

**A NUTRIÇÃO MOLÍBDICA OTIMIZA A INDUÇÃO FLORAL MEDIADA POR  
NITRATO EM MANGUEIRA**

**LUAN DOS SANTOS SILVA**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ**

**FEVEREIRO – 2025**

A NUTRIÇÃO MOLÍBDICA OTIMIZA A INDUÇÃO FLORAL MEDIADA POR  
NITRATO EM MANGUEIRA

**LUAN DOS SANTOS SILVA**

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal”

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Marta Simone Mendonça Freitas

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
FEVEREIRO – 2025

**FICHA CATALOGRÁFICA**

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pelo autor.

S586

Silva, Luan dos Santos.

A NUTRIÇÃO MOLÍBDICA OTIMIZA A INDUÇÃO FLORAL MEDIADA POR NITRATO EM MANGUEIRA / Luan dos Santos Silva. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2025.

81 f. : il.

Bibliografia: 3- 11.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2025.

Orientadora: Marta Simone Mendonça Freitas.

1. Nutrição de plantas. 2. Florescimento. 3. *Mangifera indica* L.. 4. Cofator de molibdênio. 5. MoCo. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

# A NUTRIÇÃO MOLÍBDICA OTIMIZA A INDUÇÃO FLORAL MEDIADA POR NITRATO EM MANGUEIRA

**LUAN DOS SANTOS SILVA**

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal”

Aprovada em 18 de fevereiro de 2025

Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente  
 **ALMY JUNIOR CORDEIRO DE CARVALHO**  
Data: 24/04/2025 21:18:06-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Almy Junior Cordeiro de Carvalho (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF

Documento assinado digitalmente  
 **VESPASIANO BORGES DE PAIVA NETO**  
Data: 22/04/2025 08:53:18-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Vespasiano Borges de Paiva Neto (D.Sc., Ciências Agrárias) – UNIVASF

Documento assinado digitalmente  
 **GABRIEL BARBOSA DA SILVA JÚNIOR**  
Data: 17/04/2025 14:10:49-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Gabriel Barbosa da Silva Júnior (D.Sc., Agronomia/Produção Vegetal) –  
UFPI

Documento assinado digitalmente  
 **ITALO HERBERT LUCENA CAVALCANTE**  
Data: 24/04/2025 13:23:48-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Ítalo Herbert Lucena Cavalcante (D.Sc., Produção Vegetal) – UNIVASF  
Coorientador

Documento assinado digitalmente  
 **MARTA SIMONE MENDONÇA FREITAS**  
Data: 24/04/2025 21:14:21-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr.<sup>a</sup> Marta Simone Mendonça Freitas (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF  
Orientadora

*Dedico esta tese a tantos que me inspiraram e apoiaram ao longo desta jornada, mas que não caberiam nestas páginas. Em especial, dedico-a, com profunda saudade, ao meu primo Guilherme da Silva Santos, cuja memória permanece viva e continua a me impulsionar.*

## AGRADECIMENTOS

Às pessoas que sempre me acompanharam, protegeram e fortaleceram: minha mãe, Josenilde Abade dos Santos, meu pai, Vinicio Rosa da Silva, e meus irmãos, Vanessa dos Santos Silva e Lucas dos Santos Silva, os outros dois vértices do meu triângulo equilátero;

À minha namorada, Nara Raquel Dias Andrade, por sua cumplicidade, paciência e por compartilhar comigo tanto amor e inspiração, tornando cada etapa desta caminhada mais leve e especial;

À minha orientadora, Marta Simone Mendonça Freitas, pela dedicação, ensinamentos e confiança depositada em mim, que foram essenciais para a construção deste trabalho;

Ao meu coorientador, Ítalo Herbert Lucena Cavalcante, pela confiança, pelas oportunidades e pelos ensinamentos transmitidos ao longo dessa jornada;

A empresa Tradecorp, pelo suporte técnico e científico, que foi de grande importância para a concretização deste trabalho;

Aos colegas do Laboratório de Fitotecnia (LFIT), ao grupo Nutrição Mineral de Plantas da UENF e Grupo de Pesquisa Fruticultura no Vale do São Francisco (FRUTVASF) da UNIVASF, pela parceria, pela troca de conhecimentos, pelos momentos compartilhados de estudo e experimentação, e pela amizade construída ao longo do tempo;

A UENF e a CAPES, pelo suporte indispensável, por meio das bolsas de estudo e dos recursos disponibilizados para os projetos aprovados, que viabilizaram a realização deste trabalho;

Por fim, a todas as pessoas que, de forma direta ou indireta, ofereceram apoio, palavras de incentivo ou colaboração durante esta trajetória, deixo aqui meu mais sincero reconhecimento e profundo agradecimento.

A ciência sempre foi e sempre será uma construção coletiva.

Muito obrigado!

## SUMÁRIO

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| RESUMO.....                                                                                                                | v  |
| ABSTRACT .....                                                                                                             | vi |
| 1. INTRODUÇÃO .....                                                                                                        | 1  |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA.....                                                                                              | 3  |
| 2.1. Importância econômica da mangueira .....                                                                              | 3  |
| 2.2. Florescimento natural da mangueira .....                                                                              | 3  |
| 2.3. Manejo produtivo da mangueira em regiões semiáridas.....                                                              | 5  |
| 2.4. Função do nitrato na indução floral .....                                                                             | 6  |
| 2.5. Molibdênio e a enzima nitrato redutase.....                                                                           | 9  |
| 3. TRABALHOS.....                                                                                                          | 12 |
| 3.1. A suplementação com molibdênio otimiza a atividade da nitrato redutase<br>durante a indução floral da mangueira ..... | 12 |
| 3.1.1 Introdução.....                                                                                                      | 14 |
| 3.1.2 Material e métodos.....                                                                                              | 15 |
| 3.1.3 Resultados.....                                                                                                      | 21 |
| 3.1.4 Discussão .....                                                                                                      | 31 |
| 3.1.5 Conclusão.....                                                                                                       | 34 |
| 3.2. Indução floral da mangueira: estratégias de nutrição com molibdênio e nitrato<br>para melhorar a floração .....       | 40 |
| 3.2.1 Introdução.....                                                                                                      | 41 |
| 3.2.2 Material e métodos.....                                                                                              | 42 |
| 3.2.3 Resultados.....                                                                                                      | 47 |
| 3.2.4 Discussão .....                                                                                                      | 53 |
| 3.2.5 Conclusão.....                                                                                                       | 56 |
| 4. CONCLUSÕES .....                                                                                                        | 61 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                                                                           | 62 |
| APÊNDICE .....                                                                                                             | 71 |

## RESUMO

SILVA; Luan dos Santos Silva; D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Fevereiro de 2025. MOLYBDENUM NUTRITION OPTIMIZES NITRATE-MEDIATED FLORAL INDUCTION IN MANGO TREES; Adviser: Prof.<sup>a</sup>. D.Sc. Marta Simone Mendonça Freitas; Co-Adviser: Prof. D.Sc. Ítalo Herbert Lucena Cavalcante.

O manejo da indução floral da mangueira, etapa crucial para garantir a produção em épocas específicas do ano, enfrenta desafios relacionados à eficiência da assimilação de nitrato aplicados via foliar. Essa limitação está associada à deficiência de molibdênio, micronutriente essencial para a ativação da enzima nitrato redutase, que regula a assimilação de nitrato e processos metabólicos fundamentais para o florescimento. Este trabalho visou otimizar a aplicação de fontes de nitrato na indução floral da mangueira, utilizando suplementação de molibdênio. O estudo avaliou quatro doses de molibdênio combinadas a duas concentrações de nitrato de cálcio. Os resultados demonstraram que a suplementação de molibdênio elevou a atividade da nitrato redutase, intensificando a assimilação de nitrato e promovendo a produção de compostos essenciais para a quebra de dormência e diferenciação floral. A eficiência do processo foi amplificada pela interação com a radiação solar, evidenciando a importância do monitoramento desse fator em regiões semiáridas. Observou-se também o potencial do molibdênio em reduzir a frequência ou quantidade de aplicações de nitrato, aumentando a eficiência agrônômica e promovendo maior sustentabilidade no cultivo. Além de mostrar o papel do molibdênio na indução floral, o estudo apontou a necessidade de aprofundar a investigação sobre o impacto de outros micronutrientes, como manganês e cobre, na fisiologia e produtividade da mangueira. Os achados deste trabalho contribuem para avanços na sustentabilidade e competitividade da produção de manga, alinhando-se às demandas globais por práticas agrícolas mais eficientes e de menor impacto ambiental.

Palavras-chave: nutrição de plantas, florescimento, *Mangifera indica* L., cofator de molibdênio, MoCo.

## ABSTRACT

SILVA; Luan dos Santos Silva; D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. February, 2025. MOLYBDENUM NUTRITION IN THE FLORAL INDUCTION OF MANGO TREES. Advisor: Prof.<sup>a</sup> D.Sc. Marta Simone Mendonça Freitas, Co-Advisor: Prof. D.Sc. Ítalo Herbert Lucena Cavalcante.

The management of floral induction in mango trees, a crucial step to ensure production at specific times of the year, faces challenges related to the efficiency of nitrate assimilation when applied via foliar spraying. This limitation is associated with molybdenum deficiency, an essential micronutrient for activating the nitrate reductase enzyme, which regulates nitrate assimilation and key metabolic processes for flowering. This study aimed to optimize the application of nitrate sources for floral induction in mango trees using molybdenum supplementation. The study evaluated four molybdenum doses combined with two concentrations of calcium nitrate. The results demonstrated that molybdenum supplementation increased nitrate reductase activity, enhancing nitrate assimilation and promoting the production of essential compounds for dormancy breaking and floral differentiation. The efficiency of this process was amplified by its interaction with solar radiation, highlighting the importance of monitoring this factor in semi-arid regions. Additionally, molybdenum showed potential in reducing the frequency or amount of nitrate applications, improving agronomic efficiency and promoting greater sustainability in mango cultivation. Besides demonstrating the role of molybdenum in floral induction, the study highlighted the need for further investigation into the impact of other micronutrients, such as manganese and copper, on the physiology and productivity of mango trees. The findings of this study contribute to advancements in the sustainability and competitiveness of mango production, aligning with global demands for more efficient and environmentally friendly agricultural practices.

Keywords: plant nutrition, flowering, *Mangifera indica* L., molybdenum cofactor, MoCo.

## 1. INTRODUÇÃO

Em regiões semiáridas, o cultivo sustentável da mangueira tem se destacado principalmente por causa do manejo de floração que inclui manejos de irrigação, podas, adubação, fitorreguladores, maturação de ramos e aplicação de nitrato, práticas que permitem programar a colheita para períodos mais atrativos comercialmente (Oldoni et al., 2018; Cavalcante et al., 2018; Cavalcante et al., 2020; Venancio et al., 2024).

Dentre as técnicas de manejo, a aplicação de nitrato como estimulante para quebra de gemas (diferenciação floral) e consequentemente formação de panículas é uma etapa que demanda mais estudos, visto que é uma das mais variantes, seja em quantidade ou em frequência de aplicação para atingir um florescimento satisfatório (Luo et al., 2019).

Apesar das recomendações técnicas, observa-se que as aplicações de nitrato são feitas de forma empírica, visto que os produtores seguem, geralmente, análises visuais, como a exsudação de látex pelas gemas e coloração e “crocância” das folhas, não havendo amparo científico que possa indicar outros meios de definir a dosagem e a frequência de aplicação foliar de nitrato, que variam de 2 a 4% para o nitrato de potássio ( $\text{KNO}_3$ ), de 1,5 a 2% para o nitrato de cálcio ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ) e de 1 a 1,5% para o nitrato de amônio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ), com frequência variando de 5 a 10 vezes em média, de acordo com o índice de brotação que se for obtendo (Albuquerque, 2002; Santos et al., 2021; Venancio et al., 2024).

A aplicação foliar de sais de nitrato tem o intuito de ativar a enzima nitrato redutase (NR), que transforma o nitrato em nitrito, estimulando, consequentemente, a síntese da metionina, aminoácido precursor do etileno, hormônio responsável pela quebra da dormência de gemas e pela diferenciação floral (Burg e Burg, 1966; Davenport, 2009).

Embora a aplicação de sais de nitrato continue sendo uma prática comum entre produtores de manga, as recomendações de doses e fontes ainda se baseiam em períodos em que os pomares eram menos adensados, com mangueiras de maior porte e cultivares de menor potencial produtivo (Albuquerque, 2002). Esse cenário destaca a necessidade de reavaliar a eficiência da prática diante das mudanças no sistema produtivo.

Nesse contexto, a disponibilidade de molibdênio (Mo) torna-se um fator crucial, pois esse micronutriente é essencial para a ativação de enzimas envolvidas na

assimilação do nitrogênio (N), como a NR (Bittner, 2014; Imran et al., 2019; Santos et al., 2019). Assim, aplicações sucessivas de nitrato podem não apresentar o efeito esperado quando há deficiência de Mo, não necessariamente por falta de nitrogênio nítrico, mas pela limitação na conversão do nitrato em formas assimiláveis. Isso pode resultar em aumento dos custos de produção sem garantia de retorno econômico. Além disso, estudos semelhantes indicam que, em altas doses de N, a deficiência de Mo reduz a atividade da NR, levando ao acúmulo de  $\text{N-NO}_3$  nos tecidos vegetais, como observado em café (Rosado et al., 2021) e trigo (Imran et al., 2019).

De certo, uma tendência mundial é o desenvolvimento de tecnologias capazes de aumentar a eficiência do uso de nitrogênio em frutíferas para incrementar o rendimento dos frutos, e o Mo centra-se como uma das principais estratégias discutidas (Hippler et al., 2017). Porém, em mangueiras, os estudos sobre o manejo de doses de Mo aplicado via foliar sob interação com fontes de nitrato, visando à indução floral, ainda foram relatados.

Por fim, como o acompanhamento da nutrição mineral de plantas, principalmente com micronutrientes, ainda é negligenciado em pomares comerciais, o estudo do efeito do Mo torna-se uma hipótese-chave para melhorar esse manejo, hoje tido como a etapa mais limitante e irregular na indução floral da mangueira.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Importância econômica da mangueira

A mangueira (*Mangifera indica* L.) é uma espécie frutífera pertencente à família Anacardiaceae, originária do sudeste asiático. Posteriormente, foi introduzida na África e na América e, por fim, alcançou um nível de distribuição cosmopolita, principalmente pela grande aceitação de consumo do seu fruto, a manga (Yadav e Singh, 2017).

No Brasil, a mangueira tornou-se uma cultura agrícola de enorme importância socioeconômica, sendo que, em 2024, foi a fruta brasileira mais exportada (Abrafrutas, 2024). Além disso, o Brasil figura na sexta posição entre os maiores produtores de manga do mundo, com 1.546.375 t cultivadas em uma área de 78.033 ha, perfazendo um rendimento médio de 19.817 t ha<sup>-1</sup> (Kist e Beling, 2023).

A maior parte da produção está concentrada na região Nordeste. Sendo que a região do Submédio Vale do São Francisco, no Nordeste, é responsável por cerca de 93% das exportações brasileiras (Kist e Beling, 2023). Essa mesorregião é classificada como semiárida, com precipitação pluviométrica média anual inferior a 500 mm (Alvares et al., 2013). No entanto, trata-se de um perímetro irrigado de alto nível tecnológico, alcançando rendimento médio de 30,86 t ha<sup>-1</sup>, ou seja, 11,05 t ha<sup>-1</sup> a mais que a média nacional (IBGE, 2023).

Dentre as variedades cultivadas nessa mesorregião, destacam-se mangueiras originárias dos Estados Unidos: 'Keitt', 'Kent', 'Palmer' e 'Tommy Atkins', que possuem alta demanda para exportação. Essas variedades são quase que exclusivamente enxertadas sobre a variedade Espada, uma mangueira nativa do Brasil, mais adaptada às condições edafoclimáticas brasileiras (Mouco et al., 2010).

Sob condições semiáridas, especialmente no Submédio São Francisco, tem-se obtido produção uniforme e produtividades elevadas em todas as épocas do ano, principalmente devido ao manejo de florescimento da mangueira, com a implantação de podas de produção, uso de inibidores da biossíntese de giberelina (GA), maturação de ramos, estresse hídrico e aplicação de sais de nitrato (Davenport, 2003; Cavalcante et al., 2018).

### 2.2. Florescimento natural da mangueira

A mangueira apresenta crescimento vegetativo durante oito meses do ano. Entretanto, esse crescimento não é contínuo, ocorrendo em "surto" (desenvolvimento

de folhas e ramos), cujo surgimento está condicionado à maturação das folhas e ramos previamente formados. Cada surto corresponde ao lançamento de um fluxo vegetativo; durante esse período, são produzidos de três a quatro fluxos (Mouco et al., 2010).

