Sofia e à minha avó Maria, que sempre acreditaram em mim e me fortaleceram com palavras de carinho e gestos de apoio incondicional.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da UFAM, agradeço pela excelência na formação e pelas orientações recebidas ao longo do curso, que foram fundamentais para meu crescimento acadêmico e profissional.

Agradeço à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPESP/UFAM), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), pela oportunidade de realizar este mestrado e pelo suporte financeiro por meio da bolsa de estudos. Sem esse auxílio, este projeto não teria sido possível.

A todos, meu mais sincero agradecimento!

RESUMO

Nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) são as principais formas de nitrogênio (N) absorvidas e metabolizadas pelas plantas. Essas formas influenciam diretamente o metabolismo, a absorção de nutrientes e o crescimento vegetal. Dessa forma, este estudo investigou o efeito de diferentes proporções de $\text{N-NO}_3^-/\text{N-NH}_4^+$ sobre o desempenho nutricional, fisiológico, bioquímico e crescimento de duas cultivares de pimenta-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacq.). Utilizamos um delineamento inteiramente casualizado com sete tratamentos (seis proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ e um controle sem o fornecimento de N), totalizando 56 unidades experimentais. Após 120 dias, proporções 60:40% e 80:20% favoreceram a fotossíntese, a atividade da nitrato redutase e o acúmulo de macro e micronutrientes, especialmente nas raízes e parte aérea da cultivar De Cheiro. A cultivar Lupita demonstrou maior sensibilidade a altas concentrações de NH_4^+ , com redução nos parâmetros de fluorescência da clorofila e menor crescimento. Os resultados indicam que o balanço entre NO_3^- e NH_4^+ é essencial para otimizar o desempenho fisiológico e nutricional das cultivares, sendo recomendada a proporção 60:40% para a cultivar De Cheiro e 80:20% para a cultivar Lupita.

Palavras-chaves: adubação nitrogenada, *Capsicum chinense*, formas de nitrogênio, nitrato redutase.

ABSTRACT

Nitrate (NO_3^-) and ammonium (NH_4^+) are the main forms of nitrogen (N) absorbed and metabolized by plants. These forms directly influence metabolism, nutrient absorption, and plant growth. Thus, this study investigated the effect of different N- $\text{NO}_3^-/\text{N-NH}_4^+$ ratios on the nutritional, physiological, biochemical, and growth performance of two cultivars of sweet pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). We used a completely randomized design with seven treatments (six ratios of $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ and one control without N supply), totaling 56 experimental units. After 120 days, ratios of 60:40% and 80:20% favored photosynthesis, nitrate reductase activity, and the accumulation of macro- and micronutrients, especially in the roots and aerial parts of the De Cheiro cultivar. The Lupita cultivar showed greater sensitivity to high concentrations of NH_4^+ , with a reduction in chlorophyll fluorescence parameters and lower growth. The results indicate that the balance between NO_3^- and NH_4^+ is essential to optimize the physiological and nutritional performance of the cultivars, with a ratio of 60:40% recommended for the De Cheiro cultivar and 80:20% for the Lupita cultivar.

Keywords: nitrogen fertilization, *Capsicum chinense*, nitrogen forms, nitrate reductase.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Efeito da interação entre cultivar com proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ no acúmulo de potássio - K (a, b) e zinco - Zn (c,d) (n = 4) nas raízes de pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N. Desdobramento de cultivares dentro de proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (a,c) e desdobramento de proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ dentro de cultivar (b,d). Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente ($P<0,05$) pelo teste de Tukey.....25
- Figura 2 - Efeito da proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (a) e cultivar (b) no acúmulo de ferro (Fe) (n=4) nas raízes de pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N. Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente ($P<0,05$) pelo teste de Tukey.....25
- Figura 3 - Efeito da interação entre cultivar com proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ no acúmulo de ferro - Fe (a, b) e manganês - Mn (c,d) (n = 4) na parte aérea de pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N. Desdobramento de cultivares dentro de proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (a,c) e desdobramento de proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ dentro de cultivar (b,d). Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente ($P<0,05$) pelo teste de Tukey.....26
- Figura 4 - Acúmulo de potássio - K(a), cálcio – Ca (b), magnésio – Mg (c) e cobre - Cu (d) (n = 4) na parte aérea de pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N sob diferentes proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$. Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente ($P<0,05$) pelo teste de Tukey. 27
- Figura 5 - Efeito da proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (a e c) e cultivar (b, d) no acúmulo de nitrogênio (N) (n=4) nas raízes (a,b) e folhas (c,d) de pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N. Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente ($P<0,05$) pelo teste de Tukey 28
- Figura 6 - Efeito da interação entre cultivar com proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ no teor de potássio - K (a, b) Ferro - Fe (c,d) e manganês - Mn (e,f) (n = 4) na parte aérea de pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N. Desdobramento de cultivares dentro de proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (a,c,e) e desdobramento de proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ dentro de cultivar (b,d,f). Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente ($P<0,05$) pelo teste de Tukey. 30

Figura 7 - Teor de cálcio - Ca(a) e magnésio - Mg(b) (n = 4) na parte aérea de pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N sob diferentes proporções de NO ₃ ⁻ :NH ₄ ⁺ . Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente (P<0,05) pelo teste de Tukey.	31
Figura 8 - Efeito da cultivar no teor de cobre (Cu) (n = 4) na parte aérea de plantas de pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N. Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente (P<0,05) pelo teste de Tukey.	31
Figura 9 - Efeito da interação entre cultivar com proporção de NO ₃ ⁻ :NH ₄ ⁺ no teor de fósforo - P (a, b) potássio - K (c,d), cálcio - Ca (e,f) e magnésio – Mg (g, h) (n = 4) nas raízes de pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N. Desdobramento de cultivares dentro de proporções de NO ₃ ⁻ :NH ₄ ⁺ (a,c,e,g) e desdobramento de proporções de NO ₃ ⁻ :NH ₄ ⁺ dentro de cultivar (b,d,f,h). Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente (P<0,05) pelo teste de Tukey.	33
Figura 10 - Efeito da proporção de NO ₃ ⁻ :NH ₄ ⁺ (a e c) e cultivar (b, d) no teor de nitrogênio (N) (n=4) nas raízes (a,b) e folhas (c,d) de pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N. Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente (P<0,05) pelo teste de Tukey.	34
Figura 11 - Aspectos visuais das plantas de pimenta-de-cheiro “Cv. De Cheiro” cultivada por 120 dias com 300 mg N e diferentes proporções de NO ₃ ⁻ :NH ₄ ⁺ (esquerda) e tratamento controle (direita).	35
Figura 12 - Aspectos visuais das folhas (fileira superior), plantas (fileira do meio) e raízes (fileira inferior) de plantas de pimenta-de-cheiro “Cv. De Cheiro” cultivada por 120 dias com 300 mg N e diferentes proporções de NO ₃ ⁻ :NH ₄ ⁺ . As folhas: jovem e completamente desenvolvida, obtida no terço médio da planta.	36
Figura 13 - Aspectos visuais das folhas (fileira superior), plantas (fileira do meio) e raízes (fileira inferior) de plantas de pimenta-de-cheiro “Cv. Lupita” cultivada por 120 dias com 300 mg N e diferentes proporções de NO ₃ ⁻ :NH ₄ ⁺ . As folhas: jovem e completamente desenvolvida, obtida no terço médio da planta.	36
Figura 14 - Efeito da interação entre cultivar com proporção de NO ₃ ⁻ :NH ₄ ⁺ nos parâmetros da fluorescência da clorofila a: Fv (a, b), Fm (c,d) e Fv/Fm (e,f) (n = 4) nas folhas de plantas pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N. Desdobramento de cultivares dentro de proporções de NO ₃ ⁻ :NH ₄ ⁺ (a,c,e) e desdobramento de proporções de NO ₃ ⁻ :NH ₄ ⁺	

dentro de cultivar (b,d,f). Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente ($P<0,05$) pelo teste de Tukey. 37

Figura 15 - Efeito da interação entre cultivar com proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ nos parâmetros da fluorescência da clorofila *a*: PIabs (a, b), PItotal (c,d) e IC (e,f) ($n = 4$) nas folhas de plantas pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N. Desdobramento de cultivares dentro de proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (a,c,e) e desdobramento de proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ dentro de cultivar (b,d,f). Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente ($P<0,05$) pelo teste de Tukey. 39

Figura 16 - Efeito da interação entre cultivar com proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ no diâmetro - D(a,b) e matéria seca da parte aérea - MSPA(c,d) ($n = 4$) de plantas pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N. Desdobramento de cultivares dentro de proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (a,c) e desdobramento de proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ dentro de cultivar (b,d). Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente ($P<0,05$) pelo teste de Tukey. 40

Figura 17 - Efeito da proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (a) e cultivar (b) na altura ($n=4$) das plantas de pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N. Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente ($P<0,05$) pelo teste de Tukey. 41

Figura 18 - Efeito da interação entre cultivar com proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ no teor de prolina ($n = 4$) nas folhas de plantas pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N. Desdobramento de cultivares dentro de proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (a) e desdobramento de proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ dentro de cultivar (b). Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente ($P<0,05$) pelo teste de Tukey. 42

Figura 19 - Efeito da cultivar (a) e proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (b) no teor de prolina ($n=4$) nas raízes de plantas de pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N. Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente ($P<0,05$) pelo teste de Tukey. 42

Figura 20 - Efeito da interação entre cultivar com proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ na atividade da enzima redutase do nitrato (RN) ($n = 4$) nas folhas de plantas pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N. Desdobramento de cultivares dentro de proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (a) e desdobramento de proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ dentro de cultivar (b). Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente ($P<0,05$) pelo teste de Tukey. 43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais atributos químicos e granulométricos (20-40 cm) do solo antes e depois da aplicação dos tratamentos.	18
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3	MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1	Material vegetal e condições de crescimento	16
3.2	Tratamentos e delineamento experimental	16
3.3	Procedimentos específicos	16
3.3.1	Descrição do local e coleta do solo	16
3.3.2	Preparo e caracterização química e granulométrica do solo	17
3.3.3	Recipiente	17
3.3.4	Calagem, adubação básica e aplicação dos tratamentos	17
3.3.5	Avaliação dos atributos químicos do solo antes e após a incubação com adubação básica e tratamentos	18
3.3.6	Obtenção das mudas e transplântio	19
3.3.7	Irrigação	19
3.3.8	Medidas pós-transplântio	20
3.4	Avaliação do experimento e variáveis analisadas	20
3.4.1	Sintomatologia, teores e acúmulo de nutrientes	20
3.4.2	A fluorescência da clorofila <i>a</i>	21
3.4.3	Índice relativo de clorofila (Índice SPAD)	21
3.4.4	Taxa de crescimento relativo	22
3.4.5	Produção de massa seca	22
3.4.6	Teor de prolina foliar e nas raízes	22
3.4.7	Atividade da enzima redutase do nitrato	23
3.5	Análise de dados	23
4	RESULTADOS	24
4.1	Acúmulo de nutrientes nas raízes e na parte aérea das plantas	24
4.2	Teor de nutrientes na parte aérea e nas raízes	28
4.3	Sintomas do estado nutricional	33
4.4	Fluorescência da clorofila e Índice relativo de clorofila	37
4.5	Crescimento da planta	39
4.6	Teor de prolina na parte aérea e raízes	41
4.7	Atividade da nitrato redutase	42
5	DISCUSSÃO	44

6	CONCLUSÕES.....	48
7	REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

A pimenta-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacq.), pertencente à família Solanaceae, é uma espécie amplamente cultivada no Brasil, especialmente nas regiões Norte e Nordeste, sendo valorizada pelo seu aroma característico e sabor marcante e o seu cultivo ocorre predominantemente em solos de baixa fertilidade e pH ácido (Moreira et al., 2010; Ribeiro et al., 2008; Pimentel, 1985).

O nitrogênio (N) é um dos macronutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento vegetal, desempenhando um papel fundamental na composição de aminoácidos, proteínas, ácidos nucléicos e diversas enzimas (Mengel & Kirkby, 2001; Taiz et al., 2017; Bang et al., 2021). A disponibilidade de N no solo influencia diretamente o metabolismo das plantas, impactando a síntese de clorofila, a fotossíntese e a alocação de biomassa (Hawkesford et al., 2012). Devido à sua alta mobilidade na planta, a deficiência de N resulta em clorose nas folhas mais velhas, além de redução no crescimento e produtividade (Taiz et al., 2017; Viégas et al., 2013).

Na região Amazônica, onde predominam solos ácidos, intemperizados e de baixa fertilidade, a disponibilidade de N muitas vezes é limitada, com predomínio da forma amoniacal devido à menor atividade microbiana nitrificante (Moreira & Fageria, 2009; Konnerup & Brix, 2010). A acidez do solo afeta a disponibilidade dos nutrientes, tornando essencial a aplicação adequada de fertilizantes nitrogenados para maximizar a produtividade agrícola (Fageria & Baligar, 2001).

As plantas absorvem nitrogênio, preferencialmente, nas formas de nitrato (NO_3^-) ou amônio (NH_4^+), sendo estas as principais formas disponíveis no solo (Krapp et al., 2014). A preferência de absorção varia entre espécies vegetais e é influenciada por fatores ambientais como pH, aeração, umidade e disponibilidade de oxigênio (Wang & Shen, 2012; Li et al., 2013). Em ambientes bem drenados e com pH mais elevado, o NO_3^- predomina e é transportado até os brotos pelo xilema, após sua absorção pelas raízes via cotransporte H^+/NO_3^- e canais específicos (Crawford, 1995; Li et al., 2013; Li, Wang & Stewart, 2013). A redução do NO_3^- a NH_4^+ ocorre em duas etapas enzimáticas, envolvendo a nitrato redutase e a nitrito redutase, respectivamente no citoplasma e nos cloroplastos ou proplastídeos (Li et al., 2013). Já o NH_4^+ é comum em solos ácidos e alagados, sendo absorvido de forma ativa ou passiva, inclusive via canais de K^+ , dada sua semelhança estrutural (Miller & Cramer, 2005; Konnerup & Brix, 2010; Li, Wang & Stewart, 2013). O NH_4^+ apresenta assimilação mais direta no metabolismo de aminoácidos por meio do ciclo da glutamina sintetase (GS) e glutamato sintase (GOGAT), resultando em menor custo energético quando comparado à redução e assimilação do NO_3^- . No

entanto, em altas concentrações ou como única fonte de N, pode causar toxicidade em algumas culturas, refletida em alterações morfológicas nas raízes, redução da área foliar e morte da planta (Li, Wang & Stewart, 2013). A coexistência de NO_3^- e NH_4^+ na solução do solo pode melhorar a eficiência de uso de N e aumentar a produção vegetal, sendo a preferência por uma ou outra forma dependente de características intrínsecas da planta e das condições ambientais (Li, Wang & Stewart, 2013). Quando a absorção de nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) excede a capacidade imediata de assimilação da planta, esses íons podem ser armazenados temporariamente nos vacúolos, sendo posteriormente translocados para outros tecidos ou reduzidos e assimilados no citosol (Crawford, 1995; Li et al., 2013). Contudo, esse armazenamento excessivo, especialmente de NH_4^+ , pode comprometer o equilíbrio osmótico e induzir estresse celular, afetando negativamente a homeostase iônica e hormonal da planta (Taiz et al., 2017; Britto & Kronzucker, 2002).

O NH_4^+ é rapidamente incorporado a aminoácidos nos locais de absorção ou geração, o que evita seu acúmulo tóxico nos tecidos (Li et al., 2013; Gerendás et al., 1997). No entanto, quando em excesso, o NH_4^+ livre pode causar efeitos fitotóxicos como clorose, necrose, redução da fotossíntese e inibição do crescimento de raízes e parte aérea (Britto & Kronzucker, 2002; Loqué & von Wirén, 2004; Wang & Shen, 2012). Essas respostas negativas estão associadas à acidificação do citosol, alterações na atividade de enzimas e no metabolismo energético (Gerendás et al., 1997; Miller & Cramer, 2005).

Por outro lado, o NO_3^- é menos tóxico e pode ser estocado em quantidades relativamente maiores, sendo redistribuído entre os tecidos com menor impacto fisiológico (Epstein & Bloom, 2006; Hawkesford et al., 2012). Apesar disso, o fornecimento exclusivo de NH_4^+ ou proporções desbalanceadas entre NH_4^+ e NO_3^- pode restringir o crescimento vegetal em diversas espécies (Britto & Kronzucker, 2002; Fageria & Baligar, 2001).