O florescimento da mangueira é regulado por uma série de eventos fisiológicos, condicionados por fatores bióticos e abióticos, que englobam todas as condições edafoclimáticas. Esse processo envolve grandes mudanças na morfogênese e diferenciação celular do meristema apical do caule. Entre os fatores determinantes, destacam-se a nutrição, idade do ramo, balanço hormonal, estresse hídrico e temperatura, que exercem grande influência na floração da mangueira (Oliveira et al., 2019; Silva et al., 2021).

No Semiárido brasileiro, a maior taxa de floração ocorre entre os meses de julho e agosto, devido às condições climáticas típicas da região nesse período (Mouco e Albuquerque, 2005). Temperaturas mais baixas (a partir de 13 °C durante o dia e 25 °C à noite) estimulam o florescimento, enquanto temperaturas elevadas (acima de 30 °C durante o dia e 25 °C à noite) favorecem o crescimento vegetativo (Nunez-Elisea et al., 1992; Silva et al., 2014).

As condições térmicas do ambiente estão diretamente relacionadas ao acúmulo de carboidratos nos ramos sob baixas temperaturas. Esse processo é intensificado pela restrição hídrica em períodos de seca. Nessas condições, os carboidratos produzidos nas folhas são translocados para os ramos, promovendo o desenvolvimento das gemas florais, que utilizam essas reservas para a formação das inflorescências (Santos-Villalobos et al., 2013). Como consequência, os açúcares acumulados reduzem o potencial osmótico, levando à ruptura das gemas (Benkeblia et al., 2005; Prasad et al., 2014).

Em condições normais, as inflorescências surgem a partir de gemas terminais de ramos maduros, com formato cônico ou piramidal, sendo classificadas como panículas. Essas estruturas são androginodioicas, apresentando flores hermafroditas (cerca de 30%) e masculinas (cerca de 70%). Embora cada panícula contenha milhares de flores, a maioria delas aborta naturalmente, resultando em poucas viáveis.

Os fitormônios também desempenham um papel fundamental nesse processo, destacando-se a auxina, citocinina e giberelina (GA). O balanço hormonal entre esses compostos determina se as gemas se desenvolverão como vegetativas ou florais, sendo a giberelina reconhecida como antagonista do florescimento (Silva et al., 2021).

Quando a mangueira cresce em condições naturais e sem manejo adequado

em regiões semiáridas, os níveis de giberelina permanecem elevados durante a maior parte do ano, restringindo a floração a um único período (Sandip et al., 2015; Oliveira et al., 2019). Essa limitação resulta em produção concentrada apenas em épocas em que as condições ambientais são favoráveis à cultura.

As primeiras técnicas de manejo para indução floral da mangueira baseavam-se em podas e na redução da lâmina de irrigação, além da seleção de cultivares mais propensas ao florescimento natural sob certas condições climáticas (Cavalcante et al., 2022). Contudo, esses métodos resultavam em florescimento desuniforme, tanto em quantidade quanto no tempo de antese. Com o objetivo de aumentar a eficiência da indução floral, os fitorreguladores vegetais passaram a ser utilizados, demonstrando efeitos promissores na redução da biossíntese de giberelina e na uniformidade do florescimento (Mouco e Albuquerque, 2005).

### **2.3. Manejo produtivo da mangueira em regiões semiáridas**

Em pomares comerciais, viu-se a possibilidade de reproduzir de forma artificial os eventos fisiológicos que resultam no florescimento. Com o passar do tempo, as técnicas produtivas do cultivo da mangueira foram desenvolvidas e aperfeiçoadas. Especificamente para as regiões semiáridas, a indução floral é uma prática comum, composta por um conjunto de manejos que visam programar o florescimento em qualquer época (Oliveira et al., 2019).

A forma de indução mais habitual no Vale São Francisco inicia-se quando o segundo fluxo vegetativo emitido está totalmente maduro. Neste momento, é feita a aplicação do fitorregulador para cessar o crescimento vegetativo através da supressão da biossíntese da giberelina (Albuquerque, 2002). No mercado, há três fitorreguladores vegetais registrados para a cultura da mangueira: etefom, metilciclopropeno e paclobutrazol (PBZ) contudo, apenas este último interfere na biossíntese de giberelina (Agrofit, 2025).

A interferência na biossíntese de giberelina ocorre pela inibição da oxidação do ent-caureno para ácido carenoico, mediante a inativação da oxigenase dependente do citocromo P450, o que ocasiona redução nas taxas de divisão celular (Srivastav et al., 2010). Este processo impede a formação da GA12, precursora das demais giberelinas, inclusive as bioativas GA1, GA3, GA4 e GA7 (Sponsel et al., 2016).

Sabendo-se que a mangueira cultivada em regiões semiáridas e não submetida a práticas de manejo adequadas tende a apresentar elevada síntese de

giberelinas (Sandip et al., 2015; Oliveira et al., 2019; Silva et al., 2021), hormônio antagonista à fase reprodutiva, a maturação de ramos proveniente da aplicação de PBZ pode interferir na demanda de nitrato para a indução floral da mangueira, visto que um florescimento satisfatório está intimamente relacionado a alterações no balanço hormonal e ao transporte de carboidratos para acúmulo nos ramos (Santos-Villalobos et al., 2013; Prasad et al., 2014; Lopes et al., 2021; Silva et al., 2021).

Posteriormente, é feita a redução da lâmina hídrica, a fim de causar estresse na planta, que, em defesa ao estresse, modifica sua fisiologia para formar flores e, assim, perpetuar a espécie. Contudo, esta redução da lâmina hídrica é uma das etapas para a indução floral da mangueira, servindo de sinalização para a maturação uniforme de ramos, mediante o acúmulo de carboidratos e a produção de etileno (Santos-Villalobos et al., 2013; Laxman et al., 2016). Porém, essa restrição hídrica deve ser implementada de forma branda, evitando danos oxidativos severos à planta por espécies reativas de oxigênio (ERO), quando a disponibilidade hídrica fica aquém da demanda fisiológica basal (Helaly et al., 2017; Huang et al., 2019; Silva et al., 2020).

Em sequência, há a aplicação foliar de nitrato de cálcio e/ou potássio, alternadamente (Albuquerque, 2002), com o intuito de ativar a enzima NR, que inicia uma série de cascatas fisiológicas, formando nitrito e, posteriormente, amônio, para possibilitar a assimilação do nitrogênio na forma de nitrato e, assim, formar metionina e etileno, que medeiam a diferenciação floral (Burg e Burg, 1966; Anusuya et al., 2018).

#### **2.4. Função do nitrato na indução floral**

O nitrogênio possui várias formas no solo, seja na forma orgânica (aminoácidos, peptídeos, quitina e ureia), que representa cerca de 95% do total, ou na forma inorgânica mineral, como amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) (Vieira, 2017). Destas, o  $\text{NO}_3^-$  é reconhecido como a principal forma de N absorvido pelas plantas, enquanto sua assimilação ocorre na forma reduzida, o  $\text{NH}_4^+$  (Noguero e Lacombe, 2016; Feng et al., 2020).

No solo, o amônio mineralizado de resíduos orgânicos ou inserido via fertilizantes amoniacais é rapidamente oxidado a nitrato no processo denominado nitrificação, mediado pela ação de bactérias (Barth et al., 2019). Quando o nitrato é absorvido, ele é reduzido a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) pela enzima NR, que catalisa a reação:  $\text{NO}_3^- + \text{NAD(P)H} + \text{H}^+ \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{NAD(P)}^+ + \text{H}_2\text{O}$ . Em sequência, o nitrito é reduzido a amônio e, assim, assimilado pelas plantas (Rana et al., 2020b).

Vale salientar que o nitrito é altamente reativo e tóxico às plantas. Como mecanismo de defesa, esse íon é transportado do citosol para plastídios ou cloroplastos (Bittner, 2014). Nessas organelas estão localizadas as enzimas nitrito redutase, que são responsáveis por reduzir o  $\text{NO}_2^-$  a  $\text{NH}_4^+$ . Adiante, o  $\text{NH}_4^+$  é utilizado na síntese de biomoléculas, como aminoácidos (Jayakumar et al., 2024).

Em todas essas cascatas fisiológicas de assimilação do nitrogênio por nitrato, a atuação da enzima NR é considerada uma etapa limitante, normalmente devido à deficiência de Mo (Santos et al., 2019). Dessa forma, o suprimento de Mo para as plantas influencia diretamente a síntese e a atividade da NR, pois esse nutriente é um componente estrutural da NR, sendo a enzima mais abundante de Mo nos vegetais (Bittner, 2014; Rana et al., 2020b).

Além disso, a atividade da NR está sujeita a fatores externos, como luz, condição hídrica, presença de nitrato e a espécie vegetal (Anusuya et al., 2018; Rajsz et al., 2018).

Santos et al. (2021) avaliaram a atividade da NR em pomar comercial de mangueiras da variedade 'Palmer', cultivadas no semiárido brasileiro. Nessa pesquisa, amostras de folhas do 1º e 2º fluxos vegetativos e de raízes jovens foram coletadas em diferentes horários do dia (8 às 16h) e em distintas fases fenológicas. Como principais resultados, os autores identificaram que a fertilização com  $\text{KNO}_3$  beneficia a atividade da enzima, sendo essa maior na fase reprodutiva em comparação com a vegetativa. A atividade máxima da enzima coincidiu com o período de maior radiação solar, entre 10 e 11h, e as folhas do 2º fluxo e as raízes apresentaram maior atividade da NR em comparação com as folhas do 1º fluxo vegetativo.

Tal comportamento ocorre devido ao efeito da luz sobre a atividade enzimática, que pode ser direto, na ativação da enzima, ou indireto, via processo fotossintético, proporcionando a energia necessária para a assimilação do nitrato (Jayakumar et al., 2024).

No florescimento natural da mangueira, o período de temperaturas frias é um fator preponderante, coordenado pela maturação do ramo na fase de crescimento vegetativo (Ramírez et al., 2014; Sandip et al., 2015). Porém, de forma artificial, com o uso de técnicas de manejo de indução floral, a premissa da temperatura baixa foi superada, podendo agora estimular o florescimento com ramos suficientemente maturados, a exemplo da aplicação de sais de nitrato (Afifah et al., 2014). No

florescimento natural da mangueira, o período de temperaturas frias é um fator preponderante, coordenado pela maturação do ramo na fase de crescimento vegetativo (Ramírez et al., 2014; Sandip et al., 2015). Porém, de forma artificial, com o uso de técnicas de manejo de indução floral, a premissa da temperatura baixa foi superada, podendo agora estimular o florescimento com ramos suficientemente maturados, a exemplo da aplicação de sais de nitrato (Afiqah et al., 2014).

Na cultura da mangueira, o nitrato é aplicado durante a indução floral para quebra de dormência das gemas, por pulverização foliar, e durante o desenvolvimento de frutos, por fertirrigação (Santos et al., 2021).

A utilização de nitrato para indução floral da mangueira começou a ser estudada há bastante tempo. A princípio, foram comparadas diferentes fontes de nitrogênio, como a ureia e o nitrato, além das dosagens e do local de aplicação (Astudillo e Bondad, 1978; Bondad e Lisangan, 1979). Tais estudos foram sendo aperfeiçoados até a técnica de indução floral utilizada em todo o mundo atualmente, com aplicação de estimulantes florais, a exemplo do nitrato de cálcio, potássio e amônio, no intuito de obter resultados melhores para a ruptura de gemas (Genu e Pinto, 2002; Maloba et al., 2017).

Por exemplo, estudos demonstraram que a aplicação conjunta de PBZ e nitrato de amônio e de potássio reduziu significativamente o tempo para o florescimento, independente da dosagem. Além disso, maiores dosagens resultaram em mais panículas por planta, incrementando também o rendimento da cultura (Morales-Martinez et al., 2020). Isso porque a aplicação de PBZ restringe o crescimento vegetativo, melhorando a maturação dos ramos. Sabe-se que a atividade da NR pode ser altamente modulada pela disponibilidade de carboidratos e agentes redutores nos tecidos vegetais (Bittner, 2014).

Albuquerque (2002) indica a aplicação de  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  e  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  via foliar nas horas mais frias do dia, podendo ser de forma intercalada, alternando a fonte de nitrato. A recomendação foliar é justificada porque a enzima NR está localizada não apenas no citosol das células corticais da epiderme da raiz, mas também nas células mesofílicas da parte aérea das plantas (Marschner, 2012; Santos et al., 2021). Segundo Hippler et al. (2017), o metabolismo da planta dá preferência a aumentar a atividade da enzima no órgão onde há maior disponibilidade de entrada de N, quando suplementado com Mo, ou seja, na pulverização direta sobre as folhas. Além disso, devido à natureza dinâmica dos solos, a aplicação foliar supera as possibilidades de

adsorção do Mo (Xu et al., 2013; Dechen et al., 2018) e a perda de nitrogênio por bactérias desnitrificantes (Abbas et al., 2019; Liu et al., 2020b).

Apesar de todas essas tecnologias desenvolvidas, os efeitos ainda são muito discrepantes em relação à quantidade e frequência de aplicação de nitrato entre os pomares, seja de diferentes variedades ou dentro da mesma variedade, sendo necessário mais alternativas para aprimorar este manejo.

Nesta perspectiva, há poucos estudos sobre o efeito do Mo na melhoria do processo de assimilação de nitrato em mangueiras, e poucos estudos na literatura expressam esse fator de forma contundente em outras frutíferas. Como exemplo, Rosado et al. (2021) aplicaram  $55,4 \text{ g L}^{-1}$  de molibdato de sódio (39% Mo) em cafeeiros via solo, e Hippler et al. (2017) utilizaram  $0,60 \text{ g L}^{-1}$  de molibdato de amônio (54%) em laranjeiras doces via foliar.

## 2.5. Molibdênio e a enzima nitrato redutase

O molibdênio é um metal de transição classificado como micronutriente por ser um elemento essencial requerido em pequena quantidade para completar o ciclo das plantas (Bortels, 1930). No entanto, aproximadamente 44,7 milhões de hectares de solos do globo terrestre apresentam deficiência de Mo (Rana et al., 2020a). Esta constatação figura-se como um extenso problema agrícola, ocasionando perdas de rendimento e qualidade de inúmeras culturas (Rana et al., 2020c).

O Mo pode ser encontrado em três formas distintas no solo, como ácido molíbdico ( $\text{H}_2\text{MoO}_4$ ), molibdato de hidrogênio ( $\text{HMoO}_4^-$ ) e molibdato ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ). Entre estas duas últimas formas, o pH do ambiente é preponderante para a prevalência delas. Quando o solo é ácido, observa-se a forma iônica  $\text{HMoO}_4^-$ , enquanto em ambiente básico (ou acima de pH 5), predomina o ânion  $\text{MoO}_4^{2-}$ , sendo este o mais facilmente absorvido pelas plantas (Kaiser et al., 2005).

Outra influência que o pH do solo exerce sobre o Mo é na sua disponibilidade. Há uma relação proporcional entre o menor nível de acidez e a maior disponibilidade de Mo para as plantas. Isto é explicado por dois motivos: primeiro, a redução do pH aumenta as cargas positivas nos colóides do solo, gerando adsorção do Mo, que fica indisponível; segundo, com o aumento do pH, as hidroxilas da solução do solo desfazem a adsorção do ânion  $\text{MoO}_4^{2-}$ , deixando-o disponível (Xu et al., 2013). Malavolta (2006) estimou que a diminuição do pH do solo em uma unidade representa uma disponibilidade de Mo às plantas dez vezes menor.

A disponibilidade de Mo também é influenciada negativamente pela formação de precipitados de alumínio e ferro. Isto ocorre principalmente em latossolos devido às características do material de origem rico nesses minerais (Dechen et al., 2018). De forma geral, a concentração de Mo no solo é de 0,11 a 6,00 mg kg<sup>-1</sup> (Nie et al., 2020). Contudo, em regiões semiáridas que apresentam latossolos, são ambientes propícios à menor disponibilidade de Mo para as plantas (Santos, 2018).

De toda forma, é importante frisar que o elemento químico Mo, em sua forma estrutural básica, não apresenta atividade biológica. Porém, o cofator de Mo (MoCo) é parte vital de uma pterina (um composto heterocíclico que serve como precursor de cofatores) orgânica complexa, que exerce funções biológicas essenciais (Williams e Silva, 2002), a exemplo da biossíntese de moléculas nos tecidos vegetais, especialmente das enzimas xantina desidrogenase, amidoxima redutase mitocondrial, aldeído oxidase, sulfito oxidase, nitrogenase e nitrato redutase (Rana et al., 2020b). Entre essas enzimas, a deficiência de Mo traz consequências mais graves para a falta de atividade da enzima NR, podendo ser letal para as plantas (Mendel, 2011).

Uma relação simples e sucinta descrita por Rana et al. (2020c), em um artigo de revisão, disserta que a fertilização de Mo frequentemente está associada a uma maior eficiência de absorção de N, o que proporciona aumento no rendimento das plantas. Esta relação é facilmente compreendida porque o Mo é um elemento que faz parte da constituição da enzima NR. Basicamente, na enzima há duas subunidades iguais, e cada uma possui três grupos prostéticos: flavina adenina dinucleotídeo, Fe-heme e molibdopterina, local onde o Mo fica localizado (Rana et al., 2020a).

Mediante a essencialidade do Mo para a ativação da enzima NR, situações de deficiência nutricional deste micronutriente podem causar distúrbios nas funções biológicas vitais (Mendel, 2011). Outra consequência é que o nitrato disponível para absorção se acumula na planta sem entrar na via de redução assimilatória de nitrato, podendo expressar sintomas de deficiência de N, mesmo que haja suprimento suficiente (Marschner, 2012). Além disso, a deficiência de Mo é semelhante à deficiência de nitrogênio, justamente porque a função principal do Mo no metabolismo vegetal é a redução do nitrato.

Desde 1977, estudos destacam os principais sintomas característicos de plantas deficientes em Mo, incluindo lesões e morfologia alterada de folhas em nível celular, devastando a integridade de diversas organelas (Fido et al., 1977). Sintomas que são compatíveis com novas técnicas fisiológicas e citológicas, a exemplo de

mudas de morango, que apresentam lâminas de folhas amarelas e alterações ultraestruturais, como cloroplastos irregulares e estruturas de membranas pouco claras (Liu et al., 2020a). Por outro lado, situações de toxicidade de Mo nas plantas são raras (Mendel, 2011).

Ao longo dos anos, pesquisas mostraram de forma enfática que a combinação de Mo e N aumenta o rendimento das plantas, seja em anuais herbáceas, a exemplo do feijão (Biscaro et al., 2009) e trigo (Imran et al., 2019), ou em plantas perenes lenhosas, a exemplo da laranja doce (Hippler et al., 2017) e café (Rosado et al., 2021), devido ao aumento da atividade da NR. Porém, essas pesquisas são pouco difundidas e limitadas a poucas culturas, e os níveis de suficiência são discrepantes entre espécies ou mesmo entre variedades. A mangueira, especificamente, não tem registro de pesquisas dessa natureza na literatura.

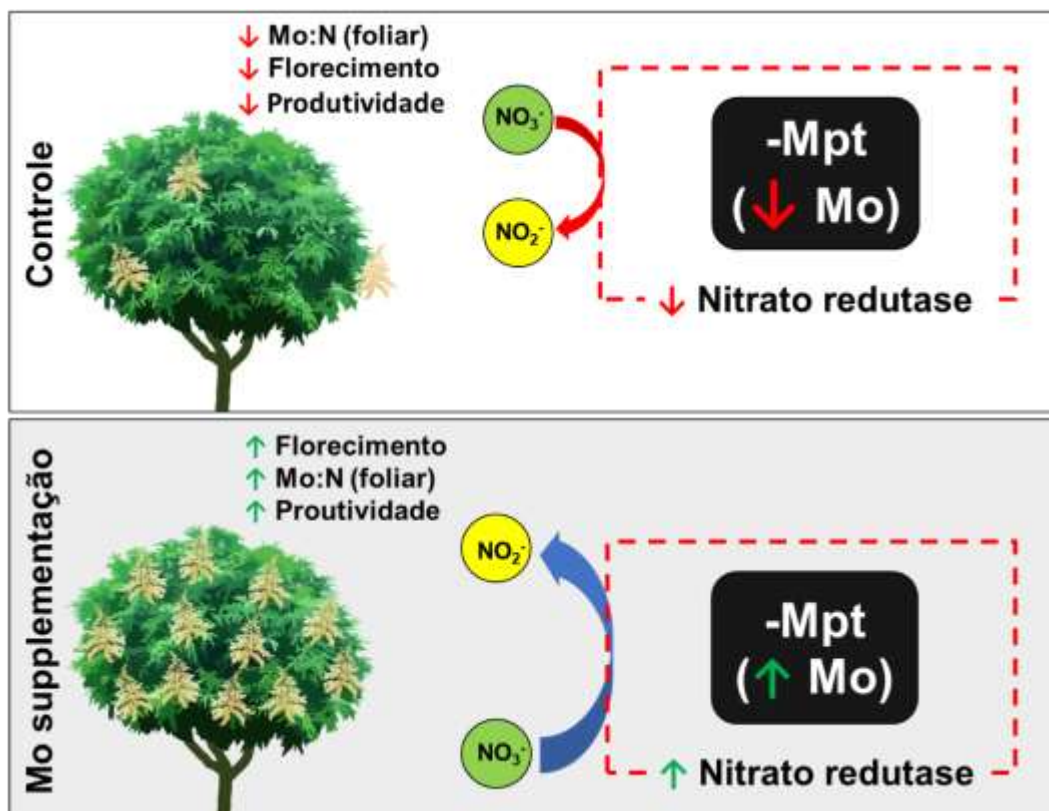
A pesquisa de Hippler et al. (2017) trouxe avanços importantes para o desenvolvimento dessa nova técnica. Os pesquisadores utilizaram laranja doce de um ano de idade, cultivada em estufa, para pulverizar Mo na parte aérea com diferentes dosagens e suplementação de dois níveis de N. Como resultado, houve aprimoramento da atividade da NR em folhas e raízes, aumentando a absorção de nitrato no dia seguinte à sua aplicação, se estendendo por até 30 dias, comparado às plantas controle (sem Mo). Enquanto um segundo experimento, com aplicação de Mo apenas em um lado do dossel da planta, demonstrou que a atividade da NR é aumentada com mais intensidade no local de contato, havendo menor atividade no lado não pulverizado. Por fim, a translocação de Mo do dossel para as raízes é menor com o aumento da oferta de N diretamente no dossel da planta.

### 3. TRABALHOS

#### 3.1. A SUPLEMENTAÇÃO COM MOLIBDÊNIO OTIMIZA A ATIVIDADE DA NITRATO REDUTASE DURANTE A INDUÇÃO FLORAL DA MANGUEIRA

Resumo: A indução floral em mangueiras utiliza nitrato para estimular a floração; no entanto, esse processo depende da enzima nitrato redutase, cuja atividade é influenciada pelo molibdênio e pela radiação solar. A relação entre essas variáveis no processo de indução floral da mangueira ainda está em seus estágios iniciais de estudo. Portanto, o objetivo foi estudar o efeito da suplementação de Mo na atividade da nitrato redutase e sua relação com a floração da mangueira. Além disso, também foi analisada a relação entre esse processo e a radiação solar. O experimento foi conduzido em um pomar da mangueira (cv. Tommy Atkins) localizado no Vale do Submédio São Francisco, em Petrolina, Brasil, durante duas safras (2022/23 e 2023/24). O delineamento foi em blocos casualizados com arranjo em faixa, e os tratamentos incluíram um fatorial 4 x 2, com quatro concentrações de molibdênio (0,000, 0,100, 0,225, 0,375 g L<sup>-1</sup>) e duas concentrações de nitrato de cálcio (convencional e ajustada). A atividade da nitrato redutase foi positivamente correlacionada com a radiação solar global. De forma geral, o molibdênio melhorou a atividade da enzima nitrato redutase, a proporção de Mo em relação ao N, a floração e a produtividade. A suplementação de molibdênio aumentou a atividade da nitrato redutase, resultando em melhor indução floral em mangueiras (cv. Tommy Atkins) sob condições semiáridas. A radiação solar global foi o principal fator meteorológico que modulou a atividade da nitrato redutase. A aplicação equilibrada de molibdênio e nitrato foi eficaz na otimização da produção de mangas. A concentração de 0,225 g L<sup>-1</sup> de Mo, em combinação com a concentração ajustada de nitrato, foi a mais eficiente.

## Resumo gráfico



### 3.1.1 Introdução

Os mecanismos de indução floral são essenciais para a produtividade agrícola, especialmente em regiões semiáridas, onde fatores ambientais como altas temperaturas e intensa radiação solar podem limitar a produção. A gestão de nutrientes desempenha um papel crucial nesse processo, pois a interação entre nutrientes e condições climáticas pode otimizar as práticas agrícolas e aumentar a produtividade, particularmente em mangueiras (Rezende et al., 2022).

A indução floral no cultivo da mangueira envolve diversas práticas, como irrigação, poda, fertilização, uso de reguladores de crescimento vegetal e aplicações foliares de nitrato, todas voltadas para programar a colheita em períodos de maior valor comercial (Cavalcante et al., 2018; Silva et al., 2022). No entanto, as mudanças climáticas têm alterado condições meteorológicas globais, como noites e invernos mais quentes, interferindo na floração da mangueira, já que processos fisiológicos como a fotossíntese e respiração são sensíveis à temperatura (Patil et al., 2021; Khalifa e Abobatta, 2023). Essas mudanças demandam aprimoramentos contínuos nas técnicas de indução floral.

As aplicações de nitrato demonstraram ser eficazes em estimular a brotação de gemas e a emissão de panículas (Luo et al., 2019; Santos et al., 2021; Silva et al., 2021). Contudo, o processo ainda carece de uma compreensão mais abrangente, especialmente sobre os efeitos das condições climáticas durante a aplicação. A variabilidade na dosagem e frequência de aplicação reflete essa lacuna de conhecimento e evidencia a necessidade de melhorar a eficiência do uso do nitrogênio, geralmente limitada a 30-40%, para evitar perdas econômicas e reduzir a poluição ambiental (Sutton et al., 2018; Vidal et al., 2020).

A nitrato redutase (NR) é a enzima responsável por converter o nitrato em nitrito, etapa chave na assimilação de nitrogênio. A ativação dessa enzima também estimula a síntese de metionina, um precursor do etileno, que promove a diferenciação floral (Pattyn et al., 2020; Santos et al., 2022). Apesar de amplamente utilizada em regiões como o Vale do São Francisco, um dos líderes mundiais em produtividade de manga (Kist e Beling, 2023), a aplicação de nitrato precisa ser ajustada para enfrentar novos desafios da produção intensiva de manga.

Nesse contexto, a suplementação com molibdênio (Mo) surge como uma alternativa promissora para melhorar o processo de indução floral, pois o Mo é um cofator essencial para a NR, catalisando a conversão de nitrato em nitrito e

aumentando a eficiência do processo de indução floral (Rana et al., 2020a). Estudos em outras culturas, como cítricos e café, mostraram que a combinação de nitrogênio e Mo aumenta a atividade da NR e, conseqüentemente, melhora a produtividade (Hippler et al., 2017; Rosado et al., 2021).

Em folhas de mangueira 'Palmer', a atividade da NR é mais intensa durante a fase reprodutiva e diretamente influenciada pela radiação solar (Santos et al., 2021). Contudo, a relação entre Mo e a atividade da NR em mangueiras ainda não foi amplamente investigada, especialmente sob as condições climáticas de regiões semiáridas (Yoneyama e Suzuki, 2020).

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da suplementação de Mo na atividade da enzima NR e sua relação com a floração da mangueira, buscando otimizar as práticas de manejo e aumentar a produtividade em regiões semiáridas.

### 3.1.2 Material e métodos

#### Área experimental

O experimento foi conduzido em Petrolina-PE, Brasil, durante duas safras: 2022/2023 (22/23) e 2023/2024 (23/24). Cada safra foi realizada em um pomar comercial de mangueira cv. Tommy Atkins, enxertada sobre o porta-enxerto 'Espada'. Na safra 22/23, o experimento ocorreu na Fazenda Lins (9°21'24"S, 40°33'01"W), em plantas com 22 anos, enquanto na safra 23/24 foi conduzido na Fazenda Bela Safra (9°15'44"S, 40°27'21"W), em plantas com 26 anos.

Ao longo do experimento, dados meteorológicos foram registrados por estação meteorológica automática monitorada pelo Laboratório de Meteorologia (LABMET), conforme na Figura 1.

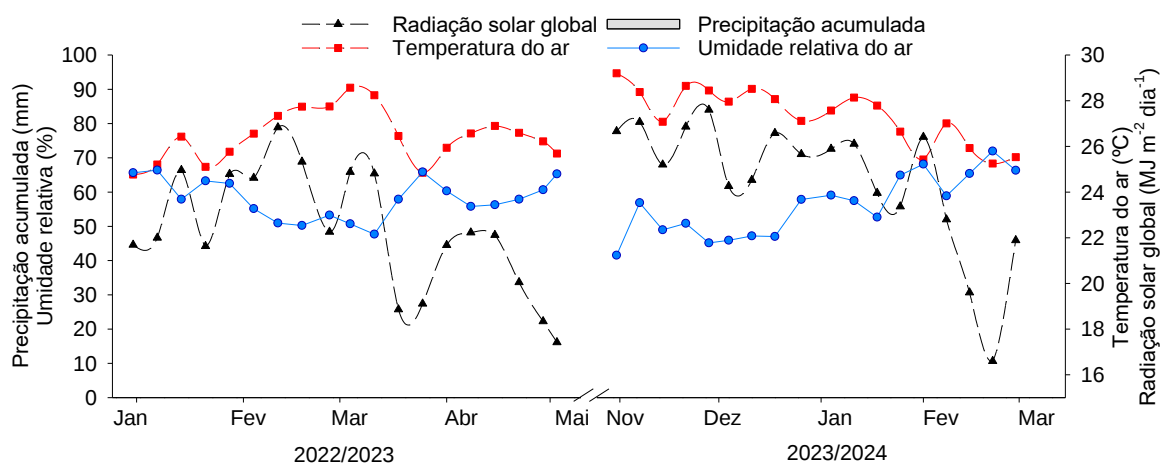


Figura 1. Dados meteorológicos semanais monitorados durante o experimento em Petrolina-PE.

### ***Manejo cultural***

Todas as mangueiras da área experimental foram submetidas à poda de produção, que consiste na remoção de ramos velhos, doentes ou desarranjados (voltados para o centro ou baixo da copa) para brotações de novos ramos com maior potencial produtivo. Adiante, quando os ramos do segundo fluxo estavam totalmente expandidos, foi aplicado 10 ml por planta do paclobutrazol (PBZ), para inibir a síntese de giberelina e restringir o crescimento vegetativo da cultura, esta aplicação foi via fertirrigação em conjunto com ácido fúlvico para facilitar a absorção do PBZ pelas mangueiras (Silva et al. 2022) iniciando-se a fase de maturação de ramos com aplicações de sulfato de potássio (2,0%) e cloreto de potássio (1,0%) por 5 semanas. Após 45 dias da aplicação do PBZ iniciou-se o período de redução de lâmina hídrica em 50% durante um mês e meio. Aos 30 dias após o início da redução de lâmina hídrica foram aplicados os tratamentos.

Durante todo o ciclo da cultura as práticas culturais referentes a poda, manejo nutricional, controle de plantas invasoras, pragas, doenças e colheita foram realizadas tendo como referência as normas técnicas da Produção Integrada de Manga definidas por Lopes et al. (2003) e Cavalcante et al. (2018).

O método de irrigação utilizado foi localizado por microaspersão, com um emissor por mangueira, com vazão  $18 \text{ L h}^{-1}$ . A lâmina de irrigação foi calculada com base na evapotranspiração da cultura, sendo a evapotranspiração de referência calculada pelo método de Penman-Monteith (Allen, 1998) e o coeficiente da cultura específico para cada fase fenológica da manga de acordo com o recomendado por Teixeira et al. (2008). Neste sistema a adubação foi feita por fertirrigação de acordo com a análise do solo e demanda da cultura (Silva et al., 2002). As plantas foram dispostas em um espaçamento de  $9 \times 4 \text{ m}$ , com densidade de 277 plantas por hectares, todas apresentando tamanho e vigor uniformes. A fonte nitrogenada foi ureia, mas na fase de indução floral ela foi temporariamente suspensa.

### ***Delineamento experimental e aplicação dos tratamentos***

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, em arranjo experimental em faixa, com cinco repetições e seis plantas por parcela, onde os blocos foram distribuídos em fileiras de plantas, tendo uma fileira como bordadura entre os tratamentos. Os tratamentos foram organizados em esquema fatorial  $4 \times 2$ , correspondendo a quatro concentrações de Mo (0,0; 0,100; 0,225; 0,375  $\text{g L}^{-1}$ ) e duas concentrações de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  (nitrato de cálcio), convencional (+ $\text{NO}_3$ ) e ajustada (- $\text{NO}_3$ ).