As culturas como o milho (*Zea mays* L.), cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) e o tomate (*Solanum lycopersicum*) demonstram melhor desempenho quando supridas com NO_3^- em vez de NH_4^+ (Robinson et al., 2011; Zhang et al., 2019; Magalhaes & Huber, 1991). Por outro lado, o arroz (*Oryza sativa* L.) e a batata (*Solanum tuberosum* L.) tem uma preferência por NH_4^+ (Chen et al., 2022; Bloom et al. 1993). Além disso, a preferência pela forma de N pode variar de acordo com a espécie, o estágio de desenvolvimento e as condições ambientais, o que reforça a importância de estudos específicos para cada cultura (Moreira & Fageria, 2009; Bang et al., 2021).

Portanto, a escolha adequada da forma de N pode impactar diretamente o crescimento, a produtividade e a qualidade das plantas. Quando se utiliza a forma preferida pela cultura,

observam-se ganhos como maior eficiência na absorção de nutrientes, melhor desenvolvimento radicular, maior taxa fotossintética, e, conseqüentemente, aumento no acúmulo de biomassa e produtividade (Moreira & Fageria, 2009). Em contrapartida, o fornecimento predominante da forma não preferida pode levar à redução do crescimento vegetal, acúmulo de compostos tóxicos, alterações no pH da rizosfera, e menor eficiência de uso do nitrogênio, resultando em perdas agronômicas e econômicas (Zhang et al., 2019; Bang et al., 2021).

O estudo de Roosta (2024) avaliou os efeitos da forma de nitrogênio (NO_3^- e NH_4^+) e dos níveis de oxigênio dissolvido na solução nutritiva sobre o crescimento e o desempenho fisiológico de plantas de pimentão (*Capsicum annuum*) cultivadas em sistema hidropônico do tipo flutuante. Os resultados mostraram que plantas adubadas com NH_4^+ apresentaram menor crescimento vegetativo (massa seca e fresca da parte aérea e radicular), especialmente sob concentrações mais baixas de oxigênio (1,8 a 3,8 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$). No entanto, sob oxigenação elevada (5,3 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), observou-se um aumento significativo no crescimento das raízes mesmo em plantas tratadas com NH_4^+ , reduzindo a diferença em relação às tratadas com NO_3^- .

No entanto, ainda não há estudos que avaliem a preferência da pimenta-de-cheiro entre NO_3^- e NH_4^+ , o que torna essencial investigar o efeito dessas formas de N sobre seu crescimento e desenvolvimento da planta.

Neste estudo, investigamos a hipótese de que uma combinação adequada das proporções de $\text{N-NO}_3^-:\text{N-NH}_4^+$ pode otimizar o estado nutricional, a fotossíntese e o desenvolvimento das cultivares mais adaptadas de pimenta-de-cheiro na região.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Investigar se diferentes proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ interferem no crescimento e desenvolvimento de duas cultivares de pimenta-de-cheiro (Lupita e De Cheiro).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Verificar se as diferentes proporções de $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$ interferem no estado nutricional das cultivares.
- b. Analisar se as diferentes proporções de $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$ interferem nas variáveis fisiológicas e bioquímicas das cultivares.
- c. Identificar a proporção de $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$ que promova um maior desenvolvimento para as cultivares De Cheiro e Lupita de pimenta-de-cheiro.
- d. Testar se há diferença entre as cultivares quanto a proporção ótima de $\text{N-NO}_3^- : \text{N-NH}_4^+$, no substrato de cultivo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material vegetal e condições de crescimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, localizada na Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM (03° 06' 01,94" S, 59° 58' 34,59" W). Nós utilizamos duas cultivares de pimenta-de-cheiro: De Cheiro (Hortivale), essa cultivar foi selecionada na região Amazônica do Brasil e, caracterizada como adaptada às regiões de clima tropical, especialmente Norte e Nordeste do Brasil; enquanto a cultivar Lupita (Feltrin) é caracterizada por apresentar maior uniformidade de frutos e podendo ser plantada em qualquer época do ano na região Norte e possui resistência a PepYMV (*Pepper yellow mosaic virus* - Mosaico amarelo do pimentão), N (*Meloidogyne* spp. - nematoides-das-galhas).

As plantas foram cultivadas em casa de vegetação sob luz solar natural e condições ambientais semicontroladas, com $612,3 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de densidade de fluxo de fóton fotossintético, fotoperíodo de 12:00 h/12:00 h (dia/noite), temperatura média e umidade relativa em torno de 35 °C e 63%, respectivamente.

3.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram constituídos por combinação fatorial de duas cultivares de pimenta de cheiro (Lupita e De Cheiro) com o fornecimento de 300 mg dm^{-3} de N, em seis proporções percentuais de $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$ (100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80 e 0:100), mais um tratamento adicional (sem o fornecimento de N). Os vasos com plantas foram distribuídos em um delineamento inteiramente casualizados, com quatro repetições e uma planta por unidade experimental, totalizando 56 plantas. Os vasos foram dispostos sobre bancadas obedecendo um espaçamento de 30 x 40 cm entre fileira e entre plantas, respectivamente.

3.3 Procedimentos específicos

3.3.1 Descrição do local e coleta do solo

Amostras de um Latossolo Amarelo Distrófico de textura muito argilosa (EMBRAPA, 2006), foi coletado em ambiente de terra firme, sob vegetação nativa (floresta ombrófila aberta) (Pandolfo, 1978), localizada no Setor Sul da Universidade Federal do Amazonas, sob as coordenadas geográficas 3°10'22.86" S e 59°97'52.57" W. O clima predominante na região é tropical, classificado como Af de acordo com classificação de Alvares *et al.* (2013). A coleta do

solo foi efetuada em único ponto representativo da área, onde o solo estava mais preservado e mantendo suas características originais.

3.3.2 Preparo e caracterização química e granulométrica do solo

Após a coleta, as amostras de solo foram destorroadas, homogeneizadas, secas à sombra e passadas 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 de TFSA foram caracterizadas quimicamente quanto a pH em H₂O e em CaCl₂ e fósforo (P) disponível (extrator resina); formas disponíveis de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio trocável (Al³⁺); acidez potencial, matéria orgânica e capacidade de troca catiônica (CTC) efetiva e CTC potencial, conforme Teixeira et al. (2017). Além desses atributos, foram avaliados os teores de micronutrientes: cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) que foram extraídos pelo extrator Mehlich-1.

A análise granulométrica foi feita na TFSA pelo método Bouyoucos (1927) modificado por Carvalho (1985), utilizando NaOH 0,1 mol L⁻¹ como dispersante químico, e agitação durante 16 h e a 30 rpm em agitador rotatório tipo Wagner, sendo a fração areia (2 - 0,053 mm) separada através de tamisação.

Os atributos químicos e granulométricos do solo da área experimental foram determinados antes da aplicação dos tratamentos (Tabela 1).

3.3.3 Recipiente

Como recipiente, utilizamos vasos plásticos de polietileno, sem poros de drenagem, possuindo capacidade volumétrica de 4,0 dm³, dimensões de 20,0 cm de altura, 20,0 cm de diâmetro da base superior e 15,0 cm de diâmetro da base inferior.

3.3.4 Calagem, adubação básica e aplicação dos tratamentos

Os solos foram corrigidos utilizando uma mistura de carbonato de cálcio (CaCO₃) e carbonato de magnésio (MgCO₃) puro para análise (p.a.), seguindo uma relação estequiométrica Ca:Mg de 5:1. Foram aplicados 15,08 g de CaCO₃ e 3,17 g de MgCO₃ por vaso (4 dm³), objetivando elevar a saturação por bases (V%) para 70%. Após essa correção, os solos foram submetidos a um período de incubação de 30 dias.

Após à incubação, foi realizada uma adubação básica, adaptada de Allen et al. (1976) e Malavolta (1980). Foram adicionados 663,37 mg de fósforo (P) e 877,37 mg de potássio (K) por dm³, 1,3 mg de cobre (Cu); 4 mg de zinco (Zn); 3,6 mg de manganês (Mn) e 0,15 mg de

molibdênio (Mo) por dm^{-3} . Estes níveis foram balanceados entre os tratamentos, para que somente as proporções de N variassem. Nessa mesma época os tratamentos foram aplicados, utilizando-se como fonte o sulfato de amônio e nitrato de magnésio, em seguida, os solos foram novamente incubados por 30 dias.

O corretivo e adubação básica com P foram aplicados na forma sólida (pó) enquanto adubação básica com os demais nutrientes e os tratamentos foram realizados na forma de solução. Todas aplicações (corretivo, adubação básica e tratamentos) foram realizadas com reagentes puro para análises (p.a.) e de forma individualizada em cada recipiente.

3.3.5 Avaliação dos atributos químicos do solo antes e após a incubação com adubação básica e tratamentos

Inicialmente, foram coletadas amostras compostas de solo para caracterização química e granulométrica antes da incubação, e amostras simples após incubação em cada vaso. O solo utilizado no experimento antes do plantio apresentou os seguintes atributos químicos e físicos na profundidade de 20-40 cm: pH (H_2O) = 4,1; P = 2,3 mg kg^{-1} ; K = 0 mg kg^{-1} ; Ca^{2+} = 0,12 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$; Mg^{2+} = 0,05 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$; Al^{3+} = 1,7 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$; $\text{H}^+ + \text{Al}$ = 7,3 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$; MO = 29,6 g kg^{-1} ; Fe^{2+} = 160 mg kg^{-1} ; Mn = 0,7 mg kg^{-1} ; Zn^{2+} = 0,9 mg kg^{-1} ; argila = 600 g kg^{-1} ; areia 280 g kg^{-1} e silte 120 g kg^{-1} (EMBRAPA, 1999).

No final da fase de incubação e antes do transplantio das mudas, foram coletadas amostras simples de solo em cada vaso, obtendo uma amostra composta por tratamento. Em seguida, estas amostras foram preparadas obtendo a TFSA e caracterizadas quimicamente (Tabela 1).

Tabela 1 - Principais atributos químicos e granulométricos (20-40 cm) do solo da área experimental, antes e depois da aplicação dos tratamentos.

Latossolo Amarelo distrófico		
Propriedades do solo	Antes dos tratamentos	Depois dos tratamentos
pH (H_2O)	4,10	5,03
P (mg dm^{-3})	2,31	156,51
K ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	0,09	0,99
Ca ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	0,12	8,84
Mg ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	0,05	2,65
Al ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	1,70	0,12
H + Al ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	7,34	4,23

Fe (mg dm ⁻³)	160,1	84,88
Zn (mg dm ⁻³)	0,88	2,81
Mn (mg dm ⁻³)	0,73	3,05
SB (cmol _c dm ⁻³)	0,17	12,98
T (cmol _c dm ⁻³)	7,47	17,28
t (cmol _c dm ⁻³)	1,84	13,10
V (%)	2,3	75,01
m (%)	90,8	0,93
MO (dag kg ⁻¹)	2,96	-
Argila g kg ⁻¹	600	-
Areia g kg ⁻¹	280	-
Silte g kg ⁻¹	120	-

P - fósforo (extrator resina), K – potássio (extrator Mehlich-1), Ca - cálcio, Mg – magnésio, Al – alumínio (extrator KCl - 1 mol L⁻¹), H + Al – acidez potencial (extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ - pH 7,0), Fe – ferro, Zn – zinco, Mn – manganês, SB - soma de bases trocáveis, T - capacidade de troca catiônica a pH 7,0, t - capacidade de troca catiônica efetiva, V - Índice de saturação por bases, m - índice de saturação por alumínio, MO – matéria orgânica.

3.3.6 Obtenção das mudas e transplantio

As mudas foram formadas a partir de sementes provenientes de duas cultivares de pimenta-de-cheiro (*Capsicum chinense*): De Cheiro (Hortivale) e Lupita (Feltrin). As sementes foram germinadas em sementeiras de material isopor (EPS) e com 128 células, além disso, foi utilizado o Vivatto Plus® como substrato, e foram irrigadas diariamente com água deionizada. O processo de germinação das sementes ocorreu em 7-14 dias, enquanto o transplante foi realizado após 30 dias da semeadura (DAS). Esse procedimento foi executado quando as mudas atingiram entre 5-6 folhas definitivas e foram selecionadas as plantas mais uniformes quanto ao porte e ao número de folhas para o transplante para os vasos (Pimentel, 1985).

3.3.7 Irrigação:

Durante as fases de incubação e condução do experimento, a umidade no solo foi mantida em torno de 60% do volume total de poros, por meio de pesagem diária dos vasos e adição de água deionizada. Esse controle foi realizado por meio de observações diárias e a utilização exclusiva de água deionizada para irrigação (Freire; Ribeiro; Bahia, 1980).

3.3.8 Medidas pós-transplântio

Aos sete dias após o transplântio (DAT) e estabilização das plantas, foi medida a altura (H) das mudas por meio de régua graduada em centímetros. Esta foi mensurada desde a região de lançamento do caule até o ápice do caule principal. Além disso, foi mensurado o diâmetro (D) das mudas com paquímetro digital em milímetros.

3.4 Variáveis analisadas

Após 60 DAT, os efeitos dos tratamentos nas plantas foram avaliados por meio de alterações nas variáveis nutricionais, fotossintéticas, crescimento, enzimático e bioquímico.

- 1) *Parâmetros nutricionais (sintomatologia, teor e acúmulo de nutrientes)*
- 2) *Parâmetros fotossintéticos (a - Fluorescência da clorofila a; b – índice de clorofila relativo)*
- 3) *Parâmetro de crescimento (altura, diâmetro e matéria seca)*
- 4) *Parâmetro enzimático (redutase do nitrato)*
- 5) *Parâmetro bioquímico (teor de prolina)*

3.4.1 Sintomatologia, teores e acúmulo de nutrientes

Os sintomas visuais do estado nutricional da parte aérea das plantas foram descritos e documentados por meio de fotografias (Câmera/Canon - T7i) no decorrer do experimento, do dia 17 de maio de 2024 até 26 de agosto de 2024, conforme o aparecimento dos sintomas. Ao final do experimento, dia 26 de agosto de 2024, foi realizada a avaliação de imagem do sistema radicular.

As amostras de matéria seca das folhas e raízes foram moídas em moinho tipo Willey e peneiradas em malha de 1,0 mm, seguindo metodologia adaptada de Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Para a determinação dos teores totais dos elementos, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu e Al, 0,500 g de amostra foram submetidas à digestão com 6 mL de solução ácida (composta por 4 mL de HNO₃ e 2 mL de HCl) em tubos de macrodigestão (80 mL) aquecidos a 210 °C. O P foi quantificado por espectrofotometria no visível ($\lambda=680$ nm), enquanto o potássio foi determinado por fotometria de chama. Os teores de Ca, Mg, Zn, Cu, Fe e Mn foram obtidos por espectroscopia de absorção atômica (AAS).

A determinação do nitrogênio total foi realizada utilizando o método de Kjeldahl, o qual se baseia em duas etapas principais: digestão sulfúrica e destilação com posterior titulação. Inicialmente, 0,1 g da amostra moída de tecidos foliares e das raízes foi pesado e colocado em tubos de digestão. A cada tubo foram adicionados 5 mL da solução digestora contendo sulfato

de cobre, selenito de sódio, ácido salicílico e ácido sulfúrico. Os tubos foram aquecidos gradualmente em bloco digestor, elevando-se a temperatura de 50 °C até 350 °C, com adicionais de 50 °C a cada 20 minutos. A digestão foi considerada completa quando o extrato apresentou coloração incolor e emitia vapores brancos densos, com volume final aproximado de 1 mL. Após o resfriamento, a amostra foi diluída com 20 mL de água destilada e transferida para o balão de destilação. Adicionaram-se 15 mL de NaOH 40%, promovendo a liberação de amônia, a qual foi destilada e recolhida em 10 mL de solução receptora de ácido bórico com indicador misto. A destilação foi finalizada quando o volume da solução no Becker atingiu 60 mL, com coloração característica (verde menta). Por fim, a titulação foi realizada com H₂SO₄ 0,01 mol/L-1 até obtenção de coloração rósea permanente, registrando-se o volume consumido. Os valores de nitrogênio total foram então calculados com base na fórmula padrão, considerando o volume de ácido gasto, o branco e o peso da amostra (EMBRAPA, 1999).

3.4.2 A fluorescência da clorofila *a*

Eficiência quântica máxima do fotossistema II (PSII) (F_v/F_m), o índice de desempenho na base ABS (PI_{ABS}) e o índice de desempenho total (PI_{total}) foram obtidos utilizando um fluorômetro portátil (PEA, MK2 - 9600 - Hansatech, Norfolk, UK). Para a análise, foram selecionadas as folhas do terço médio e foram realizadas três leituras por planta. As plantas passaram por um período de adaptação ao escuro de 30 minutos com o uso de cliques apropriados, garantindo a completa oxidação do sistema fotossintético de transporte de elétrons. Posteriormente, foram submetidas a um pulso de luz saturante de alta intensidade (3000 µmol m⁻² s⁻¹, com comprimento de onda de 650 nm por 1 s). As respostas associadas aos transientes da fluorescência da clorofila *a* foram determinadas por meio de software específico (Handy PEA software - v 1.30), seguindo as equações do teste JIP (Strasser et al., 2010).

3.4.3 Índice relativo de clorofila (Índice SPAD)

Foi obtido em folíolos completamente expandidas, utilizando um medidor manual de clorofila (SPAD-502). As leituras do SPAD foram realizadas no ponto médio de cada folíolo, no espaço entre as nervuras, entre 09h às 11h, em duas repetições. O valor do índice SPAD corresponde à média de dez leituras do SPAD-502 obtidas de cada unidade experimental (FREIBERGER et al., 2013).

3.4.4 Taxa de crescimento relativo

A altura da parte aérea (H) foi obtida desde a base do coleto até a gema apical da planta, com o auxílio de uma régua graduada em cm, e o diâmetro do coleto (D) foi medido com um paquímetro digital (King Tools 0 - 200 mm), a 0,5 cm da superfície do solo. De posse dos dados de H e D, as taxas de crescimento relativo (TCR), para cada unidade experimental, foram obtidas através da equação: $TCRY = (LogY_{final}) - (LogY_{inicial}) / Tempofinal - Tempoinicial$ (BUGBEE, 1996; DAVANSO et al., 2002), onde, TCRY = taxa de crescimento relativo da variável dependente; Y_{final} = valor final da variável dependente; $Y_{inicial}$ = valor inicial da variável dependente; Tempofinal = tempo final da condução do experimento (meses); Tempoinicial = tempo inicial da condução do experimento (meses).

3.4.5 Produção de massa seca

Após a retirada das plantas do substrato, estas foram compartimentalizadas em caule, pecíolos, folha e raízes. Em seguida esses órgãos foram lavados em água deionizada e secas em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de 70°C até atingirem massa constante. Após a secagem, foi determinada a massa seca da parte aérea (MSPA), composta pela soma de (folha + caule + pecíolos); massa seca de folhas (MSF) massa seca de raízes (MSR) e massa seca total (MST), composta por MSPA + MSR, utilizando-se balança com precisão de 0,001 g.

3.4.6 Teor de prolina foliar e nas raízes:

Foi determinado na MSR e MSF, conforme Bates, Waldren e Teare (1973), com adaptação de Leite, Virgens Filho e Rodrigues (2000). A amostra moída de 0,1 g de tecidos foliares e das raízes foram maceradas com o uso de pistilo num almofariz e homogeneizadas com 10 ml de ácido sulfossalicílico 3% (p/v). Em seguida, a mistura foi transferida para tubos de microcentrífuga (15 mL) e centrifugada a 6000 rpm por 30 min. Foram coletados 2 mL do sobrenadante e transferidos para tubos de microcentrífuga de 15 mL, onde foram acrescentados 2 mL de solução ácida de ninhidrina (1,25 g de ninhidrina e 2 mL de ácido acético glacial concentrado). Em seguida, os tubos, hermeticamente fechados, foram levados ao banho-maria a 100°C durante 1 hora. Após esse período, os tubos foram colocados em recipientes contendo gelo para finalizar a reação. Após a reação ser interrompida, cada tubo recebeu 4 mL de tolueno, e em seguida, foram agitados (15 a 20 segundos). Os tubos foram deixados em repouso até a mistura formar duas fases, e posteriormente, o sobrenadante foi pipetado em três eppendorfs. A leitura destas amostras foi feita em espectrofotômetro a 520 nm, utilizando-se o tolueno como branco. A concentração de prolina foi estimada com o auxílio de reta padrão previamente

estabelecida, sendo os resultados obtidos expressos em micromol de prolina por grama de matéria seca ($\mu\text{M g}^{-1} \text{MSPA}^{-1}$).

3.4.7 Atividade da enzima redutase do nitrato

Nós coletamos folhas jovens e expandidas de cada ramo, em bom estado fitossanitário, que foram limpas, retirando-se as principais nervuras e pecíolo. Em seguida as amostras de folhas foram picadas em cubos de 10 mm de arestas até constituir uma porção de ≈ 200 mg de tecido foliar. As amostras foram colocadas em envelopes de papel alumínio (identificados). Estes foram imersos em nitrogênio líquido e posteriormente armazenados em gelo seco (isopor) para serem transportados até ao laboratório, onde foram armazenadas em um Ultrafreezer - 86 °C, até o momento das análises.

A atividade da redutase do nitrato (RN) foi determinada seguindo a metodologia descrita por Jaworski (1971), adaptado por Amaro et al. (2014). As folhas de pimenta-de-cheiro “in vivo” utilizadas para a análise foram cortadas, com o auxílio de bisturi, em segmentos de aproximadamente 200 mg e transferidas para tubos contendo 10 mL de tampão de extração. Após isso, a infiltração nos tubos foi realizada sob vácuo em três ciclos de 2 minutos, com intervalos de 1 minuto entre eles. Em seguida, as amostras foram incubadas em banho-maria a 30°C, no escuro, por 1 hora. Após a incubação, 1 mL do sobrenadante foi transferido para novos tubos e reagiu com 1 mL de solução de sulfanilamida e 1 mL de solução de N-Naftil. As amostras foram novamente incubadas a 30°C por 15 minutos e, posteriormente, a absorbância foi lida em espectrofotômetro a 540 nm. A curva padrão de nitrito foi utilizada para a determinação da atividade enzimática, expressa em $\text{nmol NO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1}$ de massa fresca (MF).

3.5 Análise de dados

Os resultados foram analisados quanto à normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (Shapiro & Wilk, 1965), e quanto à homogeneidade das variâncias, pelo teste de Levene (Levene, 1960). As variáveis que atenderam aos pressupostos de normalidade e homogeneidade foram submetidas à análise de variância (ANOVA) e, quando o valor de F foi significativo ($P < 0,05$), as médias das variáveis dependentes foram comparadas pelo teste de Tukey. Quando houve interação significativa entre os fatores proporções de formas de N e cultivares, a escolha da melhor proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ ou da melhor cultivar foi realizada por meio da decomposição da interação, avaliando o efeito do fator cultivar dentro de cada proporção de N, ou o efeito da proporção de N dentro de cada cultivar.

4 RESULTADOS

4.1 Acúmulo de nutrientes nas raízes e na parte aérea das plantas

Em relação ao acúmulo de nutrientes nas raízes das plantas, notamos que houve interação significativa ($P < 0,05$) entre os fatores cultivar e proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ apenas para os elementos K e Zn (Figura 1). Além disso, houve efeito significativo ($P < 0,05$) isolado das cultivares de pimenta de cheiro no acúmulo de Fe (Figura 2). A cultivar De cheiro apresenta maiores valores de acúmulo K comparativamente a cultivar Lupita, exceto na proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ com maior predominância de NO_3^- , na qual Lupita apresentou maior acúmulo de K (Figura 1a).

Avaliando o efeito das proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ no acúmulo de K dentro de cada cultivar, notamos apenas a cultivar De cheiro foi influenciada significativamente, sendo que a proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ com maior predominância de NO_3^- , apresentou os menores valores (Figura 1b). No caso do acúmulo de Zn, observamos que apenas houve diferença entre as cultivares na mistura de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ com maior proporção de NO_3^- , nessa proporção a cultivar De cheiro proporcionou o maior valor comparativamente a cultivar Lupita (Figura 1c). Em relação ao desdobramento do efeito de proporções dentro do fator cultivar, notamos que semelhantes os resultados encontrados para K, houve diferença entre as proporções apenas na cultivar De Cheiro e, o maior valor foi encontrado na mistura de formas de N com maior proporção de NO_3^- (Figura 1d).

Em relação ao elemento Fe, observa-se que a cultivar Lupita apresentou uma maior extração comparativamente a cultivar De cheiro (Figura 2b) e não houve efeito das proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$, independente da cultivar (Figura 2a).

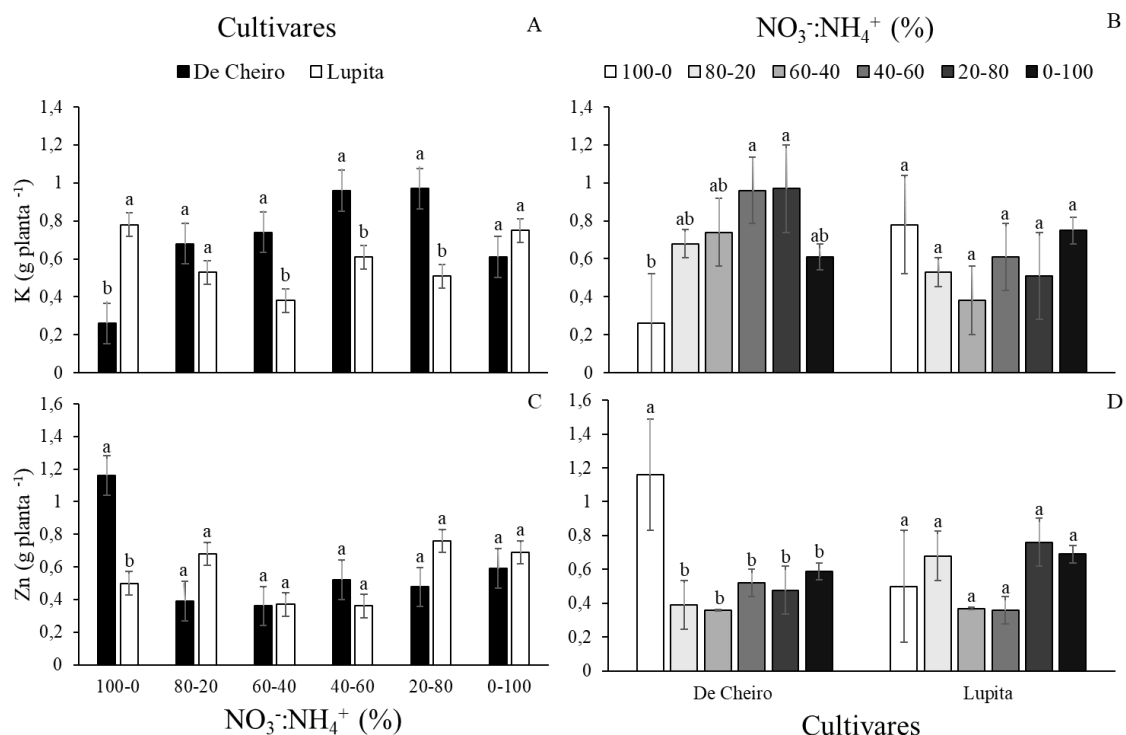


Figura 1 - Efeito da interação entre cultivar com proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ no acúmulo de potássio - K (a, b) e zinco - Zn (c,d) (n = 4) nas raízes de pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N. Desdobramento de cultivares dentro de proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (a,c) e desdobramento de proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ dentro de cultivar (b,d). Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey.

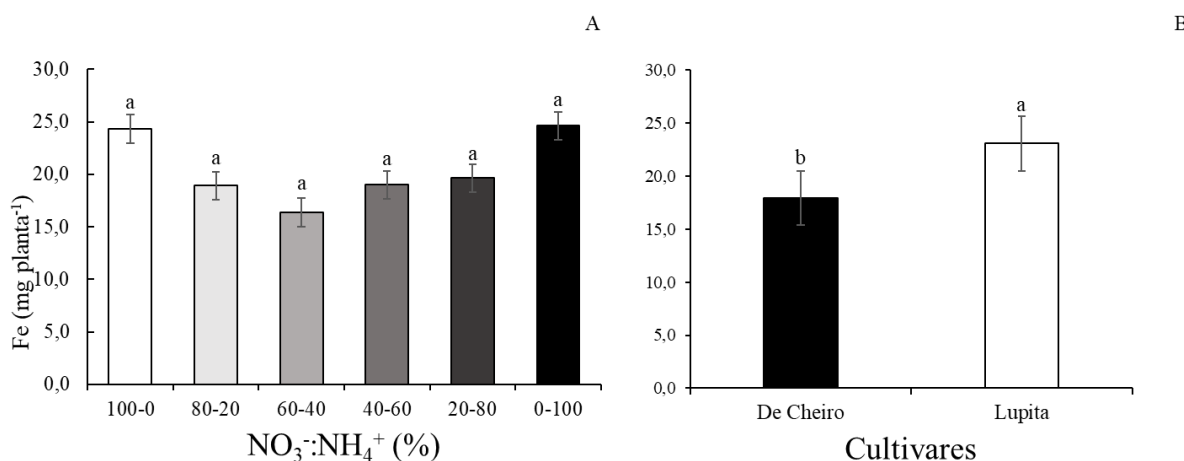


Figura 2 - Efeito da proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (a) e cultivar (b) no acúmulo de ferro (Fe) (n=4) nas raízes de pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N. Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Quanto ao acúmulo de nutrientes na parte aérea das plantas, observa-se que houve efeito de interação significativa ($P < 0,05$) dos fatores cultivar e proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$, apenas para os elementos Fe e Mn (Figura 3). Por outro lado, houve efeito significativo ($P < 0,05$) e isolado

do fator proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ sobre o acúmulo dos macronutrientes K, Ca, Mg (Figura 4a,b,c) e no micronutriente Cu (Figura 4d).

Em relação ao acúmulo dos elementos Fe (Figura 3a) e Mn (Figura 3c), nota-se que a cultivar Lupita foi ligeiramente superior a cultivar De cheiro nas proporções intermediárias de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (60:40, 40:60 e 20:80%) e a cultivar De cheiro foi superior a Lupita apenas na proporção $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (100:0%). Por outro lado, desdobrando o efeito das proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ dentro do fator cultivar, observa-se que a proporção 100:0% promove os maiores valores de acúmulo tanto de Fe quanto de Mn, enquanto as demais proporções não diferenciaram significativamente entre si. Enquanto que na cultivar Lupita os menores valores de acúmulo de Fe e Mn foram observados na proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ que apresentava maior predominância de NH_4^+ e, os maiores valores estavam associados as proporções de 60:40 e 20:80% de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (Figura 3b, d).