O Mo foi aplicado apenas na primeira indução, utilizando como fonte o Molybdate 250 (Tradecorp®, 25,0% de Mo), enquanto o nitrato de cálcio  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  (14% de N) foi aplicado em todas as induções, usando um pulverizador Arbus 600 (Jacto®). As concentrações de Mo foram definidas usando como referência os resultados de Hippler et al. (2017). A dosagem recomendada de nitrato varia de 1 a 4% por aplicação, de acordo com a fonte utilizada, e com o índice de floração que for obtido após cada semana (Lopes et al. 2003). As datas das induções e concentrações de nitrato estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Concentrações de nitrato aplicado em cada indução floral da cv. Tommy Atkins

| Indução        | Safr 22/23 | +NO <sub>3</sub> | -NO <sub>3</sub> | Dif.  | Safr 23/24 | +NO <sub>3</sub> | -NO <sub>3</sub> | Dif.  |
|----------------|------------|------------------|------------------|-------|------------|------------------|------------------|-------|
|                | Data       | ----- % -----    | ----- % -----    |       | Data       | ----- % -----    | ----- % -----    |       |
| 1 <sup>a</sup> | 28/12/2022 | 3,00             | 2,00             | 1,00  | 27/10/2023 | 3,50             | 2,50             | 1,00  |
| 2 <sup>a</sup> | 05/01/2023 | 4,00             | 3,50             | 0,50  | 01/11/2023 | 3,50             | 3,00             | 0,50  |
| 3 <sup>a</sup> | 13/01/2023 | 1,50             | 1,00             | 0,50  | 07/11/2023 | 2,50             | 2,00             | 0,50  |
| 4 <sup>a</sup> | 19/01/2023 | 1,80             | 1,50             | 0,30  | 13/11/2023 | 3,00             | 2,70             | 0,30  |
| 5 <sup>a</sup> | 24/01/2023 | 1,60             | 1,30             | 0,30  | 20/11/2023 | 2,00             | 1,70             | 0,30  |
| 6 <sup>a</sup> | 04/02/2023 | 1,25             | 1,00             | 0,25  | 27/11/2023 | 1,75             | 1,50             | 0,25  |
| Média          |            | 2,1916           | 1,7166           | 0,475 |            | 2,7083           | 2,2333           | 0,475 |

+NO<sub>3</sub>: Concentração Convencional; -NO<sub>3</sub>: Concentração ajustada; Dif.: diferença de concentração.

A irregularidade entre os dias de aplicação entre as safras ocorreu devido a fatores climáticos, principalmente relacionados às precipitações (Figura 1). Quando se está na fase de indução do florescimento da mangueira e há previsão de chuva, é aconselhável não realizar a pulverização naquele dia, pois isso pode diminuir a eficiência de absorção dos fertilizantes foliares (Zwertvaegher et al. 2017).

A diferença na concentração de nitrato entre as safras deve-se à resposta da planta em relação à diferenciação das brotações. Quando a diferenciação é mais lenta, a concentração de nitrato aplicado permanece maior ao longo das semanas, e, à medida que as brotações se aproximam de 80% de diferenciação, a concentração de nitrato deve ser reduzida (Cavalcante et al. 2018; Silva et al. 2021).

Em virtude dos resultados da safra 22/23, a dose média de nitrato foi aumentada proporcionalmente para a segunda safra 23/24, e tais resultados serão elucidados na discussão.

### Caracterização inicial do solo e das plantas

Para observar a uniformidade do plantel foi feita uma caracterização das condições que as mangueiras estavam antes da aplicação dos tratamentos através de análises químicas do solo (Tabela 2). Dez amostras simples foram coletadas com trado perfazendo uma amostra composta na profundidade de 0 a 30 cm. As determinações de P, K, Mn, Zn, Cu, Fe e Na foram com o extrator Mehlich 1; Ca, Mg e Al com o extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; S e Mo com HCL 1:1 de extrator; B usando água quente como extrator; Condutividade elétrica (CE) com extrato da pasta de saturação; pH em água; Acidez potencial (H+Al) com extrator acetato de cálcio a pH 7; Matéria orgânica (MO) pelo método de Walkley-Black. Foram também calculados a soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e a saturação por bases (V%). Todas as determinações seguiram as metodologias descritas por Teixeira et al. (2017).

Tabela 2. Análise química do solo utilizado para o cultivo de mangas cv. Tommy Atkins antes da instalação dos experimentos

| Safr    | Profu. | P                         | S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | K <sup>+</sup>                                 | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Fe <sup>2+</sup> | Mn <sup>2+</sup> | Cu <sup>2+</sup>                | Zn <sup>2+</sup> | B    | Mo    |
|---------|--------|---------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------------------|------------------|------|-------|
|         | cm     | -- mg dm <sup>-3</sup> -- |                                 | ----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |                  |                  |                  |                  | ----- mg dm <sup>-3</sup> ----- |                  |      |       |
| 2022/23 | 0-30   | 37,6                      | 19,30                           | 0,19                                           | 3,44             | 1,11             | 46,40            | 15,30            | 1,30                            | 33,50            | 0.71 | 0.133 |
| 2023/24 | 0-30   | 36,7                      | 13,1                            | 0,28                                           | 4,59             | 0,72             | 46,7             | 93,4             | 3,20                            | 34,0             | 0.89 | < LQ  |

| Safr    | Profu. | Na <sup>+</sup> | Al <sup>3+</sup>                               | H + Al | SB   | CTC  | pH                 | CE                 | V     | MO                 |
|---------|--------|-----------------|------------------------------------------------|--------|------|------|--------------------|--------------------|-------|--------------------|
|         |        |                 | ----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |        |      |      | (H <sub>2</sub> O) | dS m <sup>-1</sup> | %     | g kg <sup>-1</sup> |
| 2022/23 | 0-30   | 0,14            | 0,00                                           | 1,19   | 4,88 | 6,07 | 6,54               | 0,81               | 80,43 | 13,50              |
| 2023/24 | 0-30   | 0,01            | 0,00                                           | 0,02   | 5,63 | 5,65 | 7,21               | 0,65               | 99,65 | 6,00               |

Profu.: profundidade; CTC: capacidade de troca catiônica; soma de bases; V: saturação de bases; MO: matéria orgânica; CE: condutividade elétrica.

Também foi realizada a caracterização nutricional (Tabela 3), coletadas quatro folhas maduras e sadias, uma de cada quadrante do terço médio da copa (centro vertical) do último fluxo vegetativo, de 12 mangueiras escolhidas aleatoriamente na área experimental. O material vegetal foi acondicionado em sacos de papel e transferido para o Plant Soil Laboratórios™, onde as amostras foram secas em estufa de circulação forçada a 65 °C e moídas em moinho de facas tipo Willey para posterior análise. A determinação de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Zn, B e Mo foi feita seguindo a metodologia proposta por Silva (2009).

O teor de N foi extraído por digestão sulfúrica e determinado pelo método de Kjeldahl. Os teores de P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn e Zn, foram extraídos por digestão

nitro-perclórica e determinados por espectrometria de emissão atômica por plasma, (Chapman e Pratt, 1962), S também foi extraído por digestão nitro-perclórica, mas determinados por espectrometria UV-visível. B e Mo foram extraídos por digestão seca e determinados por espectrometria de emissão atômica por plasma.

Tabela 3. Teores de nutrientes nas folhas de mangueira cv. Tommy Atkins antes da instalação dos experimentos

| Crop    | N                              | P   | K    | Ca   | Mg  | S   | Fe                              | Cu   | Mn   | Zn   | B    | Mo   |
|---------|--------------------------------|-----|------|------|-----|-----|---------------------------------|------|------|------|------|------|
|         | ----- g kg <sup>-1</sup> ----- |     |      |      |     |     | ----- mg kg <sup>-1</sup> ----- |      |      |      |      |      |
| 2022/23 | 17,2                           | 1,7 | 14,8 | 12,8 | 2,7 | 1,4 | 100,5                           | 8,5  | 41,6 | 25,6 | 52,8 | < LQ |
| 2023/24 | 14,8                           | 1,2 | 9,2  | 17,0 | 2,4 | 1,4 | 137,1                           | 19,8 | 43,5 | 17,1 | 54,3 | < LQ |

LQ: Limite de quantificação (0,0014 mg kg<sup>-1</sup>).

Na safra 22/23 o teor de Mo no solo foi de 0,133 mg dm<sup>-3</sup>, mas no solo o valor ficou abaixo do limite de quantificação (LQ) e na safra 23/24 ambos os valores ficaram abaixo do LQ, ou seja, menor que 0,0014 mg kg<sup>-1</sup>. Portanto, havia condições propícias para experimentação proposta.

### ***Variáveis analisadas***

#### *Análises enzimáticas*

As coletas de folhas para análises da enzima NR iniciaram a partir da indução floral e sucederam semanalmente de forma sincrônica nas quatro primeiras aplicações de nitrato de cálcio. As coletas procederam entre 10 e 11:00h, destacando quatro folhas das seis plantas da parcela, totalizando 24 folhas por amostra. Os critérios de coleta foram os mesmos relatados para folhas visando análise nutricional na caracterização. Em seguida as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e imediatamente depositadas em caixas térmicas com gelo e transportadas para o laboratório de Fisiologia Vegetal da UNIVASF, em um intervalo máximo de 30 minutos da coleta até o início da análise. A atividade da enzima foi determinada seguindo o método descrito por Majerowicz et al. (2003), com adaptações específicas para a mangueira conforme descrito por Santos et al. (2021).

#### *Proporção nutricional*

No pré-florecimento, foi coletada uma amostra composta por doze fluxos vegetativos distribuídos aleatoriamente nos quatro quadrantes da copa por cada parcela do delineamento experimental. As folhas maduras e sadias foram destacadas para análise nutricional de Mo e N, seguindo as recomendações de Silva (2009).

Mediante os resultados nutricionais de N e Mo, conforme metodologia de Silva (2009), foi calculada a proporção entre as concentrações de Mo e N por kg de massa seca das folhas. O resultado foi padronizado para a concentração de Mo em relação a 1.000.000 de moléculas de N, conforme descrito na Equação 1 (Eq. 1).

(Eq. 1)

$$Mo:N = \frac{Mo (mg\ kg^{-1})}{N (mg\ kg^{-1})} \times 1.000.000$$

Em seguida, com as médias dos tratamentos, foi calculado o número relativo de átomos de Mo e N, conforme a Equação 2 (Eq. 2, Baranski, 2012) e a proporção entre o número de átomos de Mo e N, sendo mantida a base de Mo para 1.000.000 de átomos de N, conforme a Equação 3 (Eq. 3).

(Eq. 2)

$$N^{\circ} \text{ átomos} = \left( \frac{\text{concentração do nutriente (g kg}^{-1}\text{)}}{\text{massa molar}} \right) \times N^{\circ} \text{ Avogadro}$$

(Eq. 3)

$$Mo:N (\text{átomos}) = \left( \frac{N^{\circ} \text{ átomos de Mo (g kg}^{-1}\text{)}}{N^{\circ} \text{ átomos de N (g kg}^{-1}\text{)}} \right) \times 1.000.000$$

### *Análises fitotécnicas*

O percentual de florescimento foi avaliado pela razão entre o número total de panículas emitidas e o número total de ramos no momento da aplicação dos tratamentos, e o resultado foi expresso em porcentagem. A produtividade estimada foi calculada após a colheita, esta que foi realizada quando os frutos apresentarem coloração da polpa creme amarelada, perfazendo o estágio 2 de maturação, conforme recomenda Filgueiras, (2000). O resultado foi obtido pela multiplicação da produção de frutos por planta *versus* o número de plantas por hectare (t ha<sup>-1</sup>), para tal, fez-se a mensuração da massa de frutos com balança digital (g) e contagem de frutos por planta.

A Figura 2 apresenta esquema representativo das etapas da metodologia descrita.

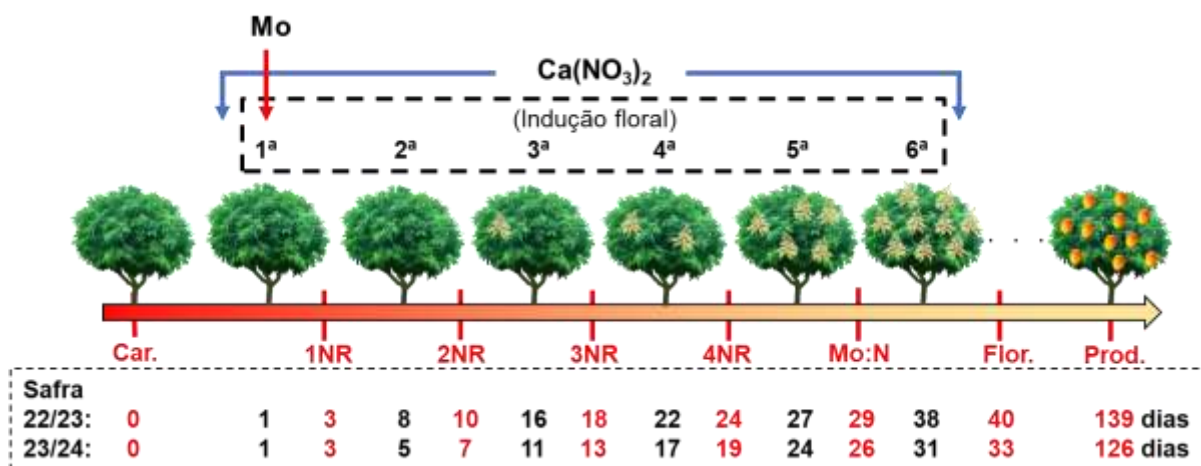


Figura 2. Fluxograma da execução dos tratamentos e variáveis analisadas. NR: nitrato redutase; Car.: caracterização; Mo:N: proporção entre Mo e N; Flor.: florescimento; Prod.: Produção.

### **Análise estatística**

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias. Posteriormente, foi realizada a análise de variância pelo teste 'F', e a partir da significância encontrada, as concentrações de nitrato foram comparadas entre si com o teste de Tukey em 5% ( $p < 0,05$ ) de significância, enquanto as concentrações de Mo foram submetidas à análise de regressão polinomial. Os dados meteorológicos e enzimáticos obtidos foram submetidos a uma análise de correlação de Pearson ( $p < 0,05$ ) com a força da correlação classificada segundo Schober et al. (2018). E, ainda foi realizada uma Análise de Componentes Principais (PCA). As análises e elaboração dos gráficos foram realizadas com softwares R (3.5.2) e Sigma Plot (14.5).

### **3.1.3 Resultados**

#### **Atividade da enzima nitrato redutase**

Os resultados da análise de variância para a atividade da enzima NR na safra 22/23 mostraram uma interação significativa nas duas primeiras induções. A terceira e quarta apresentaram efeito significativo para os fatores isolados (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo da análise de variância para a atividade da nitrato redutase em mangueiras cv. Tommy Atkins em função das concentrações de molibdênio e nitrato.

| FV                   | Safr 22/23          |          |                      |                     | Safr 23/24 |                     |           |          |
|----------------------|---------------------|----------|----------------------|---------------------|------------|---------------------|-----------|----------|
|                      | 1NR                 | 2NR      | 3NR                  | 4NR                 | 1NR        | 2NR                 | 3NR       | 4NR      |
| Mo                   | 11,308**            | 43,312** | 4,210*               | 6,308**             | 21,041**   | 2,440 <sup>ns</sup> | 101,346** | 6,449**  |
| NO <sub>3</sub>      | 1,167 <sup>ns</sup> | 7,877*   | 11,410**             | 7,867*              | 37,156**   | 1,029 <sup>ns</sup> | 181,466** | 26,566** |
| Mo × NO <sub>3</sub> | 3,780*              | 28,804** | 0,1920 <sup>ns</sup> | 0,667 <sup>ns</sup> | 12,726**   | 4,183*              | 155,160** | 4,282*   |
| CV (%)               | 11,46               | 9,08     | 24,39                | 9,74                | 38,61      | 79,23               | 7,36      | 16,37    |

FV: fonte de variação; CV: coeficiente de variação; ns: não significativo; \*\*: significativo em 1% probabilidade; \*: significativo em 5% probabilidade. NR: nitrato redutase.

Após a 1NR, a atividade da NR foi influenciada por as concentrações de Mo com +NO<sub>3</sub>, ajustando-se ao modelo quadrático, alcançando o pico de atividade (0,088  $\mu\text{mol NO}_2^- \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) com a concentração de 0,210  $\text{g L}^{-1}$  de Mo (Figura 3a).