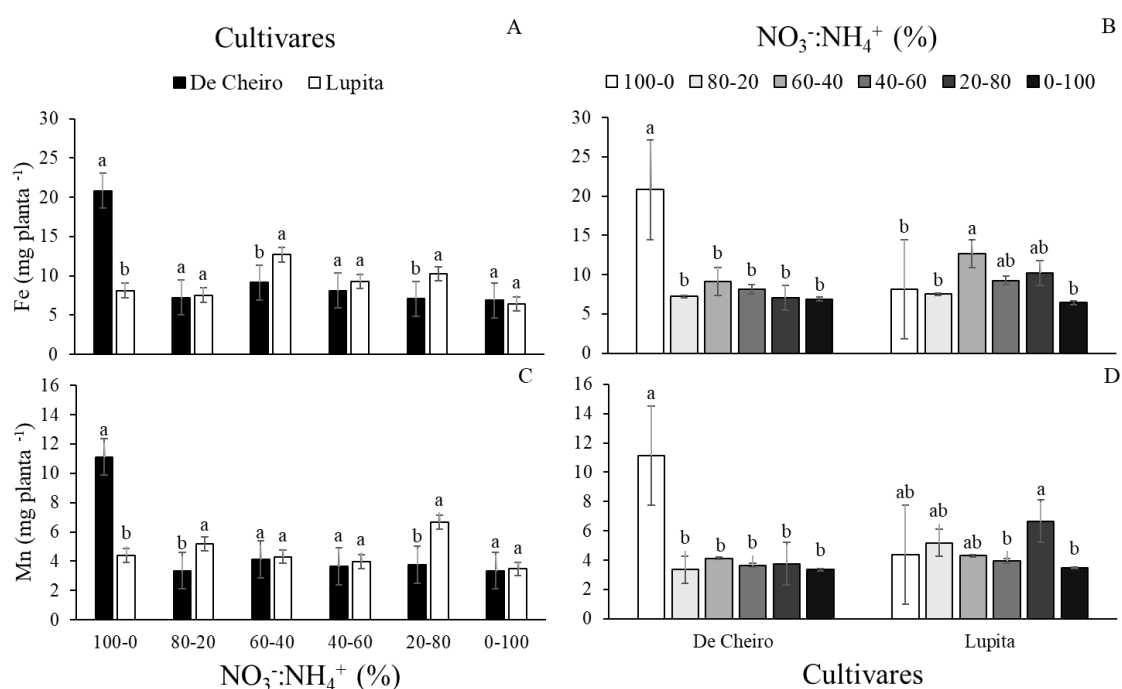


Figura 3 - Efeito da interação entre cultivar com proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ no acúmulo de ferro - Fe (a, b) e manganês - Mn (c,d) ($n = 4$) na parte aérea de pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N. Desdobramento de cultivares dentro de proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (a,c) e desdobramento de proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ dentro de cultivar (b,d). Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Há uma redução acúmulo dos elementos Ca e Mg, à medida que há um aumento da forma de N-NH_4^+ na mistura da proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (Figura 4b,c). No caso dos elementos K e Cu, não há um padrão de resposta nítido, mas observa-se que os menores acúmulos desses

elementos foram observados nas proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ de 100:0 e 0:100%, respectivamente (Figura 4a,d).

Não houve efeito significativo ($P < 0,05$) da interação entre os fatores cultivar e proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ no acúmulo de nutrientes nas plantas de pimenta de cheiro. No entanto, houve efeito isolado do fator proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ no acúmulo dos elementos K, Ca, Mg e Cu na parte aérea da cultivar De cheiro (Figura 4). O maior valor de acúmulo de K foi encontrado na proporção 60:40, enquanto que o menor foi observado no 100:0% (Figura 4a). Em relação ao Ca e Mg, foi possível observar que os maiores acúmulos foram encontrados nas proporções 100:0, 80:20 e 60:40%, e os menores na proporção 0:100% (Figura 4b, c). As plantas acumularam mais Cu na proporção 80:20% e o menor na proporção 0:100% (Figura 4d). No geral, o padrão de acúmulo foliares de Ca e Mg foi semelhante.

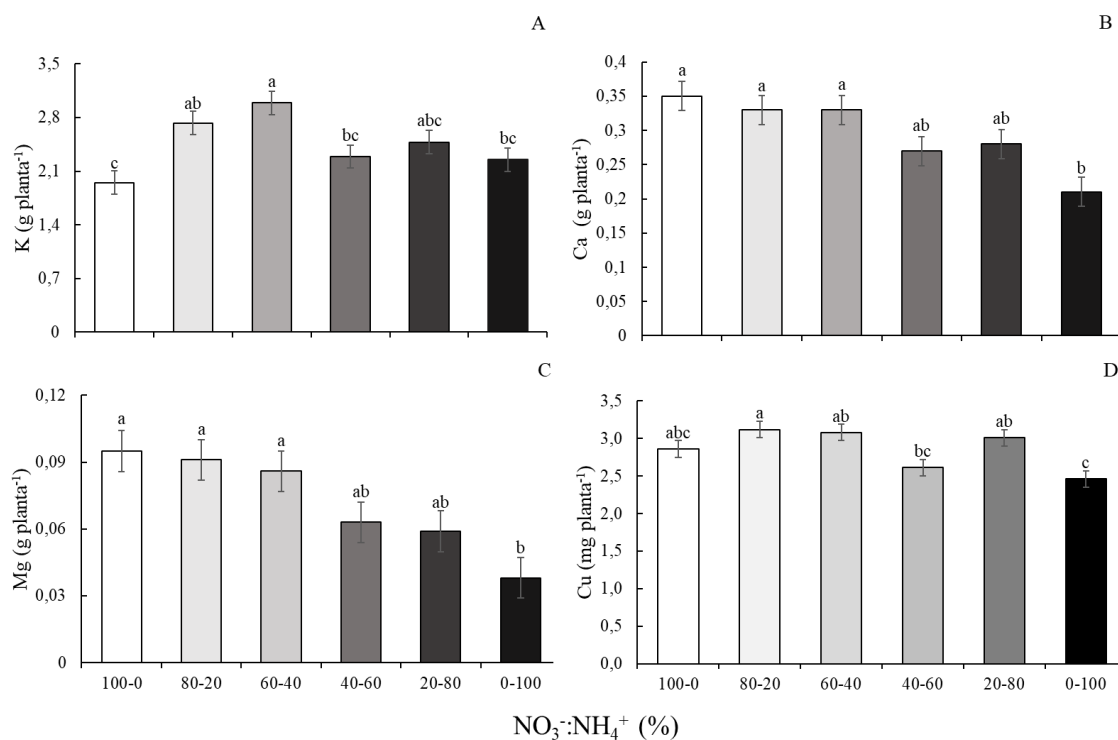


Figura 4 - Acúmulo de potássio - K(a), cálcio – Ca (b), magnésio – Mg (c) e cobre - Cu (d) ($n = 4$) na parte aérea de pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N sob diferentes proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$. Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Não houve efeito significativo ($P < 0,05$) da interação entre as cultivares e as proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ nos acúmulos de N na parte aérea e raízes, no entanto, apresentou efeito isolado do fator proporção e da cultivar (Figura 5).

O acúmulo de N nas raízes não apresentou diferenças entre as proporções (Figura 5a), no entanto, o maior acúmulo de N foi observado na cultivar De Cheiro (Figura 5b). Em relação

ao acúmulo de N na parte aérea, a proporção 80:20% apresentou o maior acúmulo (Figura 5c), e o maior acúmulo de N na parte aérea foi observado na cultivar De Cheiro (Figura 5d).

Em geral, os acúmulos nas raízes e parte aérea seguiram o mesmo padrão entre as cultivares, com a De Cheiro apresentando os maiores acúmulos de N.

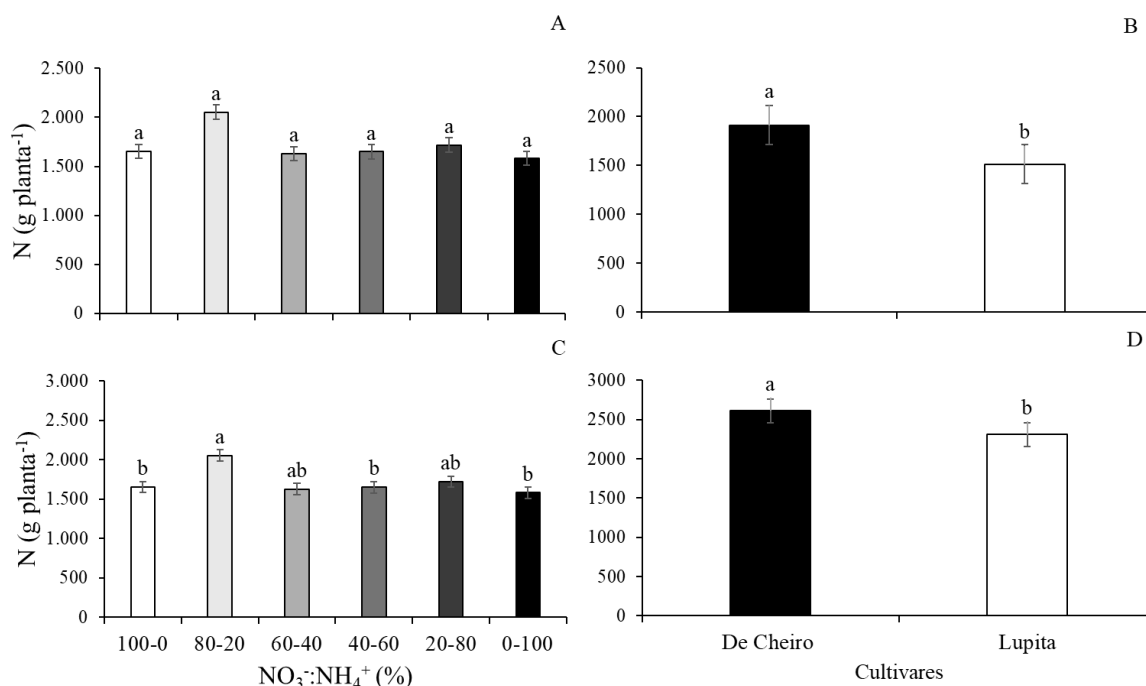


Figura 5 - Efeito da proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (a e c) e cultivar (b, d) no acúmulo de nitrogênio (N) (n=4) nas raízes (a,b) e folhas (c,d) de pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N. Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey

4.2 Teor de nutrientes na parte aérea e nas raízes

Quanto ao teor de nutrientes na parte aérea das plantas, notamos que houve interação significativa ($P < 0,05$) entre os fatores cultivar e proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ para os elementos K, Fe e Mn (Figura 6). Por outro lado, houve efeito significativo ($P < 0,05$) isolado do fator proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ no teor de Ca e Mg (Figura 7) e do fator cultivar na variável teor de Cu (Figura 8).

Em relação ao teor de K, avaliando o efeito das cultivares dentro de proporções, observamos que a cultivar Lupita apresentou maior valor de ter de K nas proporções de 100:0 e 60:40% $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ e não houve diferença significativa entre as cultivares nas demais proporções (Figura 6a). No caso do efeito das proporções dentro de cada cultivar, nota-se que a as proporções 0:100 e 100:0% de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ apresentaram o maior e menor valor de teor de

K, respectivamente (Figura 6b). Enquanto que na cultivar Lupita, a proporção 60:40% de NO_3^- : NH_4^+ proporcionou o maior valor de teor de K (Figura 6b).

Em relação ao teor dos micronutrientes Fe e Mn na parte aérea das plantas de pimenta-de-cheiro, quando se desdobra o efeito de cultivares dentro do fator proporções de NO_3^- : NH_4^+ , nota-se que a cultivar de cheiro apresentou maior valor do teor desses elementos quando cultivado na proporção 100:0% (Figura 6c, g) enquanto que a cultivar Lupita foi superior a cultivar De cheiro na proporção 20:80% em ambos os elementos (Figura 6c,g) e também nas proporção 60:40 e 40:60%, no caso específico do elemento Fe (Figura 6c). Por outro lado, ao avaliar o efeito das proporções dentro de cada cultivar, nota-se que na cultivar De Cheiro a proporção 100:0% contribuiu com o maior valor tanto para o teor de Fe (Figura 6d) quanto para o Mn (Figura 6f). No caso da cultivar Lupita, a proporção 60:40% de NO_3^- : NH_4^+ mostrou maior valor do teor de Fe (Figura 6d) e não houve diferença significativa entre as proporções para o elemento Mn na cultivar Lupita (Figura 6f).

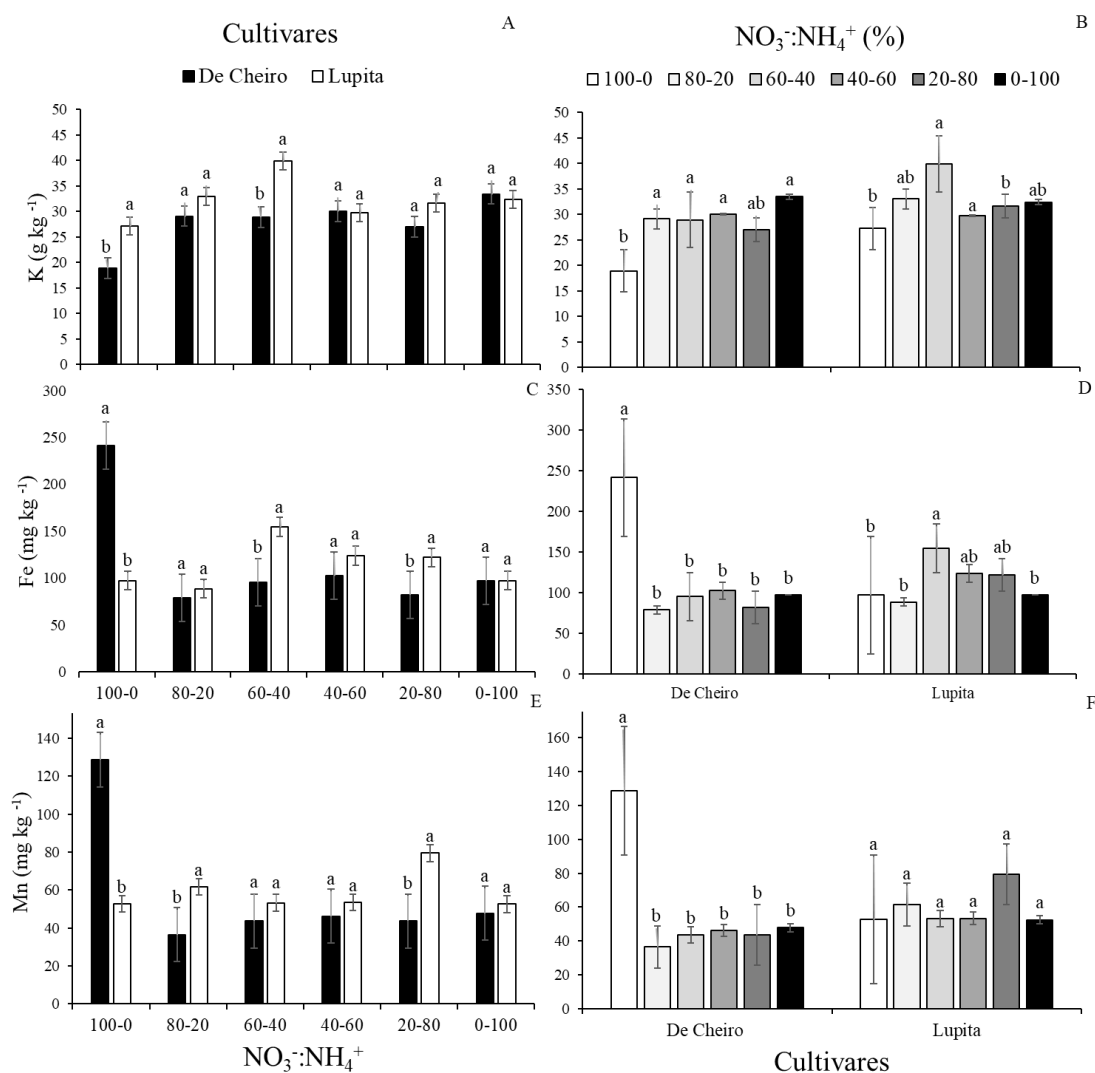


Figura 6 - Efeito da interação entre cultivar com proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ no teor de potássio - K (a, b) Ferro - Fe (c,d) e manganês - Mn (e,f) ($n = 4$) na parte aérea de pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N. Desdobramento de cultivares dentro de proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (a,c,e) e desdobramento de proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ dentro de cultivar (b,d,f). Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Não houve efeito significativo ($P < 0,05$) da interação entre as cultivares e as proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ nos teores de Ca e Mg na parte aérea, no entanto, apresentou efeito isolado do fator proporção (Figura 7). As plantas apresentaram os maiores teores de Ca e Mg na parte aérea na proporção 100:0% e os menores teores na proporção 0:100% (Figura 7a, b). Nas demais proporções não houveram diferenças.

Em relação ao efeito das proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ sobre o teor de Ca e Mg na parte aérea das plantas, observa-se que à medida que aumenta a proporção de N-NH_4^+ na mistura de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$, nota-se uma redução no teor tanto de Ca (Figura 7a) quanto de Mg (Figura 7b) na parte aérea das plantas de pimenta-de-cheiro.