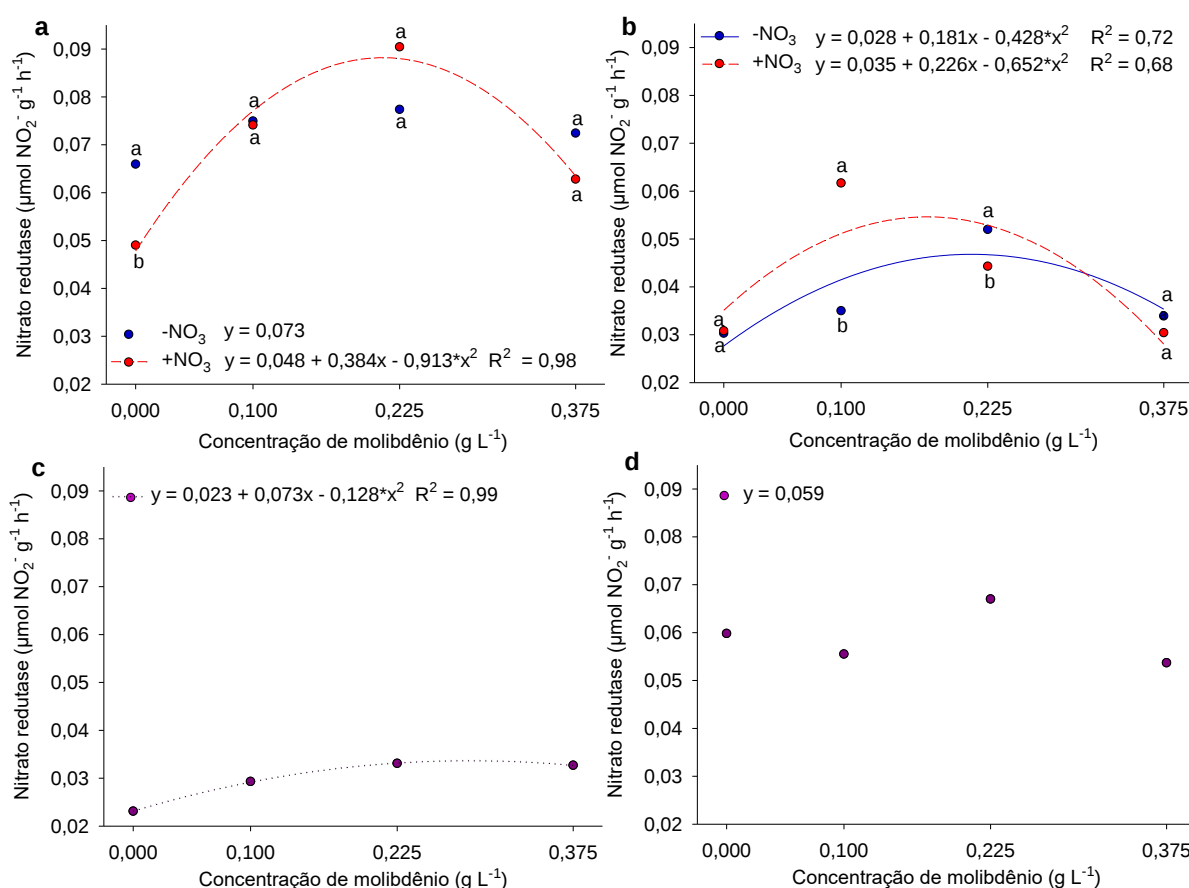


Figura 3. Atividade da nitrato redutase da mangueira cv. Tommy Atkins, em função das concentrações de molibdênio e nitrato de cálcio após a 1<sup>a</sup> (a), 2<sup>a</sup> (b) e 3<sup>a</sup> (c) e 4<sup>a</sup> (d) indução floral, safra 2022/23. Letras diferentes na mesma concentração de molibdênio diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ); -NO<sub>3</sub>: concentração ajustada; +NO<sub>3</sub> concentração convencional.

Entre as concentrações de nitrato, observou-se diferença para a 0,000 g L<sup>-1</sup> de Mo, onde a concentração +NO<sub>3</sub> apresentou um resultado inferior à concentração -NO<sub>3</sub> (Figura 3a). Na 2NR a atividade também se ajustou ao modelo quadrático para as duas concentrações de nitrato (Figura 3b), porém, os valores absolutos foram relativamente menores em comparação a 1NR. Além disso, observou-se diferença entre as concentrações de nitrato com 0,100 e 0,225 g L<sup>-1</sup> de Mo. Mangueiras tratadas com mais de 0,180 e 0,210 g L<sup>-1</sup> de Mo para +NO<sub>3</sub> e -NO<sub>3</sub>, respectivamente, apresentaram redução na atividade da NR, sendo esta uma evidência de essa quantidade de Mo estar acima da capacidade de redução do nitrato no tecido vegetal da mangueira de acordo com a quantidade de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> fornecida.

Na 3NR não houve diferença significativa entre as concentrações de nitrato, mas as doses de Mo se ajustaram ao modelo quadrático, porém com pico de atividade inferior às duas primeiras análises (Figura 3c). Na 4NR o R<sup>2</sup> ficou baixo (0,33 - modelo quadrático), não se ajustando a nenhum modelo matemático avaliado (Figura 3d).

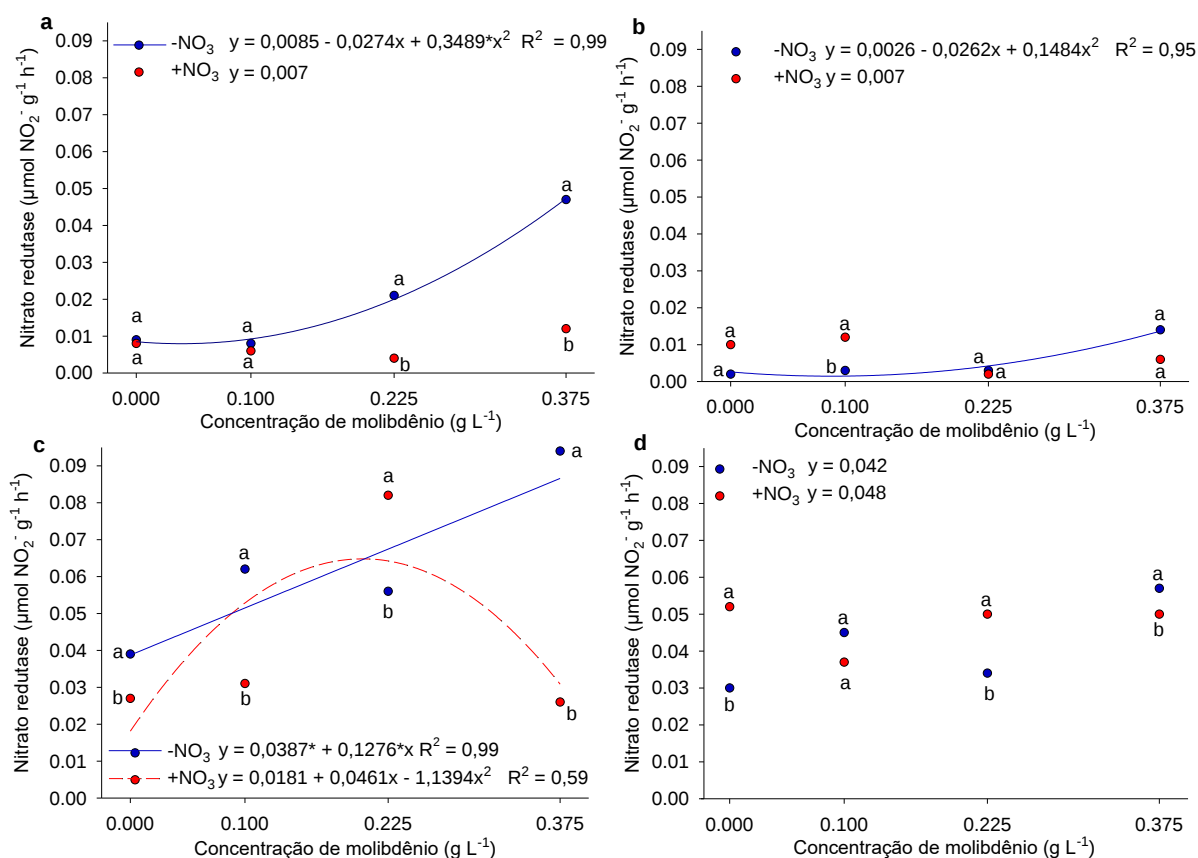


Figura 4. Atividade da nitrato redutase da mangueira cv. Tommy Atkins, em função das concentrações de molibdênio e nitrato de cálcio após a 1<sup>a</sup> (a), 2<sup>a</sup> (b) e 3<sup>a</sup> (c) e 4<sup>a</sup> (d) indução floral, safra 2023/24. Letras diferentes na mesma concentração de molibdênio diferem pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05); -NO<sub>3</sub>: concentração ajustada; +NO<sub>3</sub> concentração convencional.

Para a safra 23/24 houve interação significativa em todas as datas que a NR foi analisada (Figura 4), indicando que o aumento das concentrações médias de nitrato foi salutar para permanecer a diferença entre as doses de nitrato por mais tempo, comparado a safra 23/24 (Figura 3).

Para  $-\text{NO}_3$ , houve efeito significativo entre as concentrações de Mo após as três primeiras análises da atividade enzimática, todas com um crescimento mais acentuado acima de  $0,225 \text{ g L}^{-1}$ . Enquanto com a  $+\text{NO}_3$  as concentrações de Mo só tiveram ajuste na 3NR, com pico de atividade de  $0,065 \mu\text{mol NO}_2^- \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$  com  $0,201 \text{ g L}^{-1}$  de Mo, perfazendo um acréscimo de 261% em relação ao controle ( $0,0 \text{ g L}^{-1}$ ) e uma redução de 51% comparado à máxima concentração de Mo ( $0,375 \text{ g L}^{-1}$ ).

Em geral com  $-\text{NO}_3$  a atividade enzimática foi superior em mais concentrações de Mo entre todas as datas avaliadas, sendo o principal destaque com  $0,375 \text{ g L}^{-1}$ , havendo a maior diferença na 3NR, 262% entre valores absolutos. Nas situações em que a maior  $+\text{NO}_3$  foi superior a  $-\text{NO}_3$ , todas estavam abaixo de  $0,375 \text{ g L}^{-1}$ .

### ***Radiação solar global***

Apesar das intervenções antrópicas, como o manejo cultural e aplicação dos tratamentos, condições ambientais sempre regem a fisiologia das plantas. Neste sentido, como destaque, a atividade da NR resultante de cada fator avaliado (nitrato e Mo), apresentou forte correlação positiva com a radiação solar global, nas duas safras estudadas (Figura 5).

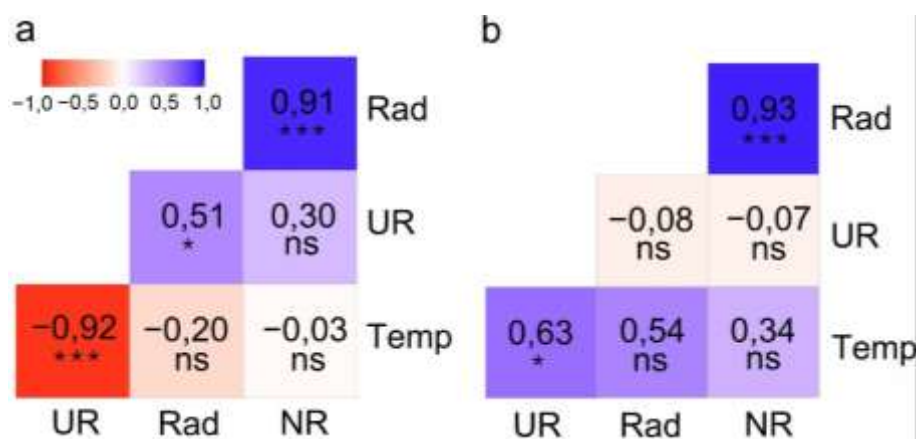


Figura 5. Correlação de Pearson entre a atividade da enzima nitrato redutase, resultante da combinação de concentrações de molibdênio e nitrato, e variáveis climáticas nas safras 2022/23 (a) e 2023/24 (b) da mangueira cv. 'Tommy Atkins'. ns: não significativo; \*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,1$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ ; UR: umidade relativa do ar; NR: Nitrato redutase; Temp: Temperatura do ar; Rad: Radiação solar global.

A umidade relativa e a temperatura média do ar não manifestaram relação significativa com a atividade da NR.

Na safra 22/23 a atividade da NR apresentou tendências quadráticas em função do aumento da radiação solar, com pico ( $0,101 \mu\text{mol NO}_2^- \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) quando estava com  $23,84 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , com a  $-\text{NO}_3$ , e  $24,06 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , com  $+\text{NO}_3$  (Figura 6b). Na safra 23/24 o pico da NR ( $0,065 \mu\text{mol NO}_2^- \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) ocorreu com  $27,70 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  com  $-\text{NO}_3$ , mas para concentração  $-\text{NO}_3$  a resposta foi linear, com atividade máxima com  $28,70 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  (Figura 6b).

Para as concentrações de nitrato, com  $-\text{NO}_3$  o pico de atividade da NR foi quando a radiação solar global estava em  $26,2$  e  $28,2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  nas safras 22/23 e 23/24, respectivamente, ambas próximo a  $0,07 \mu\text{mol NO}_2^- \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ . Com  $+\text{NO}_3$  os picos foram quando a radiação estava em  $26,2$  e  $28,7 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  nas safras 22/23 e 23/24, respectivamente. Porém, com redução da NR de  $0,02 \mu\text{mol NO}_2^- \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$  na safra 23/24 (Figura 6).

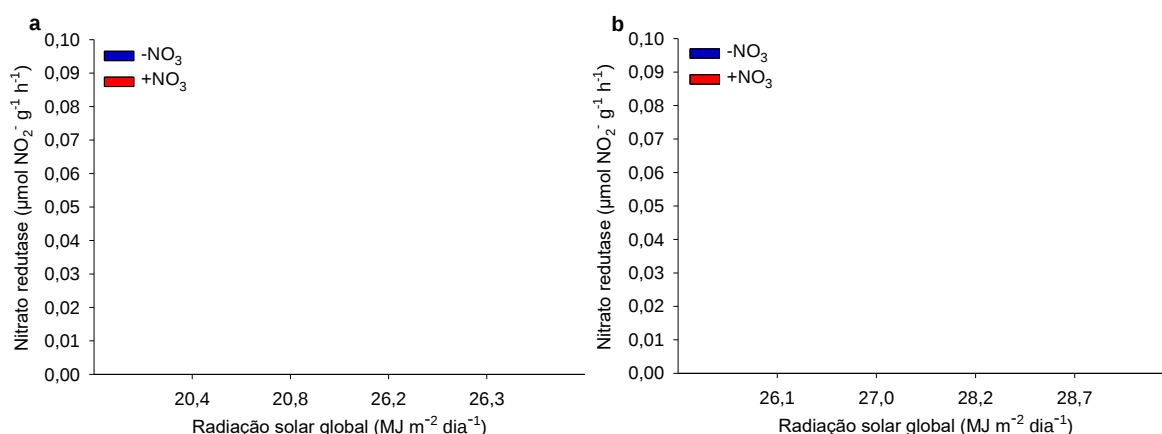


Figura 6. Atividade da enzima nitrato redutase durante a indução floral sob concentrações de molibdênio, em virtude da radiação solar global, nas safras 2022/23 (a) e 2023/24 (b) da mangueira cv. Tommy Atkins.  $-\text{NO}_3$ : concentração ajustada;  $+\text{NO}_3$  concentração convencional.

Vale salientar que na safra 23/24 a amplitude da radiação foi menor ( $2,60 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) e média da radiação foi maior ( $27,50 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) comparado à safra 22/23 (amplitude de  $5,90 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  e média de  $23,43 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ).

Sobre a relação do fator Mo em virtude da radiação solar global, as concentrações intermediárias de Mo ( $0,100 \text{ g L}^{-1}$  e  $0,225 \text{ g L}^{-1}$ ) proporcionaram maior tendência de atividade da NR, na safra 22/23 (Figura 7a).

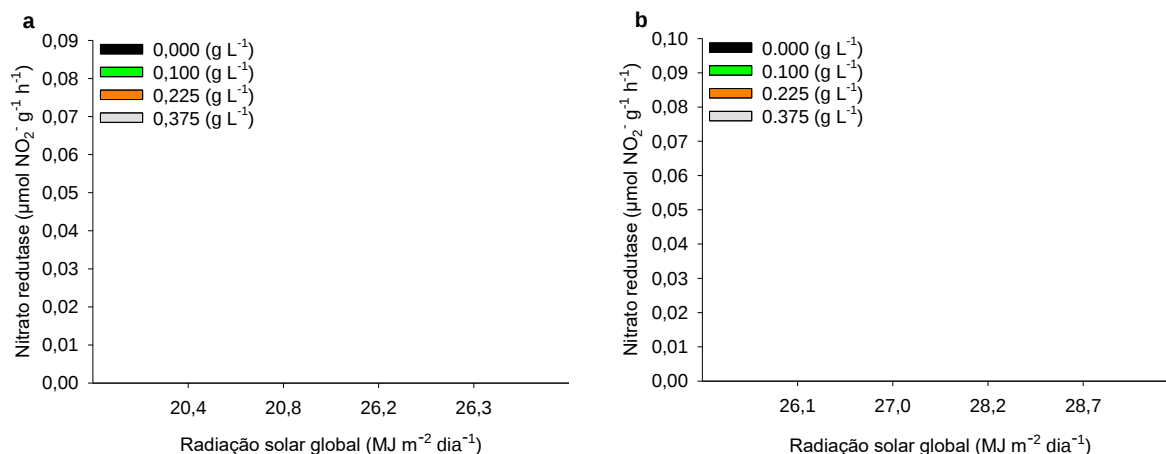


Figura 7. Atividade da enzima nitrato redutase durante a indução floral sob concentrações de molibdênio, em função da radiação solar global, nas safras 2022/23 (a) e 2023/24 (b) da mangueira cv. 'Tommy Atkins'.