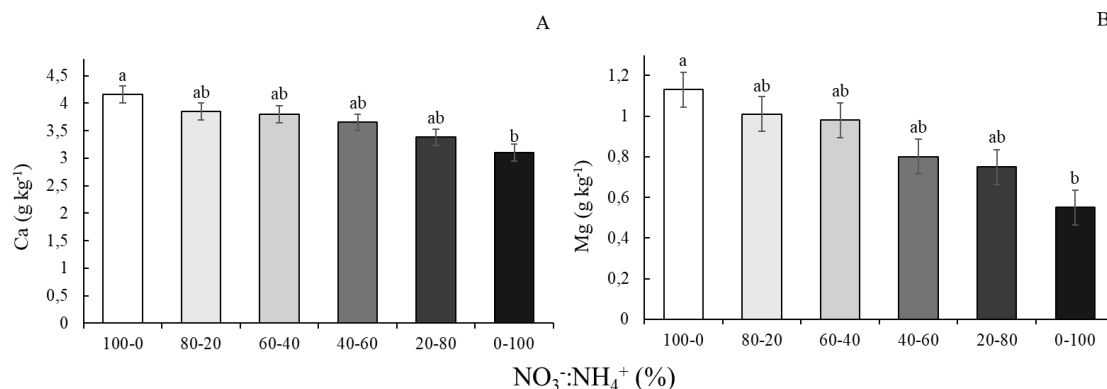


Figura 7 - Teor de cálcio - Ca(a) e magnésio - Mg(b) ($n = 4$) na parte aérea de pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N sob diferentes proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$. Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Quanto ao efeito do fator cultivar na variável teor de Cu na parte aérea das plantas, nota-se que a cultivar Lupita apresentou maior concentração deste elemento na parte das plantas de pimenta-de-cheiro comparativamente a cultivar De cheiro (Figura 8).

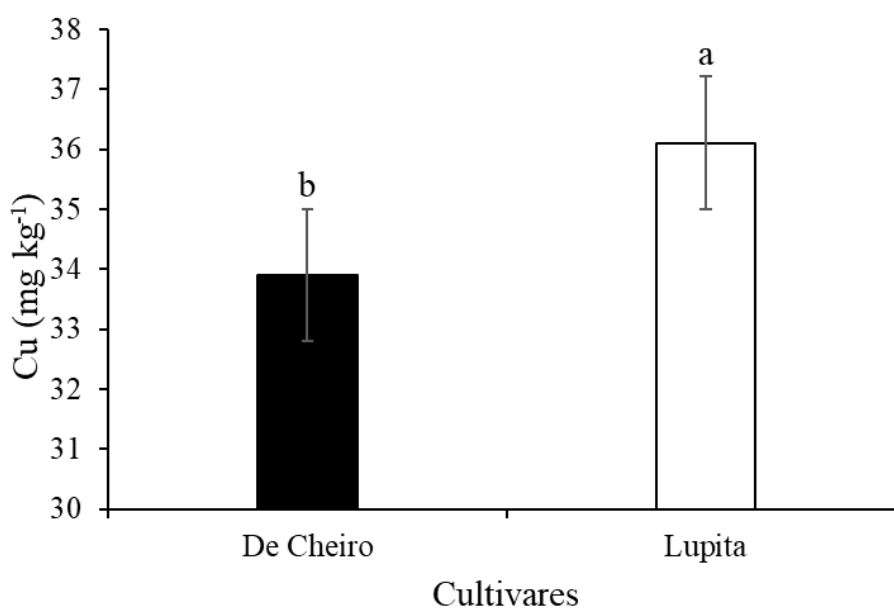


Figura 8 - Efeito da cultivar no teor de cobre (Cu) ($n = 4$) na parte aérea de plantas de pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N. Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Quanto ao teor de nutrientes nas raízes das plantas, notamos que houve interação significativa ($P < 0,05$) entre os fatores cultivar e proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ para os elementos P, K, Ca e Mg (Figura 9).

Em relação elemento P, observa-se que a cultivar De cheiro apresentou o maior valor de teor de P na proporção de 100:0% $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (Figura 9a). Quando avaliou o efeito das proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ dentro de cada cultivar, nota-se que não há diferença significativa entre as proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ para a cultivar De cheiro mas na cultivar Lupita, o valor do teor de P foi observado na proporção 40:60% de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ e, o menor valor foi proporcionado na proporção com mais predominância de N- NO_3^- (100:0%) (Figura 9b). Quando avaliou a resposta do teor de K, observa-se que a cultivar De cheiro apresentou os maiores valores de teor de K nas proporções intermediárias de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$, de modo geral. Enquanto que a cultivar Lupita apresentou valor de teor de K superior a cultivar De cheiro, apenas na proporção com maior predominância de N- NO_3^- (Figura 9c). Verificando o efeito das proporções dentro de cada cultivar, nota-se as proporções extrema 100:0 e 0:100% de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ contribuíram com os menores valores dentro da cultivar De cheiro (Figura 9d), por outro lado, não houve diferença significativa das proporções dentro da cultivar Lupita (Figura 9d).

Em relação ao teor de Ca nas raízes, observa-se que a cultivar De cheiro apresenta os maiores valores nas proporções com maior predominância de N- NO_3^- e, não havendo diferença significativa entre as cultivares proporções com maior predominância de N- NH_4^+ (Figura 9e). Mas ao desdobrar o efeito do fator proporções dentro do fator cultivar, observa-se que a proporção 100:0 e 0:100 % de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ apresentaram o maior e menor valor do teor de Ca, respectivamente (Figura 9f). Enquanto que na cultivar Lupita, a proporção 40:60% de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ mostrou o menor valor do teor de Ca e as demais proporções não diferenciaram significativamente entre si (Figura 9f).

No caso do teor de Mg, depreende-se que a cultivar De cheiro apresentou o maior valor da concentração de Mg nas raízes comparativamente a cultivar Lupita, nas proporções com maior predominância de N- NO_3^- (100:0 e 80:20%) de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ e não houve diferença significativa entre as cultivares nas demais proporções (Figura 9g). Avaliando o efeito das proporções de de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ dentro de cada cultivar, observa-se que a proporção 100:0 e 0:100% de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ apresentaram o maior e menor valor do teor de Mg, respectivamente. Esse padrão de resposta foi independente da cultivar na cultivar (Figura 9h).

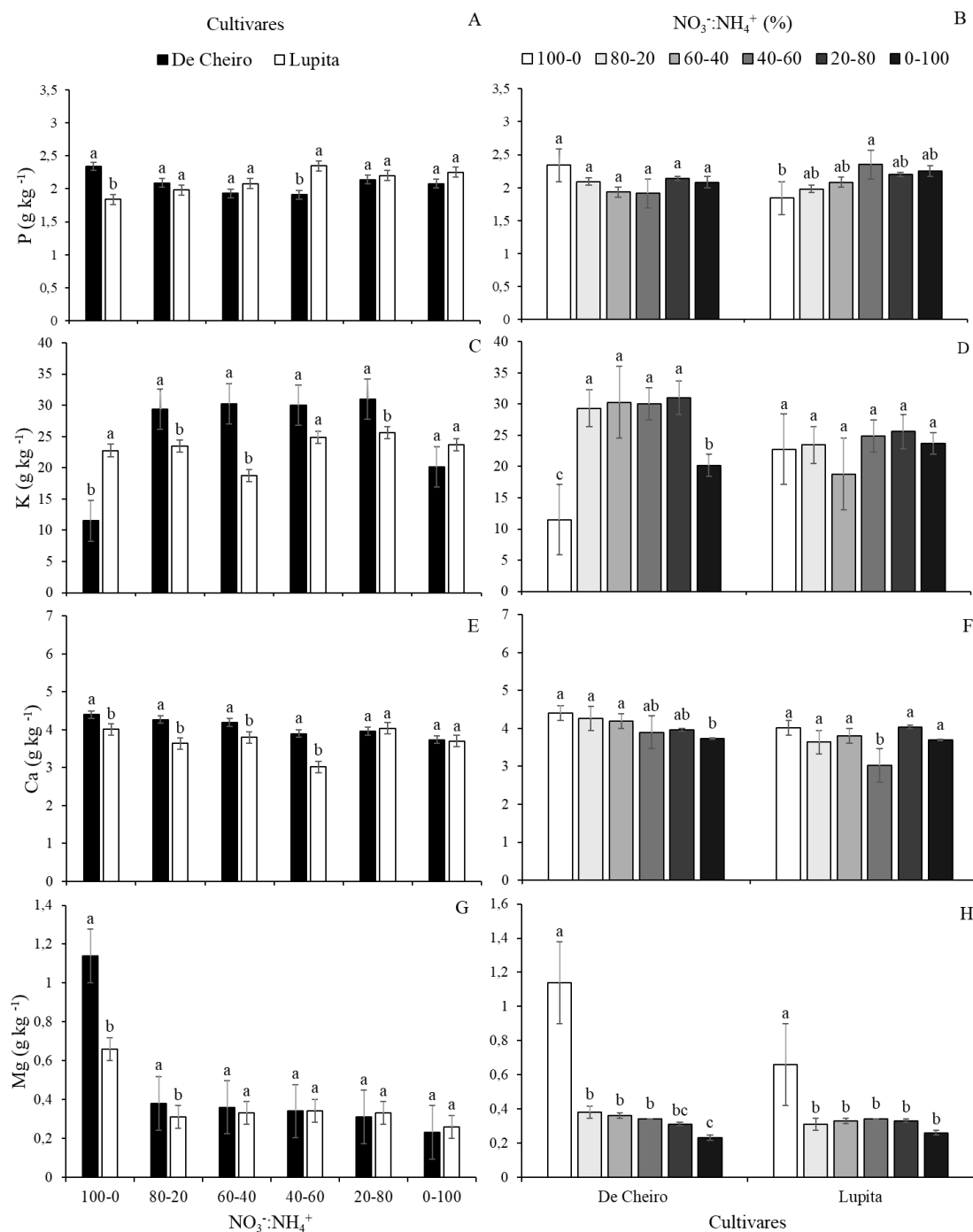


Figura 9 - Efeito da interação entre cultivar com proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ no teor de fósforo - P (a, b) potássio - K (c, d), cálcio - Ca (e, f) e magnésio - Mg (g, h) ($n = 4$) nas raízes de pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N. Desdobramento de cultivares dentro de proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (a, c, e, g) e desdobramento de proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ dentro de cultivar (b, d, f, h). Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Não houve efeito significativo ($P < 0,05$) da interação entre as cultivares e as proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ nos teores N na parte aérea e raízes, no entanto, apresentou efeito isolado do fator proporção e da cultivar (Figura 10).

Em relação ao teor de N nas raízes (Figura 10a), foi observado um padrão semelhante, em que a proporção 80:20% de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ proporcionou os maiores teores, enquanto as proporções 100:0 e 0:100% de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ resultaram nos menores teores de N. A cultivar De Cheiro apresentou maiores teores de N nas raízes em comparação a cultivar Lupita (Figura 10b).

Quanto ao teor de N na parte aérea (Figura 10c), a proporção 80:20% de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ promoveu os maiores teores, enquanto a proporção 40:60% de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ apresentou os menores teores da parte aérea de N. Não foram observadas diferenças significativas entre as cultivares quanto ao teor de N na parte aérea (Figura 10d).

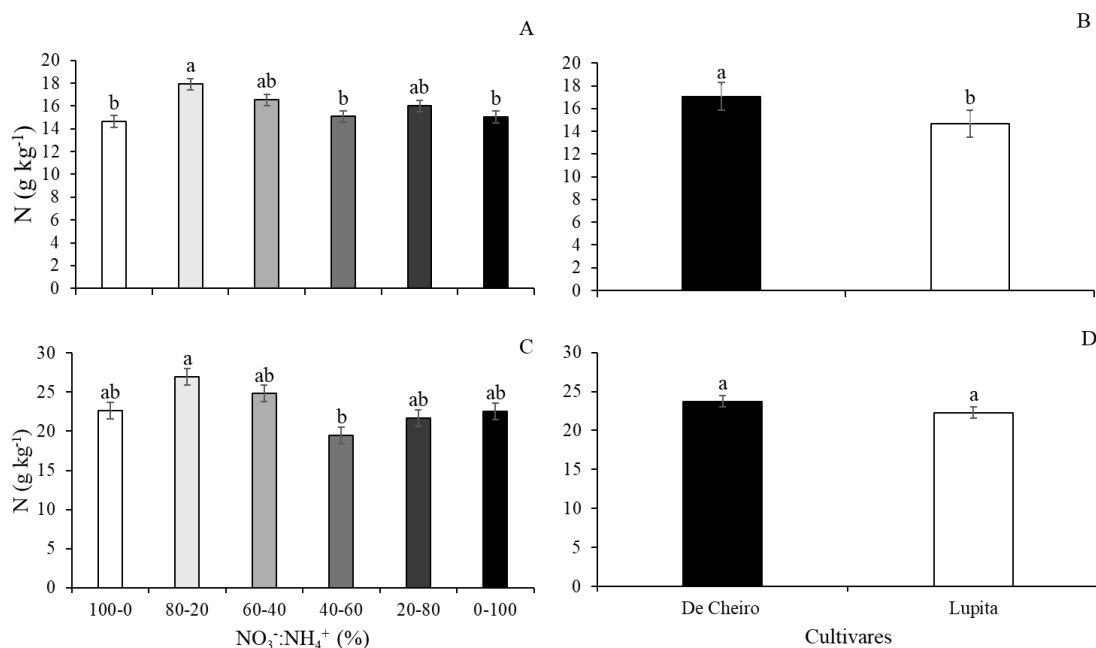


Figura 10 - Efeito da proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (a e c) e cultivar (b, d) no teor de nitrogênio (N) (n=4) nas raízes (a,b) e folhas (c,d) de pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N. Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente ($P<0,05$) pelo teste de Tukey.

4.3 Sintomas do estado nutricional

Nós observamos redução no crescimento da parte aérea das plantas, cloração verde claro (clorose) nas folhas mais velhas e redução área foliar aos 60 DAT nas plantas de pimenta-de-cheiro, além disso, notamos também um menor volume do sistema radicular aos 120 DAT nas plantas cultivadas no tratamento controle (sem o fornecimento de N), em ambas as cultivares (Figuras 11, 12 e 13). Por outro lado, não observamos sintomas visuais de deficiência de N nos tratamentos com diferentes proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (Figura 12 e 13). Nos tratamentos com

maior proporção de NH_4^+ comparado ao NO_3^- , seria esperado sintomas de toxicidade dessa forma de N, no caso de uma sensibilidade da espécie ou de alguma cultivar. Esses sintomas apareceriam como um menor crescimento, clorose foliar e maior relação raízes/parte aérea, redução de raízes novas, raízes com o interior oco, porém nenhuma dessas características foi observada nas plantas.



Figura 11 - Aspectos visuais das plantas de pimenta-de-cheiro “Cv. De Cheiro” cultivada por 120 dias com 300 mg N e diferentes proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (esquerda) e tratamento controle (direita).

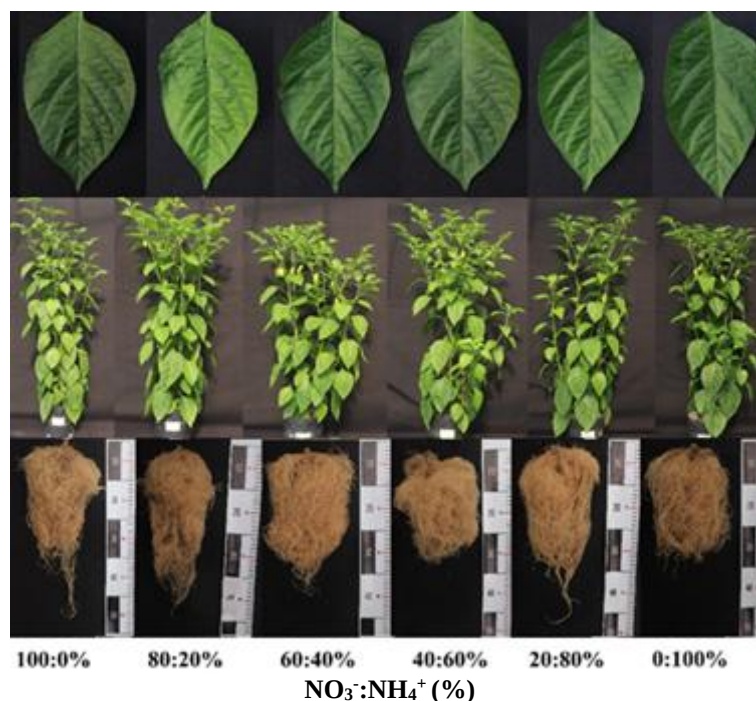


Figura 12 - Aspectos visuais das folhas (fileira superior), plantas (fileira do meio) e raízes (fileira inferior) de plantas de pimenta-de-cheiro “Cv. De Cheiro” cultivada por 120 dias com 300 mg N e diferentes proporções de $\text{NO}_3:\text{NH}_4^+$. As folhas: jovem e completamente desenvolvida, obtida no terço médio da planta.

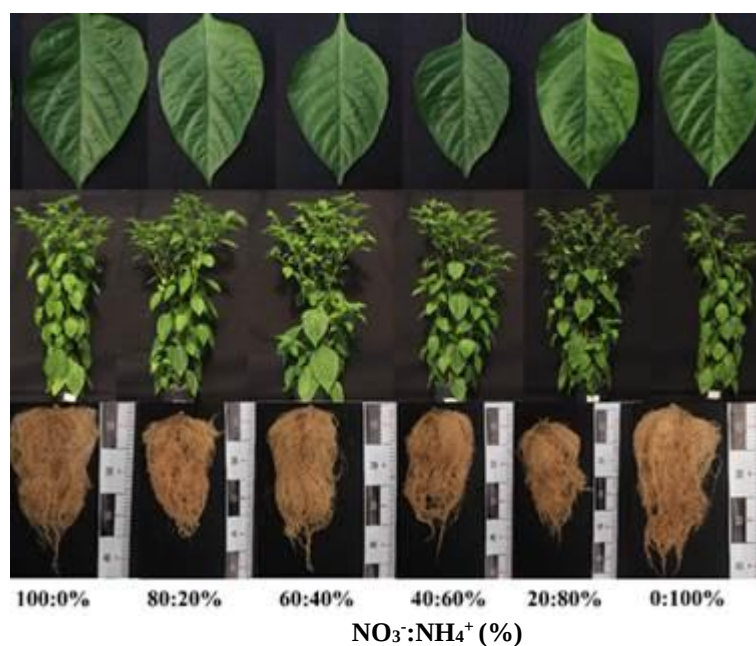


Figura 13 - Aspectos visuais das folhas (fileira superior), plantas (fileira do meio) e raízes (fileira inferior) de plantas de pimenta-de-cheiro “Cv. Lupita” cultivada por 120 dias com 300 mg N e diferentes proporções de $\text{NO}_3:\text{NH}_4^+$. As folhas: jovem e completamente desenvolvida, obtida no terço médio da planta.

4.4 Fluorescência da clorofila e Índice relativo de clorofila

Houve uma interação significativa ($P < 0,05$) do efeito dos fatores cultivar e proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ sobre os parâmetros de fluorescência da clorofila a Fv, Fm, Fv/Fm (Figura 14), PIabs, PItotal e no índice de clorofila relativo - ICR (Figura 15).

Para todos parâmetros de fluorescência da clorofila a e ICR, nota-se que nos tratamentos com maior proporção de NH_4^+ comparativamente ao NO_3^- , a cultivar Lupita apresentou um menor valor comparativamente a cultivar De cheiro (Figuras 14a,c,e; Figuras 15a,c,e) enquanto que para as demais proporções não houve diferença significativa entre as cultivares. Observa-se que houve diferença significativa das proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ apenas dentro da cultivar Lupita (Figura 14b,d,f). Sendo que a proporção 0:100% de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ proporcionou os menores valores dessas variáveis.

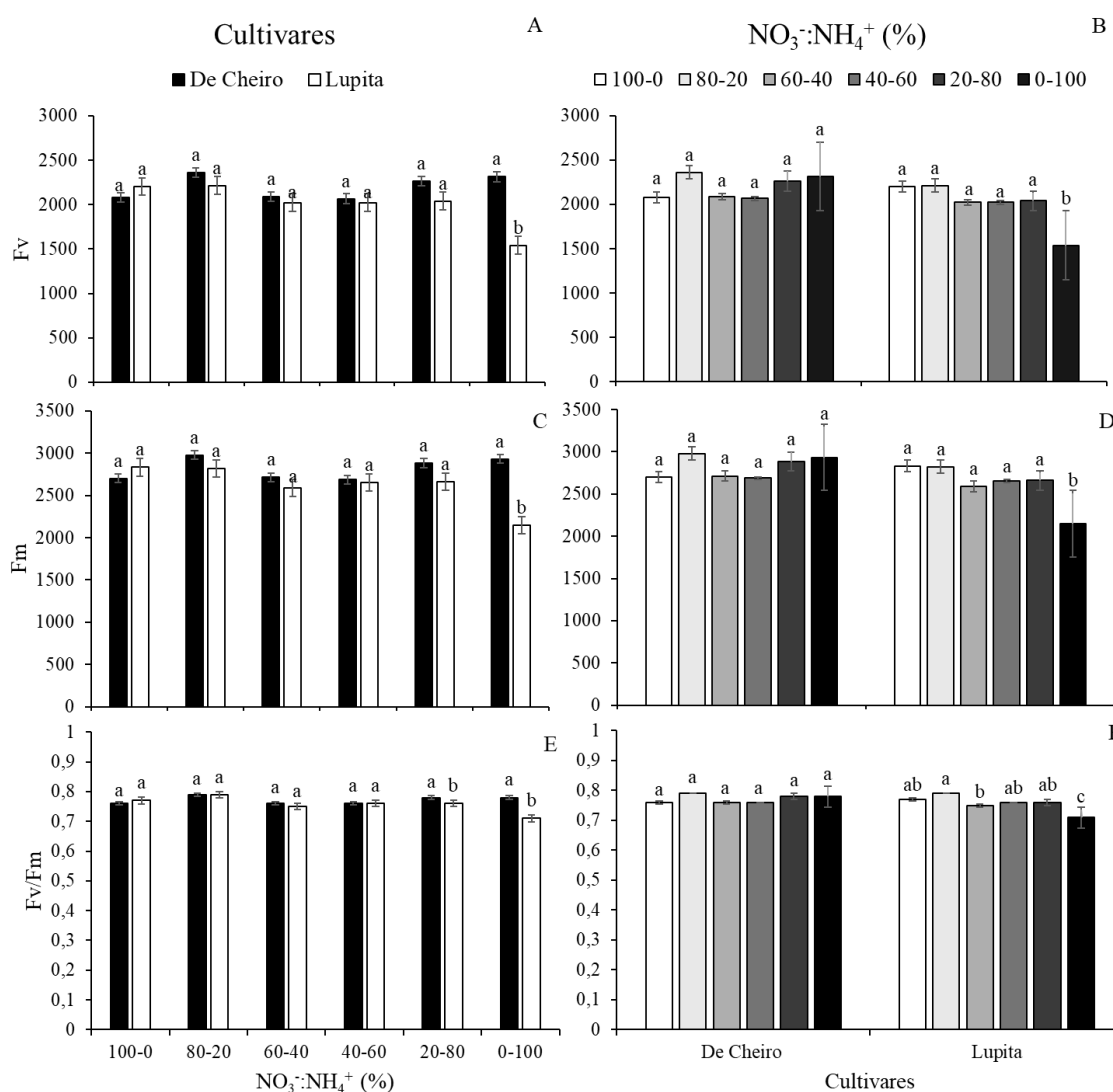


Figura 14 - Efeito da interação entre cultivar com proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ nos parâmetros da fluorescência da clorofila a : Fv (a, b), Fm (c,d) e Fv/Fm (e,f) ($n = 4$) nas folhas de plantas pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N. Desdobramento de cultivares dentro de proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (a,c,e) e desdobramento de

proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ dentro de cultivar (b,d,f). Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente ($P<0,05$) pelo teste de Tukey.

Por outro lado, ao desdobrar o efeito de proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ dentro de cultivares para os parâmetros de fluorescência da clorofila *a* PI_{abs} , PI_{total} (Figura 15b,d) e ICR (Figura 15f), nota-se que a diferença significativa entre as proporções é dependente da cultivar. Enquanto que as proporções 100:0; 60:40 e 40:60% de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ promoveram os menores valores na cultivar De cheiro, na cultivar Lupita o menor valor foi observado na proporção 0:100% de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ e as demais proporções não diferenciaram entre si para esta cultivar.

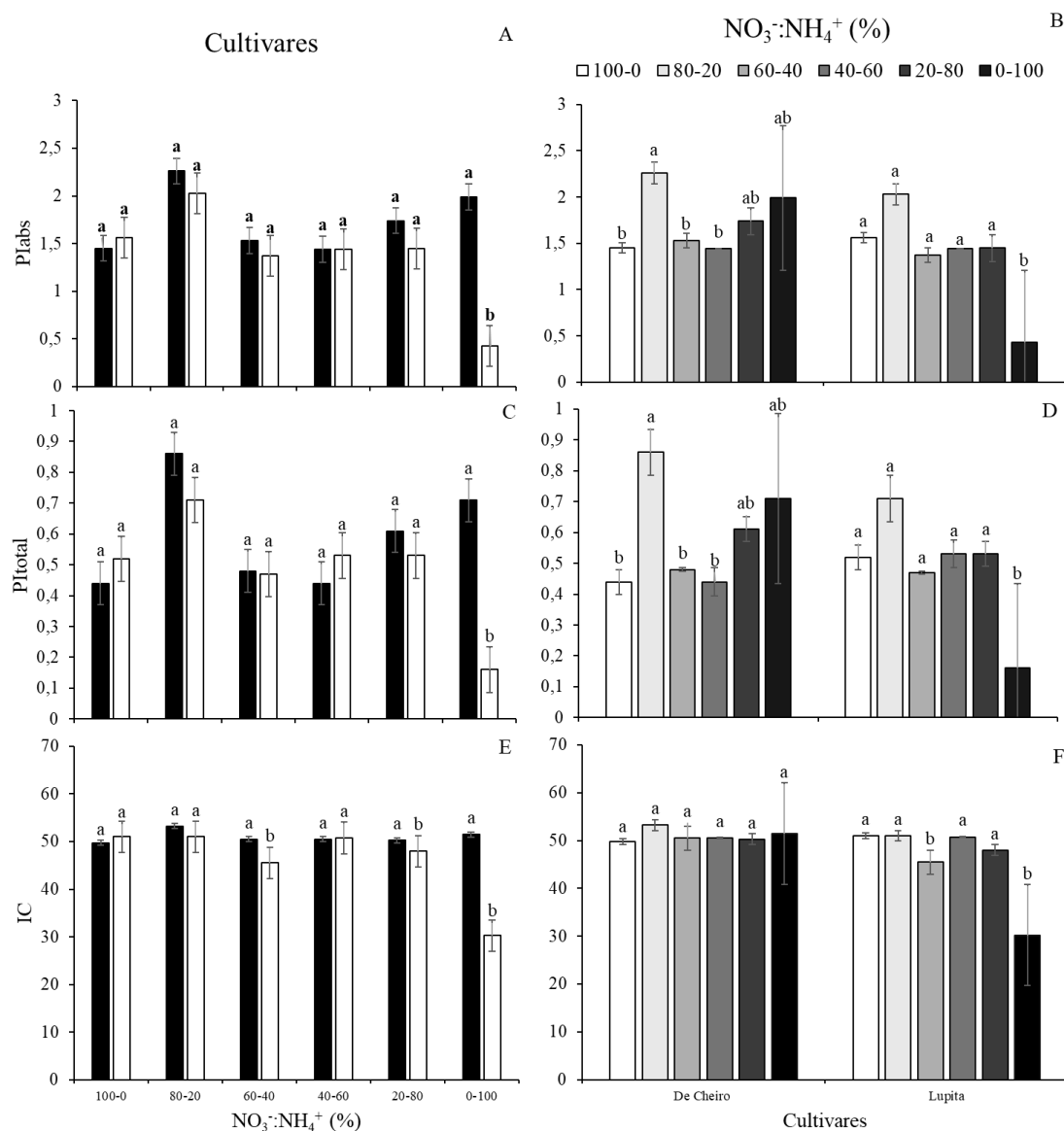


Figura 15 - Efeito da interação entre cultivar com proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ nos parâmetros da fluorescência da clorofila *a*: PIabs (a, b), PItotal (c,d) e IC (e,f) ($n = 4$) nas folhas de plantas pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N. Desdobramento de cultivares dentro de proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (a,c,e) e desdobramento de proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ dentro de cultivar (b,d,f). Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey.

4.5 Crescimento da planta

Houve uma interação significativa ($P < 0,05$) do efeito dos fatores cultivar e proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ sobre os parâmetros de crescimento diâmetro e matéria seca da parte aérea (MSPA) (Figura 16) e apenas efeito isolado dos fatores proporções e cultivares sobre a variável altura (Figura 17).

Em relação a variável D, observa-se que apenas na proporção 40:60% a cultivar De cheiro apresenta maiores valores comparado a cultivar Lupita (Figura 16a). Por outro lado, observa-se efeito dos fatores proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ somente dentro da cultivar De cheiro, onde as proporções 40:60 e 20:80% de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ proporcionaram o maior e menor valor do diâmetro, respectivamente (Figura 16b). Quanto a variável MSPA, percebe-se nas proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ equivalentes a 80:20 e 0:100%, a cultivar De cheiro apresentou os maiores valores de MSPA comparado a cultivar Lupita (Figura 16c). Ao desdobrar o efeito do fator proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ dentro do fator cultivar, nota-se o efeito ocorreu apenas dentro da cultivar Lupita, com as proporções 100:0 e 40:60% de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ apresentando os maiores valores e a proporção 0:100% de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ contribuindo com o menor valor (Figura 16d).

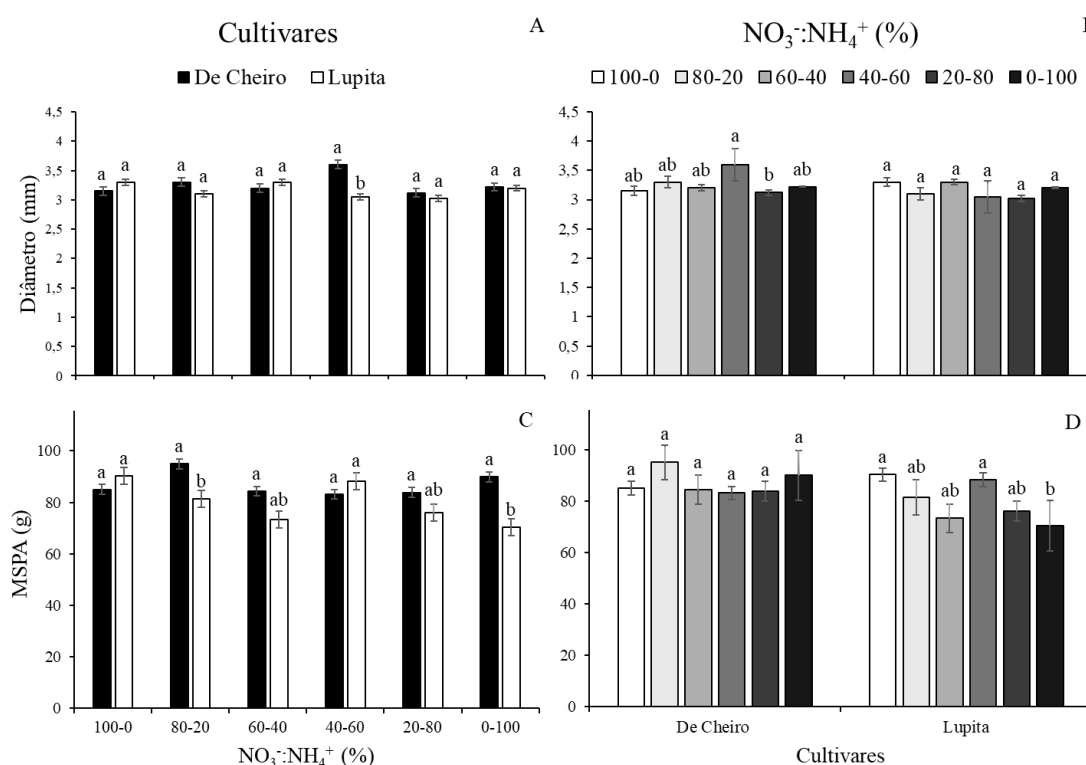


Figura 16 - Efeito da interação entre cultivar com proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ no diâmetro - D(a,b) e matéria seca da parte aérea - MSPA(c,d) ($n = 4$) de plantas pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N. Desdobramento de cultivares dentro de proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (a,c) e desdobramento de proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ dentro de cultivar (b,d). Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Em relação a variável altura (H), observa-se que as proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ com maior (100:0%) e menor (0:100%) predominância de NO_3^- contribuíram com o maior e menor valor de H, respectivamente (Figura 17a), enquanto que as demais proporções não diferenciaram

significativamente entre si. Quanto ao efeito do fator cultivar na variável H, a cultivar De cheiro proporcionou maior valor comparativamente a cultivar Lupita (Figura 17b).