Na safra 23/24 (Figura 7b) a resposta foi gradual, com tendência de crescimento da máxima atividade enzimática conforme o aumento da concentração de Mo, ou seja, a quantidade no tecido vegetal estava inferior ao requerido pela planta, mesmo com a maior suplementação de nitrato, que apresentou atividade máxima inferior à da safra 22/23.

Por fim, a variação de radiação entre as safras resultou em maiores atividades da NR na primeira safra, quando a amplitude da radiação foi maior ( $6 \text{ MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ) e a média foi menor ( $23 \text{ MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ). No entanto, na safra 22/23, houve maior frequência de precipitação durante a indução floral comparado à safra 23/24 (Figura 1).

### **Florescimento e produtividade**

Após a 5NR a concentração na massa seca foliar de Mo em relação a 1.000.000 N teve interação significativa nas duas safras avaliadas. Em ambas as safras a concentração foliar de Mo, nas plantas de tratamentos controle, ficou abaixo das mangueiras tradas com Mo. Na safra 22/23 houve um acréscimo máximo estimado de 470% com  $-\text{NO}_3$  e 1420% com  $+\text{NO}_3$ , na safra 23/24 o acréscimo foi de 42740% com  $-\text{NO}_3$  e 75190% com  $+\text{NO}_3$ . E, ainda, na primeira safra a proporção de Mo:N foi relativamente maior que na segunda safra (Figura 8).

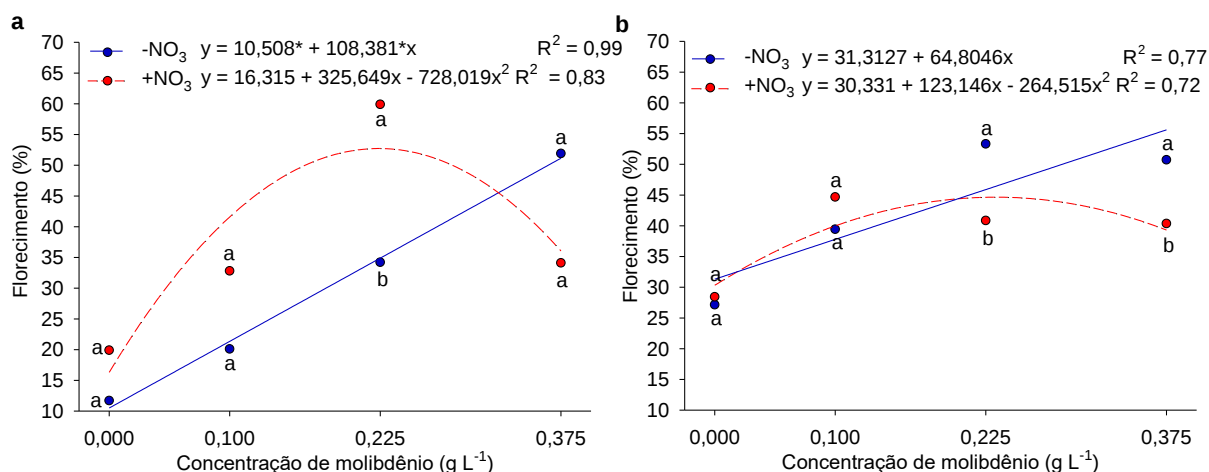


Figura 8. Relação da concentração foliar de Mo:N em função das concentrações de molibdênio e nitrato de cálcio no florescimento pleno da mangueira cv. Tommy Atkins nas safras 2022/23 (a) e 2023/24 (b). Letras diferentes na mesma concentração de molibdênio diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ); -NO<sub>3</sub>: concentração ajustada; +NO<sub>3</sub> concentração convencional.

Em relação às concentrações de nitrato foliar apenas com 0,100 g L<sup>-1</sup> de Mo houve superioridade com a concentração ajustada, isto na safra 22/23. Com 0,225 g L<sup>-1</sup> de Mo a concentração convencional foi superior na safra 23/24. Apenas com 0,375 g L<sup>-1</sup> de Mo os resultados se replicaram em ambas as safras, sendo a convencional 127% e 32% superiores à concentração ajustada, nas safras 22/23 e 23/24, respectivamente.

Observa-se que a proporção de átomos de Mo em relação a N aumentou consideravelmente com a suplementação de Mo, nas duas safras estudadas (Tabela 5). Além disso, a concentração de nitrato influenciou as respostas fisiológicas, quanto ao acúmulo destes nutrientes no tecido vegetal.

Tabela 5. Proporção de átomos de molibdênio e nitrogênio após a quinta indução floral da mangueira cv. Tommy Atkins, em função das concentrações de molibdênio e nitrato

| Mo (g L <sup>-1</sup> ) | Safra 22/23               |                  | Safra 23/24      |                  |
|-------------------------|---------------------------|------------------|------------------|------------------|
|                         | -NO <sub>3</sub>          | +NO <sub>3</sub> | -NO <sub>3</sub> | +NO <sub>3</sub> |
|                         | ----- Mo:1.000.000N ----- |                  |                  |                  |
| 0,000                   | 0,90                      | 0,43             | 0,01             | 0,01             |
| 0,100                   | 11,03                     | 4,64             | 4,61             | 5,10             |
| 0,225                   | 8,89                      | 6,21             | 5,09             | 12,17            |
| 0,375                   | 8,80                      | 20,09            | 6,01             | 7,93             |

+NO<sub>3</sub>: Concentração Convencional; -NO<sub>3</sub>: Concentração ajustada.

Florescimento e Produtividade também tiveram interação significativa dos fatores nas duas safras (Tabela 6), mostrando serem responsivos às concentrações de molibdênio e nitrato.

Tabela 6. Síntese da análise de variância para o florescimento e produtividade da cv. Tommy Atkins em função das concentrações de molibdênio e nitrato de cálcio

| FV                                | Safr 2022/23        |               |                      | Safr 2023/24 |                     |                     |
|-----------------------------------|---------------------|---------------|----------------------|--------------|---------------------|---------------------|
|                                   | Mo:N                | Florescimento | Produtividade        | Mo:N         | Florescimento       | Produtividade       |
| Mo                                | 21,167**            | 29,416**      | 5,4506*              | 132,125**    | 17,206**            | 115,591**           |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>      | 0,029 <sup>ns</sup> | 5,422*        | 0,0741 <sup>ns</sup> | 53,015**     | 3,694 <sup>ns</sup> | 3,699 <sup>ns</sup> |
| Mo × NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 10,111**            | 6,853**       | 3,0540*              | 24,853**     | 4,172*              | 40,539**            |
| CV (%)                            | 44,25               | 22,53         | 30,78                | 17,92        | 14,78               | 16,34               |

FV: fonte de variação; CV: coeficiente de variação; ns: não significativo; \*\*: significativo a 1% probabilidade; \*: significativo em 5% probabilidade. NR: nitrato redutase.

O percentual de florescimento obteve acréscimos substanciais com a suplementação de Mo nas duas safras avaliadas, havendo efeito linear com -NO<sub>3</sub>, obteve florescimento máximo estimado de 51,90%, e efeito quadrático com +NO<sub>3</sub>, obteve florescimento máximo de 52,73% com 0,224 g L<sup>-1</sup> de Mo (Figura 9a). Na safra 23/24, em ambas as concentrações de nitrato, os resultados ajustaram semelhante à safra anterior. Para a concentração ajustada houve acréscimo de 95,71% até o ápice de florescimento (53,13%) com 0,297 g L<sup>-1</sup> de Mo. Para a concentração convencional houve acréscimo de 47,25% até o ápice de florescimento (44,66%) com 0,234 g L<sup>-1</sup> de Mo (Figura 9b). É ainda possível notar que os valores de florescimento das mangueiras do tratamento controle, sem suplementação de Mo, foram relativamente maiores na safra 23/24 para as duas concentrações de nitrato estudadas.

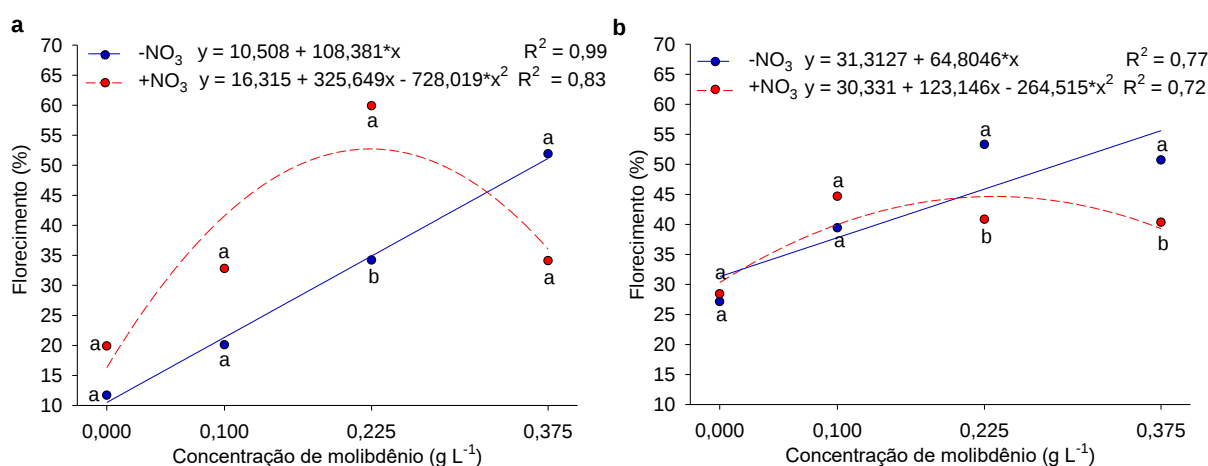


Figura 9. Percentual de florescimento em função das concentrações de molibdênio e nitrato de cálcio no florescimento pleno da mangueira cv. Tommy Atkins nas safras 2022/23 (a) e 2023/24 (b). Letras diferentes na mesma concentração de molibdênio diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ); -NO<sub>3</sub>: concentração ajustada; +NO<sub>3</sub> concentração convencional.

Para o florescimento em relação às concentrações de nitrato, houve diferença significativa apenas com 0,225 g L<sup>-1</sup> de Mo na safra 22/23, com superioridade de 75,15% de +NO<sub>3</sub>. Porém, na safra 23/24 houve diferença significativa com 0,225 g L<sup>-1</sup> e 0,375 g L<sup>-1</sup>, mas, nestas situações com superioridade de -NO<sub>3</sub>, sendo 30,52% e 25,72%, respectivamente.

As tendências observadas no florescimento foram semelhantes ao observado na produtividade, principalmente em relação ao ajuste dos modelos polinomiais em função das concentrações de Mo (Figura 10). Na safra 22/23 a produtividade teve crescimento mais ascendente para a concentração ajustada de nitrato comparado à concentração convencional de nitrato, porém, com diferença estatística apenas quando combinado a 0,100 g L<sup>-1</sup> de Mo, onde +NO<sub>3</sub> foi superior a -NO<sub>3</sub>, resultado replicado na safra 23/24.

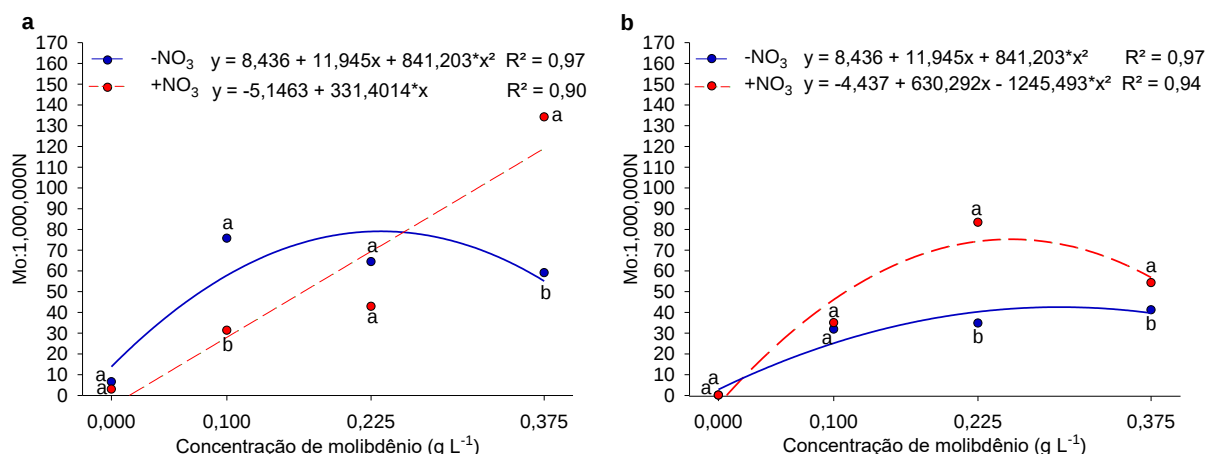


Figura 10. Produtividade em função das concentrações de molibdênio e nitrato de cálcio da mangueira cv. Tommy Atkins na safra 2022/23 (a) e na safra 2023/24 (b). Letras diferentes na mesma concentração de molibdênio diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ); -NO<sub>3</sub>: concentração ajustada; +NO<sub>3</sub> concentração convencional.

Na safra 23/24 houve ainda diferenças significativas nas outras três concentrações de Mo. No controle a aplicação de +NO<sub>3</sub> aumentou a produtividade das mangueiras em 41,96%, comparado a -NO<sub>3</sub>. Enquanto nas duas maiores concentrações de Mo o uso da concentração ajustada de nitrato resultou no aumento da produtividade em 18,93% e 19,65% comparado à concentração convencional.

O acréscimo de produtividade máximo observado entre as mangueiras em relação ao controle na safra 22/23 foi de 91,73% e 85,79% para -NO<sub>3</sub> e +NO<sub>3</sub>, respectivamente. Na safra 23/24 o aumento foi de 142,52% e 46,14% para -NO<sub>3</sub> e +NO<sub>3</sub>, respectivamente.

A PCA foi realizada para visualizar a distribuição das variáveis estudadas e identificar a correlação entre elas. O gráfico biplot da PCA (Figura 11) ilustra a contribuição de cada variável para os dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2), que juntos explicam 66,2% e 69,3% da variabilidade total dos dados nas safras 22/23 e 23/24, respectivamente.

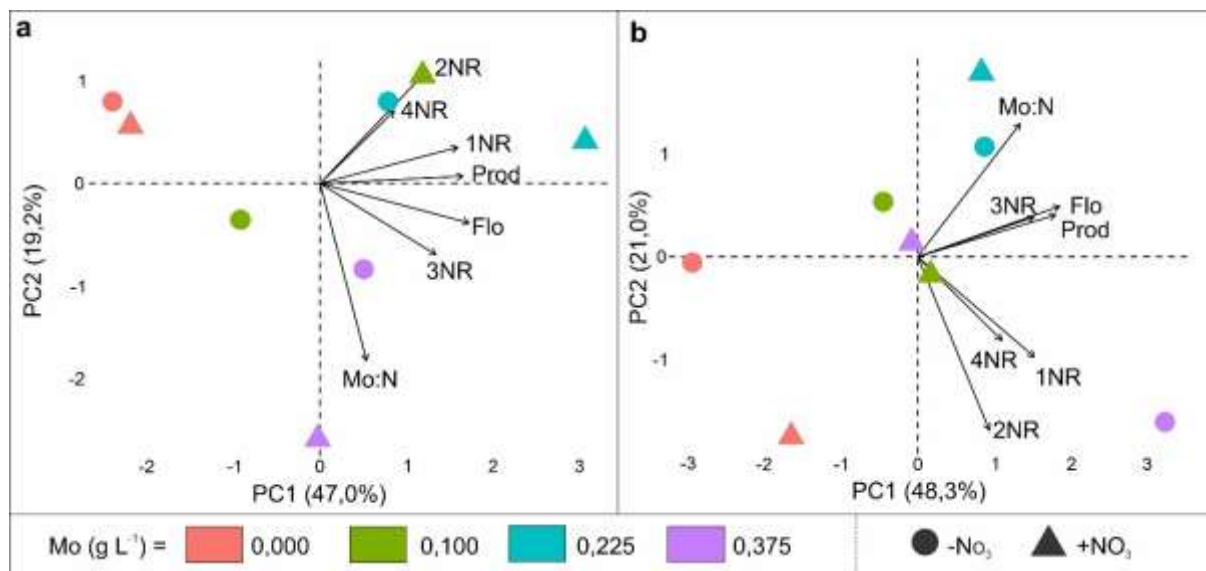


Figura 11. Biplot dos componentes principais da safra 2022/23 (a) e 2023/24 (b) da mangueira cv. Tommy Atkins. NR (1, 2, 3 e 4): ordem da análise da enzima nitrato redutase; Mo:N: Concentração de Mo em relação a 1.000.000 de N; Flo: Percentual florescimento; Prod: Produtividade.

Observa-se que os tratamentos com menor concentração de Mo (0,0 g L<sup>-1</sup>) tendem a se agrupar em quadrantes específicos, nas duas safras estudadas (Figura 11), indicando padrões consistentes de variação. Estes tratamentos estão negativamente associados à atividade enzimática, proporção Mo:N, florescimento e produtividade, independente da concentração de nitrato.

Por outro lado, as concentrações intermediárias tiveram relação mais satisfatória com o florescimento da mangueira, especialmente com a concentração de 0,225 g L<sup>-1</sup> de Mo, independente da concentração de nitrato na safra 23/24 (Figura 11b), com exceção de 0,375 g L<sup>-1</sup> de Mo na safra 22/23.

Além disso, é notável que entre o autovetor (seta) da variável 4NR foi o mais curta nas duas safras, portanto, o que menos contribuiu na variabilidade dos resultados, ou seja, após a quarta indução floral, a atividade enzimática influenciou menos a proporção Mo:N, o florescimento e a produtividade.

### 3.1.4 Discussão

#### ***Molibdênio e nitrato modulam a atividade da enzima nitrato redutase***

Os resultados deste estudo confirmam que baixos teores de Mo nas folhas limitam significativamente a atividade da NR, mesmo quando há concentrações adequadas de nitrato. Estudos prévios em laranjeiras (Hippler et al., 2017) corroboram esses achados, reforçando que a suplementação de Mo é crucial para maximizar a atividade da NR.

O Mo é um componente essencial para a NR, uma das enzimas mais dependentes desse micronutriente (Rana et al., 2020b). Embora as plantas precisem de pequenas quantidades de Mo, a falta ou o excesso podem desequilibrar a nutrição e afetar a assimilação de nitrato. No presente estudo, a concentração de Mo mostrou um efeito positivo até certo limite, ajustando-se ao modelo quadrático.

O Mo participa na transferência de elétrons, com sinais específicos: o NAD(P)H doa 2 elétrons para o cofator FAD, que os transferem para o citocromo b5 (grupo heme) e depois para o centro molibdopterina, no qual o nitrato é reduzido a nitrito (Giovannuzzi, 2024).

Assim, a suplementação de Mo, quando feita adequadamente, prepara o tecido vegetal para uma maior assimilação de nitrato (Santos et al., 2019). Observou-se que a baixa atividade da NR nas plantas sem suplementação de Mo foi resultado de uma insuficiência nutricional, evidenciada pelas concentrações muito baixas de Mo no tecido vegetal antes do início da indução floral.

Estudos anteriores indicam que a faixa de suficiência de Mo (1,1 a 3,1 mg kg<sup>-1</sup>) para mangueiras muito produtivas especificamente para a cv. Tommy Atkins (Rezende et al., 2022) é superior à encontrada antes do início deste experimento. Esses resultados sugerem que a deficiência de Mo é um limitador importante para a indução floral da mangueira, e que sua suplementação pode melhorar a eficiência do uso de fertilizantes nitrogenados.

É importante notar que a resposta da NR pode variar conforme a disponibilidade de Mo no solo. Na safra 22/23, a concentração de Mo no solo, embora muito baixa, parece ter contribuído para a atividade da NR, comparado à safra 23/24, em que não havia sido identificado Mo no solo, bem como também na proporção de Mo:N. Assim, o Mo disponível no solo na safra 22/23 pode ter sido absorvido e resultado em maior conteúdo no tecido vegetal quando somado à aplicação exógena via foliar, comparado à safra 23/24.

Ademais, o efeito do Mo sobre a atividade enzimática tendeu a reduzir-se com o passar do tempo, como também relatado por Hippler et al. (2017) e Ibarra et al. (2023), o que torna evidente que o efeito residual do Mo é relativamente curto, principalmente porque ele não fica permanentemente conjugado à enzima NR (Giovannuzzi, 2024). Portanto, há necessidade de reposição de Mo com outra suplementação. Os dados indicam que, após a 2ª ou 3ª indução, o Mo deve ser reaplicado, com a finalidade de florescimento.

### ***A radiação solar global exerce influência positiva sobre a nitrato redutase***

A radiação solar foi o principal fator meteorológico a influenciar a atividade da NR, superando a umidade relativa e a temperatura do ar. Esses resultados estão de acordo com Santos et al. (2021), que encontraram uma forte relação entre radiação solar e a atividade da NR em mangueiras na mesma região estudada, sendo que o período de maior radiação solar, entre 10 e 11 h, coincidiu com o horário de maior atividade da NR.

Nos tratamentos com diferentes concentrações de nitrato, mangueiras suplementadas com  $\text{-NO}_3$  apresentaram maior atividade da NR. Esse resultado reforça a importância do Mo, já que a simples adição do substrato da enzima (nitrato) não é suficiente para aumentar a atividade da NR, sem que haja concentrações adequadas de Mo no tecido vegetal (Hippler et al., 2017). Assim, mangueiras submetidas a  $\text{+NO}_3$  tenderam a ter relativamente menor atividade da NR, independente do nível de radiação solar global. Isso ocorreu porque os íons nitrato atuam comoceptor de elétrons que auxiliam na oxidação do NADH (Goyal et al., 2020), mas níveis acima da capacidade redutora da NR podem gerar efeito negativo, sobretudo pela insuficiência de Mo proporcional ao requerido.

Além disso, mesmo com a presença de Mo e nitrato, a falta de radiação solar suficiente pode limitar a atividade da NR, pois a luz é necessária para a doação de elétrons, essencial para ativação da enzima (Yoneyama e Suzuki, 2020). Esse aspecto destaca a necessidade de monitoramento das condições climáticas, visando à definição dos momentos de aplicação do nitrato associado ao Mo durante a indução floral, para maximizar a eficiência de redução do nitrato. Ou seja, a aplicação do nitrato e Mo com fins de indução floral em dias com índices de radiação solar global moderadamente alto, além de evitar dias muito nublados e o sombreamento das plantas pela disposição do pomar.

Por outro lado, a prática comum em regiões produtoras é aplicar nitrato no início da manhã ou no fim da tarde, períodos em que a radiação é relativamente baixa e, resultando em baixa atividade e menor eficiência da nitrato redutase (Santos et al., 2021). Aplicações feitas nessas condições podem resultar em superacumulação de nitrato, oxidação do tecido, perda de área foliar fotossinteticamente ativa e redução da eficiência no uso do nitrogênio (Ahmed et al., 2020).

A atividade da enzima NR é principalmente modulada pela luz. No escuro, ela é dependente da quebra de açúcares, como amido e sacarose, para captação de elétrons necessários à sua ativação, porém com um maior gasto energético (Pathak et al., 2020). Portanto, em momentos de menor radiação solar global, poderá haver menor poder redutor, ou seja, menos NAD(P)H disponível para doar elétrons e, conseqüentemente, menor atividade da NR, deixando o nitrato livre (Yoneyama e Suzuki, 2020), especialmente em condição de menor concentração de Mo.

Vale salientar que a atividade enzimática das plantas é dinâmica e está sendo influenciada constantemente por diversos fatores bióticos e abióticos (Khare et al., 2020). Embora a radiação solar global module a intensidade da ativação, e tenha variado a intensidade da NR durante as datas avaliadas, o efeito dos tratamentos foi refletido no florescimento e produção. Ou seja, a suplementação de Mo em conjunto com o nitrato foi responsiva para a indução do florescimento.

### ***Suplementação de molibdênio melhora o florescimento e a produtividade***

A suplementação de Mo melhorou significativamente o florescimento e a produtividade da mangueira cv. Tommy Atkins, confirmando sua importância no aumento da eficiência da NR e da assimilação de nitrato (Figura 9 e Figura 10). No entanto, o efeito da suplementação variou conforme a concentração de nitrato utilizada, reforçando a necessidade de um manejo balanceado desses nutrientes.

Na literatura, a combinação de Mo e nitrogênio está bem estabelecida como um fator que aumenta o rendimento de diversas culturas (Imran et al. 2019; Rosado et al. 2021). No presente estudo, o florescimento foi maior em plantas com doses equilibradas de Mo e nitrato, corroborando a hipótese de que a proporção adequada entre esses elementos é crucial para o sucesso da indução floral na cultura da mangueira.

Embora o florescimento seja um indicador importante para a produção, outros fatores, como abscisão floral e condições de estresse, também afetam a produtividade final. Esses resultados indicam que, mesmo com as concentrações mais baixas de

nitrato, a suplementação de Mo pode manter a produtividade se as demais práticas de manejo forem realizadas de maneira adequada, conforme os estudos técnico-científicos (Cavalcante et al. 2018, Silva et al. 2021). A exemplo da pesquisa de Ferraz et al., (2020), os autores descobriram que uma maior densidade de ramos terminais na mangueira cv. Tommy Atkins é um dos fatores que aumentam a probabilidade da planta ter maior produção, contudo, a nutrição tem que ser equivalente à demanda produtiva da mangueira (Cavalcante et al., 2024).

Assim, a proporção entre as concentrações de Mo e nitrato apresentou resultados distintos, e devem ser considerados para sua aplicação; de forma geral com menores concentrações de Mo é preciso induzir com  $+NO_3$  e com maiores concentrações de Mo basta induzir com  $-NO_3$ . Esta menor dependência do florescimento e produção em função das concentrações de nitrato sugere que é possível manter um bom florescimento e produção com  $-NO_3$  de nitrato se as plantas estiveram com concentrações adequadas de Mo.

A literatura clássica indica que a proporção ideal entre Mo e N é 1:1.000.000 (Epstein 1972). No entanto, a proporção é uma informação geral, definida com observações em inúmeras culturas. Assim, as proporções observadas neste estudo, que resultaram em maior produtividade, podem ser um bom indicativo da real proporção ideal para a cultura da mangueira, especificamente da cv. Tommy Atkins, variando de 6,61 a 8,80 átomos de Mo, com  $-NO_3$ , e de 5,10 a 6,01 átomos de Mo, com  $+NO_3$ , em relação a um milhão de átomos de N.

Os resultados deste estudo sugerem que, com a suplementação adequada de Mo, é possível reduzir a quantidade de nitrato aplicada sem comprometer o florescimento ou a produção. Isso tem implicações importantes para a mangicultura em regiões semiáridas, onde a eficiência do uso de fertilizantes é essencial para a sustentabilidade da produção. No entanto, a definição de uma faixa de suficiência e proporção adequada entre os nutrientes ainda requer estudos adicionais para a determinação de valores precisos.

### **3.1.5 Conclusão**

O presente estudo revela que a suplementação com molibdênio promoveu um incremento significativo na atividade da enzima nitrato redutase, o que resultou em uma indução floral mais eficiente na mangueira cv. Tommy Atkins.

A aplicação equilibrada de molibdênio e nitrato mostra-se eficaz na otimização da produção da mangueira. Dentre as concentrações avaliadas, 0,225 g L<sup>-1</sup> de

molibdênio, combinada com a concentração ajustada de nitrato (0,475% a menos que a concentração usual) é a mais eficiente em termos de resposta reprodutiva.

### **Agradecimentos**

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) pelo apoio financeiro concedido ao longo da pós-graduação. A Fazenda Lins e a Fazenda Bela Safra pela disponibilização da infraestrutura essencial à condução deste experimento, e a Tradecorp pela parceria e colaboração na execução desta pesquisa. Ao grupo de pesquisa Fruticultura do Vale do São Francisco (FRUTVASF) pelo suporte técnico e científico prestado.

### **Referências**

- Ahmed, M.; Rauf, M.; Akhtar, M.; Mukhtar, Z.; Saeed, N. Hazards of nitrogen fertilizers and ways to reduce nitrate accumulation in crop plants. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 27, p. 17661-17670, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08236-y>
- Allen, R. G. (1998). Crop evapotranspiration. FAO irrigation and drainage paper, 56, 60-64.
- Baranski, A. The atomic mass unit, the Avogadro constant, and the mole: a way to understanding. *Journal of Chemical Education*, v. 89, n. 1, p. 97-102, 2012. <https://doi.org/10.1021/ed2001957>
- Cavalcante, Í. H. L.; Gomes, V. R.; Silva, L. dos S.; Cunha, J. C.; Maciel, L. H. Relationship between leaf-nutrient status, biochemical activity, pruning success and fruit yield of mangoes. *Journal of Plant Nutrition*, v. 48, n. 6, p. 943–958, 2024. <https://doi.org/10.1080/01904167.2024.2416073>
- Cavalcante, Í. H. L.; Santos, G. N. F.; Silva, M. A.; et al. A new approach to induce mango shoot maturation in Brazilian semi-arid environment. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, v. 91, p. 281–286, 2018. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2018.091.036>
- Epstein, E.: Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. John Wiley and Sons, Inc., New York, London, Sydney, Toronto. 1972, 412p.
- Ferraz, L. D. S.; Cavalcante, Í. H.; Lobo, J. T.; da Cunha, J. G. Terminal branch density and fruit production in the canopy of high-yield mango orchards, V. 85, n.2, p. 118–

- 122, 2020. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2020/85.2.6>
- Filgueiras, H. A. C. et al. Colheita e manuseio pós-colheita. In: FILGUEIRAS, H.A.C; CUNHA, A. (Org). Frutas do Brasil: Manga Pós-colheita. Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, p. 22-25, 2000.
- Giovannuzzi, S. Molybdenum enzymes. In: Metalloenzymes. Academic Press, 2024. p. 557-580. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823974-2.00005-X>
- Goyal, K., Kaur, K. Kaur, G. Foliar treatment of potassium nitrate modulates the fermentative and sucrose metabolizing pathways in contrasting maize genotypes under water logging stress. *Physiol Mol Biol Plants* 26, 899–906 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12298-020-00779-1>
- Hippler, F. W.; Boaretto, R. M.; DAVIS, V. L.; et al. Revisiting nutrient management for Citrus production: to what extent does molybdenum affect nitrogen assimilation of trees? *Scientia Horticulturae*, v. 225, p. 462-470, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.049>
- Ibarra, A. A. G.; Barrientos, E. Y.; Wrobel, K.; Escobosa, A. R. C.; Wrobel, K. Effect of copper and molybdenum in nutrient solution on Cu, Mo, Fe, Mg, Ca, Zn, Na, K status in sunflower. *Journal of Plant Nutrition*, v. 46, p. 714-730, 2023. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2071733>
- Imran, M.; Sun, X.; Hussain, S.; et al. Molybdenum-induced effects on nitrogen metabolism enzymes and elemental profile of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) under different nitrogen sources. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 20, p. 3009, 2019. <https://doi.org/10.3390/ijms20123009>
- Khalifa, S.; Abobatta, W. Climate changes and mango production (temperature). *IgMin Research*, 2023. <https://doi.org/10.61927/igmin115>
- Khare, S.; Singh, N. B.; Singh, A. Plant secondary metabolites synthesis and their regulations under biotic and abiotic constraints. *Journal of Plant Biology*, v. 63, p. 203–216, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12374-020-09245-7>
- Kist, B.B., Beling, R.R. Anuário brasileiro de horti&fruti 2024. Editora Gazeta Santa Cruz, Santa Cruz do Sul, 2023. 94 p. Acessado em 28 de janeiro de 2025. Disponível em: [https://editoragazeta.com.br/wp-content/uploads/2024/04/HF\\_2024\\_DUPLAS.pdf](https://editoragazeta.com.br/wp-content/uploads/2024/04/HF_2024_DUPLAS.pdf).