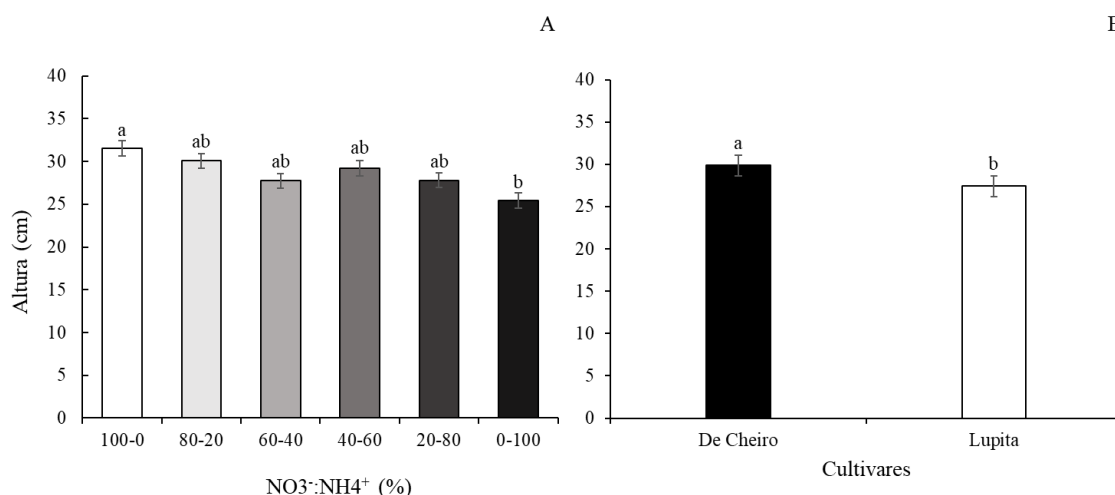


Figura 17 - Efeito da proporção de NO₃⁻:NH₄⁺ (a) e cultivar (b) na altura (n=4) das plantas de pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N. Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey.

4.6 Teor de prolina na parte aérea e raízes

Houve uma interação significativa ($P < 0,05$) do efeito do fator cultivar com o fator proporção de NO₃⁻:NH₄⁺ sobre o teor de prolina nas folhas (Figura 18) e apenas efeito isolado dos fatores proporções e cultivar sobre o teor de prolina nas raízes (Figura 19).

Em relação ao teor de prolina na folha, observa-se que a resposta da cultivar foi dependente da proporção de NO₃⁻:NH₄⁺, sendo que na proporção 80:20% de NO₃⁻:NH₄⁺ a cultivar De Cheiro apresentou o maior valor deste aminoácido comparado a cultivar Lupita, por outro lado nas proporções 60:40 e 20:80% de NO₃⁻:NH₄⁺ a maior concentração de prolina foi observada na cultivar Lupita (Figura 18a). Desdobrando o efeito do fator proporção de NO₃⁻:NH₄⁺ dentro do fator cultivar, nota-se que a resposta varia para conforma cada cultivar. Dessa forma, dentro da cultivar De cheiro as proporções 40:60 e 0:100% de NO₃⁻:NH₄⁺ apresentaram o maior e menor valor, respectivamente. Enquanto que na cultivar Lupita o maior valor de prolina foi observado na proporção 60:40% e o menor valor foi encontrado nas proporções 100:0, 80:20 e 0:100% (Figura 18b).

Quanto ao efeito dos tratamentos na concentração de prolina nas raízes, observa-se que as proporções 100:0 e 60:40% de NO₃⁻:NH₄⁺, proporcionaram os maiores valores de prolina enquanto que a proporção 0:100% de NO₃⁻:NH₄⁺ contribuiu com o menor valor (Figura 19a). Em relação ao efeito da cultivar, observa-se que o maior teor de prolina nas raízes foi proporcionado pela cultivar Lupita comparativamente a cultivar De cheiro (Figura 19b).

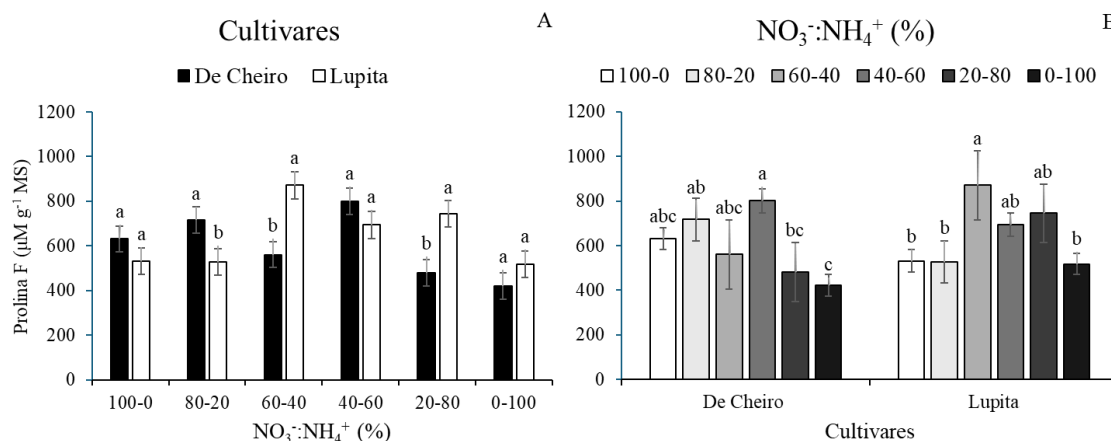


Figura 18 - Efeito da interação entre cultivar com proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ no teor de prolina ($n = 4$) nas folhas de plantas pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N. Desdobramento de cultivares dentro de proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (a) e desdobramento de proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ dentro de cultivar (b). Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey.

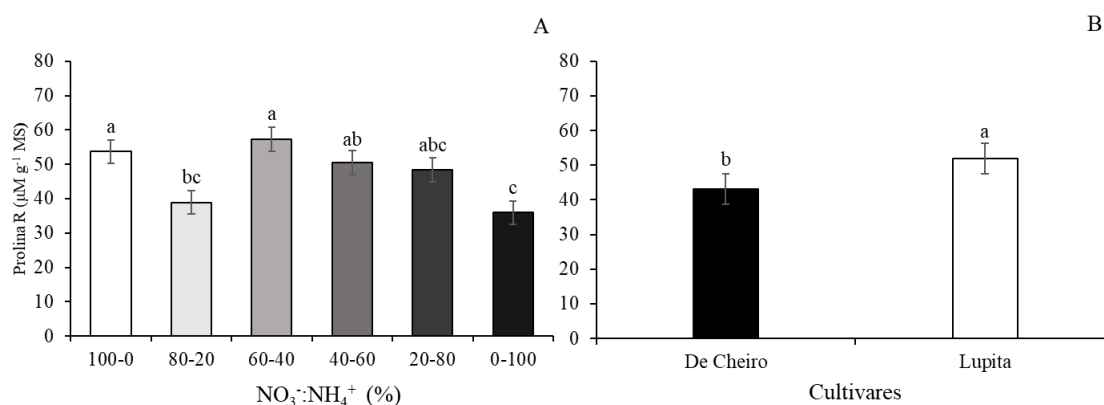


Figura 19 - Efeito da cultivar (a) e proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (b) no teor de prolina ($n=4$) nas raízes de plantas de pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N. Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey.

4.7 Atividade da nitrato redutase

Quanto a atividade da enzima redutase do nitrato (NR), observa-se que a resposta da cultivar foi dependente da proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$, sendo que na proporção 80:20 e 40:60% $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$, a cultivar De Cheiro apresentou a maior atividade da enzima, enquanto que nas proporções 100:0, 60:40 e 20:80% de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$, a cultivar Lupita proporcionou os maiores valores da atividade da enzima RN comparativamente a cultivar De cheiro (Figura 20a). Por outro lado, nas proporções 60:40 e 20:80% de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ a maior concentração de prolina foi observada na cultivar Lupita (Figura 20a). Desdobrando o efeito do fator proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ dentro do fator cultivar, nota-se que a resposta varia para conforma cada cultivar. Dessa

forma, dentro da cultivar De cheiro a proporção 80:20% de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ mostrou o maior valor de atividade e, por outro lado, as proporções 100:0, 60:40 e 0:100% de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ indicaram os menores valores. No caso da cultivar Lupita, nota-se que os resultados foram bastante distintos em relação a primeira cultivar, com as proporções 100:0 e 20:80% de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ apresentaram os maiores valores, enquanto que demais proporções não diferenciaram significativamente entre si (Figura 20b).

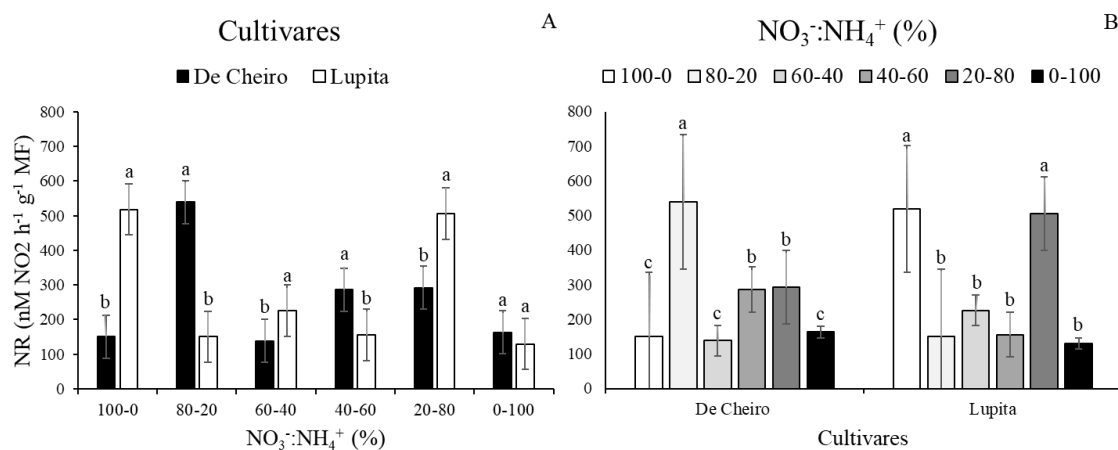


Figura 20 - Efeito da interação entre cultivar com proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ na atividade da enzima redutase do nitrato (RN) ($n = 4$) nas folhas de plantas pimenta de cheiro, cultivada por 120 dias com 300 mg de N. Desdobramento de cultivares dentro de proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (a) e desdobramento de proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ dentro de cultivar (b). Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey.

5 DISCUSSÃO

O presente estudo apresentou os efeitos das diferentes proporções de NO_3^- e NH_4^+ e os diferentes efeitos nas cultivares Lupita e De Cheiro da pimenta-de-cheiro. As diferentes proporções de NO_3^- e NH_4^+ não demonstraram sintomas visuais de deficiência nos tratamentos. Porém, a ausência de adubação nitrogenada comprometeu o desenvolvimento das cultivares.

Os acúmulos e teores de N na parte aérea e raízes foram superiores na proporção de 80:20% de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$, uma combinação entre as formas de N com maior proporção de NO_3^- . A cultivar De Cheiro demonstrou os maiores acúmulos e teores de N na parte aérea e raízes.

A absorção de Ca e Mg na parte aérea foi maior em proporções com maiores disponibilidades de NO_3^- . Esta maior disponibilidade de NO_3^- no solo pode favorecer a absorção de Ca e Mg pelas plantas, devido à necessidade de manter o equilíbrio iônico (Ueda; Konish; Yanagisawa, 2017). A absorção de Fe e Mn na parte aérea foi maior com o uso exclusivo de NO_3^- na cultivar De Cheiro, no entanto, esse padrão não foi observado na cultivar Lupita. Segundo Borges (2009), a disponibilidade de Mn pode ser influenciada significativamente pela relação $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ na solução nutritiva, sendo que proporções mais elevadas de NO_3^- favorecem a absorção de Mn, enquanto proporções maiores de NH_4^+ reduzem os sintomas de toxicidade, mesmo em concentrações foliares elevadas.

Em relação a concentração de nutrientes nas plantas, os teores da parte aérea estavam dentro da faixa considerada adequada para o crescimento adequado em todas as proporções de NO_3^- e NH_4^+ , exceto Cu e Mn que foram superiores à média adequada (Epstein 1965; Epstein & Bloom, 2005; Brown et al., 1987b). Os teores de N na parte aérea e das raízes estavam dentro da faixa adequada em todas as proporções, 20-50 g N kg^{-1} na parte aérea e 10-20 g N kg^{-1} nas raízes, exceto no tratamento controle, que apresentou teores inferiores na parte aérea. (Marschner, 2012). Os sintomas de deficiência observados no tratamento sem fornecimento de N evidenciam a necessidade de estabelecer aplicações específicas de N durante a fase de crescimento da pimenta-de-cheiro.

Os teores de nutrientes apresentaram resultados semelhantes a absorção, com maiores teores de Fe e Mn na proporção com maior concentração de NO_3^- . Nos teores da parte aérea, o Cu apresentou efeito no fator cultivar, com a Lupita obtendo as maiores teores de Cu.

Em relação aos efeitos das formas de N no crescimento da pimenta-de-cheiro, as proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ não diferem entre si, exceto na proporção que tem apenas amônio, que ocasionou nas menores médias de altura, e as combinações (80:20, 60:40, 40:60 e 20:80%) entre estas duas formas apresentaram efeitos no crescimento em altura, diâmetro do caule e MSPA.

A utilização de uma fonte combinada de nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) pode reduzir as limitações associadas ao fornecimento exclusivo de cada uma dessas formas de nitrogênio. Esse fornecimento misto contribui para a manutenção da estabilidade do pH tanto no ambiente quanto no interior das células, favorece a absorção de nutrientes essenciais e promove um balanço eficiente na assimilação do nitrogênio pelas plantas (Li et al., 2013; Mantovani et al., 2018). Além disso, a presença de NO_3^- tem sido associada à redução da toxicidade potencial causada pelo NH_4^+ , ao mesmo tempo em que estimula o crescimento. Esses efeitos, no entanto, variam conforme a proporção entre NO_3^- e NH_4^+ utilizada e a espécie vegetal considerada (Walch-Liu, 2008; Britto & Kronzucker, 2002; Sun, 2023).

As diferentes proporções de NO_3^- e NH_4^+ influenciaram significativamente os parâmetros fotossintéticos (F_v , F_m , F_v/F_m) e o índice de clorofila (IC) das folhas de pimenta-de-cheiro, evidenciando a sensibilidade das cultivares as formas de N. A cultivar De Cheiro destacou-se por apresentar maior estabilidade dos parâmetros de fluorescência mesmo com 100% de NH_4^+ , o que indica uma possível tolerância fisiológica ao amônio. No entanto, a cultivar Lupita apresentou queda acentuada em F_v e F_m nessa mesma proporção, sugerindo um efeito tóxico do NH_4^+ para esta cultivar, especialmente na ausência de NO_3^- . Esse comportamento demonstra que proporções elevadas com NH_4^+ promoveram problemas fisiológicos na cultivar Lupita, como clorose foliar, além da redução da atividade fotossintética, o que pode ser atribuídos ao acúmulo de NH_4^+ , causando desbalanço hormonal e inibição da fotossíntese (Li et al., 2013; Sun et al., 2023).

A eficiência quântica máxima do PSII (F_v/F_m), é utilizada como indicador do estado das folhas, permitindo avaliar se estão saudáveis. Neste estudo, os valores obtidos variaram de 0,76 a 0,79, dentro da faixa considerada ideal para folhas sadias (0,75 a 0,85), conforme estabelecido por Osmond (1994). Ainda assim, pequenas variações nessa razão, como o menor valor na cultivar Lupita na proporção 0:100%, podem sinalizar um estresse.

A análise do índice de desempenho fotossintético (PI_{abs} e PI_{total}) revelou que a cultivar De Cheiro apresentou maior eficiência nos tratamentos extremos, especialmente na proporção 0:100%. Esse resultado sugere que essa cultivar apresenta uma capacidade adaptativa superior em ambientes com alta concentração de amônio (NH_4^+). Por outro lado, a cultivar Lupita foi mais sensível, apresentando valores mais baixos de PI_{abs} , PI_{total} e IC na mesma proporção (0:100). Estudos anteriores destacam que PI_{total} e PI_{abs} são utilizados para avaliar a intensidade do estresse abiótico em diversas espécies vegetais, plantas submetidas a estresses abióticos, como alta salinidade e calor, apresentam reduções acentuadas nos valores de PI_{abs} e

PItotal, indicando prejuízos na fotossíntese (Alyammahi & Gururani, 2020; Mehta et al., 2010; Oukarroum et al., 2012).

A diferença na resposta entre cultivares ressalta a importância de se considerar a forma preferencial de absorção de nitrogênio. Estudos anteriores já indicaram que plantas adaptadas a solos mais ácidos tendem a preferir NH_4^+ , enquanto aquelas de ambientes menos ácidos favorecem o NO_3^- (Li et al., 2013; Rosado et al., 2024).

O índice de clorofila (IC), indicador direto do *status* nutricional das folhas, mostrou que as maiores concentrações ocorreram sob proporções intermediárias de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$, e a cultivar Lupita apresentou os piores índices na proporção 0:100%, demonstrando que NH_4^+ em excesso pode reduzir os níveis de clorofila a e b (Mantovani et al., 2018). No entanto, a cultivar De Cheiro não apresentou o mesmo padrão de respostas com NH_4^+ exclusivo.

Os teores de prolina, tanto foliar quanto radicular, apresentaram variações significativas em resposta às diferentes proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ e entre as cultivares avaliadas. A prolina é um aminoácido amplamente reconhecido como marcador fisiológico de estresse osmótico. (Ashraf & Foolad, 2007).

Na presente pesquisa, a cultivar Lupita apresentou maiores teores de prolina foliar nas proporções intermediárias de 60:40 e 20:80%, enquanto De Cheiro teve o maior de acúmulo na proporção 80:20%. A sensibilidade da cultivar Lupita, evidenciada pelos maiores teores de prolina na raiz e na folha, sugere uma ativação mais intensa dos mecanismos de defesa, possivelmente por menor eficiência na assimilação direta de NH_4^+ (Li et al., 2013; Britto & Kronzucker, 2002).

De modo geral, a proporção 0:100% ($\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$) promoveu os menores teores de prolina, tanto foliar quanto radicular, podendo ser o nível de estresse da planta, limitando a capacidade de resposta metabólica, ou esse resultado pode refletir um problema dos mecanismos de defesa em função da toxicidade do NH_4^+ , (Zhou et al., 2019).

A atividade da enzima nitrato redutase (NR) foi significativamente influenciada pelas proporções de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$, variando também entre as cultivares De Cheiro e Lupita. Essa enzima é fundamental no processo de assimilação do nitrato, convertendo-o em nitrito na etapa inicial da incorporação do nitrogênio inorgânico ao metabolismo vegetal (Campbell, 1999).

Os dados mostram que a cultivar De Cheiro apresentou maior atividade de NR nas proporções 80:20 e 40:60%, enquanto a cultivar Lupita teve maiores valores em 100:0, 60:40 e 20:80%, indicando que essa cultivar pode responder positivamente as proporções com predominância de NO_3^- , inclusive quando há presença moderada de NH_4^+ . Essa variação evidencia que a indução da NR depende não apenas da presença de NO_3^- , mas também do

equilíbrio iônico e metabólico promovido por proporções mistas com NH_4^+ , que podem estimular ou suprimir sua atividade dependendo da cultivar. A atividade de NR é fortemente dependente da disponibilidade de nitrato, e os níveis moderados de NO_3^- com NH_4^+ em proporções como 80:20 ou 60:40% podem atuar em conjunto, promovendo maior atividade enzimática.

A menor atividade de NR observada na proporção com 100% NH_4^+ (0:100) indica que o efeito inibitório dessa forma de N sobre a enzima, provavelmente devido aos efeitos tóxicos associados ao excesso de amônio, como acidificação do citoplasma e desbalanços iônicos (Britto & Kronzucker, 2002).

6 CONCLUSÕES

A combinação de NO_3^- e NH_4^+ mostrou-se mais eficiente do que o uso isolado de uma única fonte de nitrogênio. As proporções 60:40 e 80:20%, promoveram melhores desempenhos em absorção de nutrientes, atividade da nitrato redutase e desempenho fotossintético. A cultivar De Cheiro demonstrou maior tolerância ao NH_4^+ , e a cultivar Lupita foi mais sensível a essa forma de nitrogênio, especialmente na ausência de NO_3^- . A atividade da nitrato redutase variou conforme a proporção e a cultivar, com os maiores valores em proporções com predominância de NO_3^- , e favorecida por proporções mistas que incluíam NH_4^+ em níveis moderados. A menor atividade foi observada em 100% de NH_4^+ , indicando o efeito inibitório dessa forma sobre a enzima. A ausência de nitrogênio (controle) e o fornecimento exclusivo de NH_4^+ (0:100%) foram os tratamentos mais limitantes ao crescimento, à fotossíntese e ao equilíbrio fisiológico, revelando que ambas as cultivares respondem negativamente as condições extremas.

7 REFERÊNCIAS

- ALYAMMAHI, O.; GURURANI, M., A. Chlorophyll-a fluorescence analysis reveals differential response of photosynthetic machinery in melatonin-treated oat plants exposed to osmotic stress. **Agronomy**, v. 10, n. 10, p. 1520, 2020.
- ALT, D. S., J. W. DOYLE, and A. MALLADI. 2017. Nitrogen-source preference in blueberry (*Vaccinium* sp.): Enhanced shoot nitrogen assimilation in response to direct supply of nitrate. *Journal of Plant Physiology* 216:79–87. doi: 10.1016/j.jplph.2017.05.014.
- ASHRAF, M., & FOOLAD, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2), 206–216. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006>
- BANG, T. C. DE., PERSSON D.P., SCHJOERRING J.K. Tansley review The molecular – physiological functions of mineral macronutrients and their consequences for deficiency symptoms in plants. **New Phytologist**, v. 229, n. 5, p. 2446-2469, 2021.
- BLOOM, A. J.; JACKSON, L. E.; SMART, D. R. Root growth as a function of ammonium and nitrate in the root zone. **Plant, Cell & Environment**, v. 16, n. 2, p. 199-206, 1993.
- BORGES, A., L.; COELHO, E., F.; TRINDADE, A. V. **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2009.
- BRITTO, D. T., & KRONZUCKER, H. J. (2002). NH_4^+ toxicity in higher plants: A critical review. *Journal of Plant Physiology*, 159(6), 567–584. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-0774>
- CAMPBELL, W.H. (1999). Nitrate reductase structure, function and regulation: bridging the gap between biochemistry and physiology. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 50(1), 277–303. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.50.1.277>
- CARVALHO, S.I.C.; BIANCHETTI, L.B.; RIBEIRO, C.S.C.; LOPES, C.A. **Pimentas do gênero *Capsicum* no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 27 p, 2006.
- CHEN, P.; XU, J.; ZHANG, Z.; NIE, T. 'Preferential' ammonium uptake by rice does not always turn into higher N recovery of fertilizer sources under water-saving irrigation. **Agricultural Water Management**, [S.l.], v. 269, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107867>. Acesso em: 1 maio 2025.
- CRAWFORD, N.M. (1995) Nitrate: nutrient and signal for plant growth. **The Plant Cell**, Rockville. 7: 859-868.
- Cruz, M. D. C. M. D., Siqueira, D. L. D., Salomão, L. C. C., & Cecon, P. R. Fluorescência da clorofila a em folhas de tangerineira 'Ponkan' e limeira ácida 'Tahiti' submetidas ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, p. 896-901, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ª ed. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos - Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006, 306 p.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Improving nutrient use efficiency of annual crops in Brazilian acid soils for sustainable crop production. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 32, p. 1303-1319, 2001.

FILGUEIRA, F.A.R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 2.ed. Viçosa: UFV, 2003. 412p.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; SKRUMSAGER MOLLER, I.; WHITE, P. 2012. **Functions of macronutrients**. In: Marschner P. (Eds) Mineral nutrition of higher plants. Elsevier Ltd., 189p.

JAWORSKI, E.G. **Nitrate Reductase Assay in Intact Plant Tissues**. Biochemical and Biophysical Research Communications, 43, 1274-1279, 1971.

KRAPP, A.; DAVID, L. C.; CHARDIN, C.; GIRIN, T.; MARMAGNE, A.; LEPRINCE, A. S.; DANIEL-VEDELE, F. Nitrate transport and signalling in *Arabidopsis*. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, p. 789-798, 2014.

KONNERUP, D. E BRIX, H. Nitrogen nutrition of *Canna indica*: Effects of ammonium versus nitrate on growth, biomass allocation, photosynthesis, nitrate reductase activity and N uptake rates. **Aquatic Botany**. 92: 142–148, 2010.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2. Ed, São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 218p.

LEVENE, H. Robust testes for equality of variances. In: OLKIN, I (Ed.). **Contributions to Probability and Statistics**. Palo Alto, CA: Stanford University Press, 1960. p. 278– 292

LI, B.; McKEAND, S.E. & ALLEN, H.L. **Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings**. For. Sci., 37:613-626, 1991.

LI, S. X.; WANG, Z. H.; STEWART, B. A. Responses of crop plants to ammonium and nitrate N. **Advances in agronomy**, v. 118, p. 205-397, 2013.

MAGALHAES, J. R.; HUBER, D. M. Response of ammonium assimilation enzymes to nitrogen form treatments in different plant species. **Journal of Plant Nutrition**, v. 14, n. 2, p. 175-185, 1991.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral das plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980, 251p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba, Potafos, 1997. 319p.

MANTOVANI, C., PRADO, R.M., & PIVETTA, K.F.L. (2018). Impact of nitrate and ammonium ratio on nutrition and growth of two epiphytic orchids. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, 90(3), 3423–3431. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820170954>

MARSCHNER, Petra. Rhizosphere biology. In: **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. Academic Press, 2012. p. 369-388.

MEHTA, P., JAJOO, A., MATHUR, S., & BHARTI, S. Chlorophyll a fluorescence study revealing effects of high salt stress on Photosystem II in wheat leaves. **Plant physiology and biochemistry**, v. 48, n. 1, p. 16-20, 2010.

MENGEL, Konrad et al. The soil as a plant nutrient medium. **Principles of plant nutrition**, p. 15-110, 2001.

MILLER, A.J. E CRAMER, M.D. Root nitrogen acquisition and assimilation. **Plant Ecophysiology**, Paranaque. 2005. 4: 1-36.

MOREIRA, A., FAGERIA, N.K. Soil Chemical Attributes of Amazonas State, Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. 2009. 40: 2912–2925.

MOREIRA, A., TEIXEIRA, P.C., ZANINETTI, R.A., Júnior, C.G.P. 2010. **Fertilizantes e Corretivo da Acidez do Solo em Pimenta-de- Cheiro (*Capsicum chinense*) Cultivada no Estado do Amazonas (1a Aproximação)**. Embrapa Amazônia Ocidental.:18.

OSMOND, C., B. What is photoinhibition? Insights from comparisons of shade and sun plants. **Photoinhibition of photosynthesis from molecular mechanisms to the field**, 1994.

OUKARROUM, A.; EL MADIDI, S.; STRASSER, R. J. Exogenous glycine betaine and proline play a protective role in heat-stressed barley leaves (*Hordeum vulgare* L.): a chlorophyll a fluorescence study. **Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology**, v. 146, n. 4, p. 1037-1043, 2012.

PASSOS, L. P., REIS, P. R. C., LIMA, L. C. R. D. S., SOUZA SOBRINHO, F. D., & SILVA, J. C. J. D. Comparative effects of ammonium and nitrate ions on growth and uptake of multiple elements of ruzigrass. **Journal of Plant Nutrition**, v. 46, n. 14, p. 3370-3384, 2023.

PÉLISSIER, P.-M.; PARIZOT, B.; JIA, L.; DE KNIJF, A.; GOOSSENS, V.; GANTET, P.; CHAMPION, A.; AUDENAERT, D.; XUAN, W.; BEECKMAN, T.; MOTTE, H. Nitrate and ammonium, the yin and yang of nitrogen uptake: a time-course transcriptomic study in rice. **Frontiers in Plant Science**, [S.l.], v. 15, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1343073>. Acesso em: 1 maio 2025.

PIMENTEL, A.A.M.P. **Olericultura no trópico úmido: hortaliças na Amazônia**. São Paulo: Agronômica Ceres.1985. 322p.

PINTO, C. M. F.; OLIVEIRA PINTO, C. L.; DONZELES, S. M. L. Pimenta capsicum: propriedades químicas, nutricionais, farmacológicas e medicinais e seu potencial para o agronegócio. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 3, n. 2, p.108-120, dez.

2013. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/rbas/article/view/2816>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2024.

ROBINSON, N., R. BRACKIN, K. VINALL, F. SOPER, J. HOLST, H. GAMAGE, C. PAUNGFOO-LONHIENNE, H. RENNENBERG, P. LAKSHMANAN, and S. SCHMIDT. 2011. Nitrate paradigm does not hold up for sugarcane. *PloS One* 6 (4):e19045. doi: 10.1371/journal.pone.0019045.

SHAPIRO, S.; WILK, M. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). **Biometrika**, n. 52 (3/4), p. 591-611. 1965. DOI: 10.2307/2333709.

SIDDIQI, M.Y. & GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **J. Plant Nut.**, 4:289-302, 1981.

SILVA, F. C. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA, 2009.

SUN, J.; JIN, L.; LI, R.; MENG, X.; JIN, N.; WANG, S.; XU, Z.; LIU, Z.; LYU, J.; YU, J. Effects of different forms and proportions of nitrogen on the growth, photosynthetic characteristics, and carbon and nitrogen metabolism in tomato. **Plants**, v. 12, n. 24, p. 4175, 2023.

SWIADER, J.M.; CHYAN, Y.; FREIJI, F.G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. **Journal of Plant Nutrition**, v.17, n.10, p. 1687-1699, 1994.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed. 888 p. 2017.

UEDA, Y., KONISHI, M., & YANAGISAWA, S. (2017). Molecular basis of the nitrogen response in plants. *Soil Science and Plant Nutrition*, 63(4), 329–341. <https://doi.org/10.1080/00380768.2017.1360128>

VIÉGAS, I. J.M.; SOUSA, G.O.; SILVA, A.F.; CARVALHO, J.G.; LIMA, M.M. Mineral composition and visual symptoms of nutrient deficiencies in long pepper plants (*Piper hispidinervum* C. DC.). *Acta Amaz.* 43: 43-50. 2013.

WANG, B.; SHEN, Q. Effects of ammonium on the root architecture and nitrate uptake kinetics of two typical lettuce genotypes grown in hydroponic systems. **Journal of Plant Nutrition**, 2012. 35:10, 1497-1508.

WALCH-LIU, P.; FORDE, B., G. A sinalização de nitrato mediada pelo transportador de nitrato NRT1.1 antagoniza as alterações induzidas por l-glutamato na arquitetura radicular. **The Plant Journal**, v. 54, n. 5, p. 820-828, 2008.

ZHANG, H. Q., X. Q. ZHAO, Y. L. CHEN, L. Y. ZHANG, and R. F. SHEN. 2019. Case of a stronger capability of maize seedlings to use ammonium being responsible for the higher N-15 recovery efficiency of ammonium compared with nitrate. *Plant and Soil* 440 (1–2):293–309. doi: 10.1007/s11104-019-04087-w.

ZHOU, J., XIA, X.J., SHI, K., CHEN, Z., YU, J.Q. (2019). Ammonium suppresses salt stress-induced antioxidant defense in *Arabidopsis thaliana* seedlings. *Plant Growth Regulation*, 87(1), 19–28. <https://doi.org/10.1007/s10725-018-0423-3>.