- Lopes, P. R. C.; Haji, F. N. P.; Moreira, A. N.; Mattos, M. A. A. Normas técnicas e documentos de acompanhamento da Produção Integrada de Manga. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2003. 72 p.
- Luo, C.; Yu, H. X.; Fan, Y.; Zhang, X. J.; He, X. H. Research advance on the flowering mechanism of mango. *Acta Horticulturae*, v. 1244, p. 17–22, 2019. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1244.2>
- Majerowicz, N.; França, M. G. C.; Peres, L. E. P.; Médici, L. O.; Figueiredo, A. S. Fisiologia vegetal: curso prático. Âmbito Cultural Edições, 2003.
- Pathak, R. R.; Jangam, A. P.; Malik, A. Transcriptomic and network analyses reveal distinct nitrate responses in light and dark in rice leaves (*Oryza sativa* Indica var. Panvel1). *Scientific Reports*, v. 10, p. 12228, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68917-z>
- Patil, S.I., Vyavahare, S.N., Krishna, B. et al. Studies on the expression patterns of the circadian rhythm regulated genes in mango. *Physiol Mol Biol Plants* 27, 2009–2025 (2021). <https://doi.org/10.1007/s12298-021-01053-8>
- Pattyn, J.; Vaughan-Hirsch, J.; Poel, B. The regulation of ethylene biosynthesis: a complex multilevel control circuitry. *New Phytologist*, v. 229, p. 770-782, 2020. <https://doi.org/10.1111/nph.16873>
- Rana, M. S.; Bhandana, P.; Imran, M. et al. Molybdenum potential vital role in plants metabolism for optimizing the growth and development. *Annals of Environmental Science and Toxicology*, v. 4, p. 32-44, 2020a. <https://dx.doi.org/10.17352/aest.000024>.
- Rana, M. S.; Bhandana, P.; Sun, X. C. et al. Molybdenum as an essential element for crops: an overview. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, v. 24, p. 18535-18547, 2020b. <http://dx.doi.org/10.26717/BJSTR.2020.24.004104>
- Rezende, J. S.; Freire, F. J.; Silva, S. R. et al. Establishment of specific DRIS standards for mango cultivars Tommy Atkins, Kent and Keitt compared to generic standards in the Sub-Middle São Francisco Valley. *Journal of Plant Nutrition*, v. 45, p. 2627-2654, 2022. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2064294>
- Rosado, T. L.; Freitas, M. S. M.; Carvalho, A. J. C. et al. Nutrition of conilon coffee under fertilization of nitrogen and molybdenum. *Journal of Plant Nutrition*, v. 45, p. 1–14, 2021. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1943750>

- Santos, A. J. S.; Paiva Neto, V. B.; Sanches, L. G. et al. Nitrate reductase activity in the different phenophases of 'palmer' mango cultivated in the semiarid. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, v. 94, p. 192-198, 2021. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2021.094.024>
- Santos, I. S., Ribeiro, T. H. C., de Oliveira, K. K. P. et al. Multigenic regulation in the ethylene biosynthesis pathway during coffee flowering. *Physiol Mol Biol Plants* 28, 1657–1669, 2022. <https://doi.org/10.1007/s12298-022-01235-y>
- Santos, R. L.; Freire, F. J.; Oliveira, E. C. A. et al. Nitrate Reductase Activity and Nitrogen and Biomass Accumulation in Sugarcane under Molybdenum and Nitrogen Fertilization. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.43, p.1-19, 2019. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcS20180171>
- Schober, P.; Boer, C.; Schwarte, L. A. Correlation coefficients: appropriate use and interpretation. *Anesthesia & Analgesia*, v. 126, n. 5, p. 1763-1768, 2018. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002864>
- Silva, D. J.; Quaggio, J. A.; Pinto, P. D. C.; Pinto, A. D. Q.; Magalhães, A. D. J. Nutrição e adubação. In: Genú, P. J. C.; Pinto, C. A. Q. (eds.). *A cultura da mangueira*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. p.191-222.
- Silva, F. C. S. (Ed.). *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.
- Silva, L. S.; Cavalcante, Í. H. L.; Cunha, J. G.; et al. Organic acids allied with paclobutrazol modify mango tree 'Keitt' flowering. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 44, p. 1-13, 2022. <https://doi.org/10.1590/0100-29452022003>
- Silva, L. S.; Sousa, K. Â. O.; Pereira, E. C. V. et al. Advances in mango 'Keitt' production system: PBZ interaction with fulvic acids and free amino acids. *Scientia Horticulturae*, v. 277, p. 109787, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109787>
- Sutton, M.; The nitrogen fix: from nitrogen cycle pollution to nitrogen circular economy-frontiers 2018/19: emerging issues of environmental concern chapter 4. *Frontiers 2018/19: Emerging Issues of Environmental Concern*, 2019.
- Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. *Manual de métodos de análise de solo*. 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.
- Teixeira, A. H. C.; Bastiaanssen, W. G. M; Moura, M. S. B.; et al. Energy and water

balance measurements for water productivity analysis in irrigated mango trees, Northeast Brazil. *Agric For Meteorol.* 148:1524-1537, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.05.004>.

Vidal, E.; Álvarez, J.; Araus, V.; et al. Nitrate in 2020: thirty years from transport to signaling networks. *Plant Cell*, v. 32, p. 2094-2119, 2020. <https://doi.org/10.1105/tpc.19.00748>

Yoneyama, T.; Suzuki, A. Light-independent nitrogen assimilation in plant leaves: nitrate incorporation into glutamine, glutamate, aspartate, and asparagine traced by <sup>15</sup>N. *Plants*, v. 9, n. 10, p. 1303, 2020. <https://doi.org/10.3390/plants9101303>

Zwertvaegher, I. K.; Van Daele, I.; Verheesen, P.; Peferoen, M.; Nuyttens, D. Development and implementation of a laboratory spray device and rainfall simulator for retention research using small amounts of agroformulations. *Pest Management Science*, v. 73, n. 1, p. 123-129, 2017. <https://doi.org/10.1002/ps.4333>

### **3.2. INDUÇÃO FLORAL DA MANGUEIRA: ESTRATÉGIAS DE NUTRIÇÃO COM MOLIBDÊNIO E NITRATO PARA MELHORAR A FLORAÇÃO**

Resumo: A indução floral da mangueira é uma técnica que proporciona florescimento em qualquer época do ano. Todavia, dentre as etapas que constituem a indução floral, a aplicação de nitrato precisa ser aperfeiçoada, devido à baixa eficiência de absorção de nitrato pelas plantas, que pode ocorrer por deficiência de molibdênio, nutriente chave para ativação da enzima nitrato redutases, que condiciona a absorção de nitrato por plantas. Portanto, o presente estudo tem por objetivo investigar o papel dessa associação na melhoria do status nutricional, pigmentos fotossintéticos, carboidratos solúveis, florescimento e produção das plantas de mangueira ‘Tommy Atkins’ cultivada em região semiárida. O experimento foi conduzido em pomar comercial da mangueira cv. ‘Tommy Atkins’, na região do Vale do Submédio São Francisco, Brasil, entre 2022 e 2024. O delineamento experimental foi disposto em blocos ao acaso com cinco repetições e seis plantas por parcela, com tratamentos distribuídos em esquema em fatorial 4 x 2 com quatro concentrações de molibdênio (0,000, 0,100, 0,225, 0,375 g L<sup>-1</sup>) e duas concentrações de nitrato de cálcio (convencional e ajustada). A suplementação de molibdênio é salutar para a indução floral da mangueira, podendo aumentar a eficiência de aplicação de nitrato. Magnésio, manganês e cobre, também desempenham papéis relevantes na formação de panículas. A suplementação de molibdênio em mangueiras em conjunto com nitrato pode ser usada para otimizar o processo de indução floral da mangueira. A quantidade de nitrato usada na indução floral pode ser reduzida sem diminuir o potencial de floração e produção, contanto que haja suplementação conjunta de molibdênio. A combinação de 0,100 g L<sup>-1</sup> de Mo com a concentração usual de nitrato ou a combinação de 0,225 g L<sup>-1</sup> de Mo com a concentração ajustada de nitrato (0,475% a menos que a concentração usual) otimiza a indução floral da mangueira.

### 3.2.1 Introdução

A mangicultura tem avançado em tecnologias gerando desempenho notável, caracterizado por produção uniforme e elevada produtividade ao longo do ano. Esse sucesso se deve, em grande parte, às estratégias avançadas de manejo do florescimento, que incluem podas de produção, o uso de inibidores da biossíntese de giberelinas (GA), a maturação de ramos, a aplicação de estresse hídrico e o uso de sais de nitrato (Cavalcante et al., 2018).

Apesar do avanço dessas tecnologias, os efeitos da aplicação de sais de nitrato ainda apresentam discrepâncias quanto à quantidade e frequência ideais para indução floral. Assim, torna-se essencial aprimorar técnicas que maximizem a eficiência desse manejo.

A aplicação foliar de nitrato ativa a enzima nitrato redutase (NR), catalisador essencial na conversão do nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) em nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e, posteriormente, em amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), permitindo a assimilação do nitrogênio em N-aminoácidos. Esses compostos são precursores de substâncias como a metionina e o etileno, hormônio fundamental na diferenciação floral (Burg e Burg, 1966).

O metabolismo do nitrato depende de um adequado suprimento de nutrientes, sendo a mangueira uma cultura de alta demanda nutricional (Silva et al., 2022; Rezende et al., 2023). A adequada disponibilidade de macronutrientes e micronutrientes é essencial para sustentar processos fisiológicos críticos, como a fotossíntese, o metabolismo energético e a biossíntese de hormônios vegetais, fatores que influenciam diretamente seu florescimento e produção (Rezende et al., 2023; Cavalcante et al., 2024). O molibdênio (Mo), por exemplo, é essencial para a atividade da nitrato redutase. Sua deficiência pode levar ao acúmulo de nitrato na planta sem conversão eficiente, resultando em menor síntese de clorofila, redução da fotossíntese e limitação da produção de carboidratos (Sathee e Jain, 2021; Hippler et al., 2017). Em condições de deficiência, mesmo com disponibilidade de nitrogênio, a assimilação do nutriente torna-se ineficiente, comprometendo o potencial produtivo da cultura (Marschner, 2012).

O fornecimento adequado de molibdênio antes da diferenciação floral é determinante para a eficiência do florescimento, pois otimiza a assimilação do nitrato aplicado nesse período. A atividade ideal da nitrato redutase depende diretamente de seu cofator, o molibdênio, essencial para o metabolismo do nitrogênio e a síntese de aminoácidos (Jayakumar et al., 2024). Além disso, a maior disponibilidade de nitrato

na planta favorece a atividade da enzima, destacando a importância da aplicação conjunta de molibdênio e nitrato para potencializar a assimilação (Hippler et al., 2017).

Nesse contexto, levanta-se a hipótese de que a associação entre a aplicação de nitrato e a suplementação de molibdênio pode otimizar o processo de indução floral da mangueira. Assim, o presente estudo tem como objetivo investigar o impacto dessa interação na melhoria do estado nutricional, dos pigmentos fotossintéticos, dos carboidratos solúveis, do florescimento e da produção da mangueira 'Tommy Atkins'.

### 3.2.2 Material e métodos

#### Área experimental

O experimento foi conduzido em Petrolina-PE, Brasil, na região semiárida do Submédio do Vale do São Francisco, durante duas safras: 2022/2023 (22/23) e 2023/2024 (23/24). Cada safra foi realizada em um pomar comercial de mangueira cv. Tommy Atkins, enxertada sobre o porta-enxerto 'Espada'. Na safra 22/23, o experimento ocorreu na Fazenda Lins (9°21'24"S, 40°33'01"W), em plantas com 22 anos, enquanto na safra 23/24 foi conduzido na Fazenda Bela Safra (9°15'44"S, 40°27'21"W), em plantas com 26 anos.

Ao longo do experimento, dados meteorológicos, incluindo precipitação, temperatura, umidade relativa e radiação solar, foram registrados por estação meteorológica automática monitorada pelo Laboratório de Meteorologia (LABMET) da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), conforme na Figura 1.

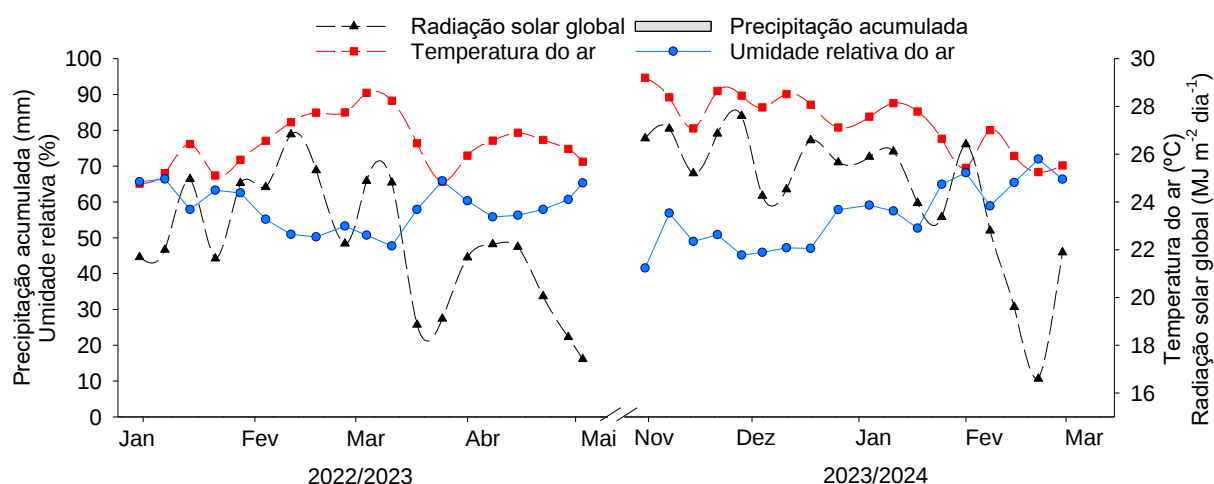


Figura 1. Dados meteorológicos semanais monitorados durante o experimento em Petrolina-PE.

### ***Manejo cultural***

As mangueiras da área experimental foram submetidas à poda de produção, que consiste na remoção de ramos velhos, doentes ou desarranjados (voltados para o centro ou para baixo da copa) para brotações de novos ramos com maior potencial produtivo. Adiante, quando os ramos do segundo fluxo estavam totalmente expandidos, foi aplicado 10 ml por planta do paclobutrazol (PBZ), para inibir a síntese de giberelina e restringir o crescimento vegetativo da cultura, esta aplicação foi via fertirrigação em conjunto com ácido fúlvico (Silva et al. 2022) iniciando-se a fase de maturação de ramos com aplicações de sulfato de potássio (2,0%) e cloreto de potássio (1,0%) por 5 semanas. Após 45 dias da aplicação do PBZ iniciou-se o período de redução de lâmina hídrica em 50% durante um mês e meio.

Durante todo o ciclo da cultura as práticas culturais referentes a poda, manejo nutricional, controle de plantas invasoras, pragas, doenças e colheita foram realizadas tendo como referência as normas técnicas da Produção Integrada de Manga definidas por Lopes et al. (2003) e Cavalcante et al. (2018).

O método de irrigação utilizado foi localizado por microaspersão, com um emissor por mangueira, com vazão  $18 \text{ L h}^{-1}$ . A lâmina de irrigação foi calculada com base na evapotranspiração da cultura, sendo a evapotranspiração de referência calculada pelo método de Penman-Monteith (Allen, 1998) e o coeficiente da cultura específico para cada fase fenológica da manga de acordo com o recomendado por Teixeira et al. (2008). Neste sistema a adubação foi feita por fertirrigação de acordo com a análise do solo e demanda da cultura (Silva et al., 2002). As plantas foram dispostas em um espaçamento de  $9 \times 4 \text{ m}$ , com densidade de 277 plantas por hectares, todas apresentando tamanho e vigor uniformes. A fonte nitrogenada foi ureia, mas na fase de indução floral ela foi temporariamente suspensa.

### ***Delineamento experimental e aplicação dos tratamentos***

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, em arranjo experimental em faixa, com cinco repetições e seis plantas por parcela, onde os blocos foram distribuídos em fileiras de plantas, tendo uma fileira como bordadura entre os tratamentos. Os tratamentos foram organizados em um esquema fatorial  $4 \times 2$ , correspondendo a quatro concentrações de Mo (0,0; 0,100; 0,225;  $0,375 \text{ g L}^{-1}$ ) e duas concentrações de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  (nitrato de cálcio), convenciobal (+ $\text{NO}_3$ ) e ajustada (- $\text{NO}_3$ ).

O Mo foi aplicado apenas na primeira indução, utilizando como fonte o Molybdate 250 (Tradecorp®, 25,0% de Mo), enquanto o nitrato de cálcio  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

(14% de N) foi aplicado em todas as induções, usando um pulverizador Arbus 600 (Jacto®). As concentrações de Mo foram definidas usando como referência os resultados de Hippler et al. (2017). A dosagem recomendada de nitrato varia de 1 a 4% por aplicação, de acordo com a fonte utilizada, e com o índice de floração que for obtido após cada semana (Lopes et al. 2003). As datas das induções e concentrações de nitrato estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Concentrações de nitrato aplicado em cada indução floral da cv. Tommy Atkins

| Indução        | Safra 22/23 | +NO <sub>3</sub> | -NO <sub>3</sub> | Dif.  | Safra 23/24 | +NO <sub>3</sub> | -NO <sub>3</sub> | Dif.  |
|----------------|-------------|------------------|------------------|-------|-------------|------------------|------------------|-------|
|                | Data        | -----            | % -----          |       | Data        | -----            | % -----          |       |
| 1 <sup>a</sup> | 28/12/2022  | 3,00             | 2,00             | 1,00  | 27/10/2023  | 3,50             | 2,50             | 1,00  |
| 2 <sup>a</sup> | 05/01/2023  | 4,00             | 3,50             | 0,50  | 01/11/2023  | 3,50             | 3,00             | 0,50  |
| 3 <sup>a</sup> | 13/01/2023  | 1,50             | 1,00             | 0,50  | 07/11/2023  | 2,50             | 2,00             | 0,50  |
| 4 <sup>a</sup> | 19/01/2023  | 1,80             | 1,50             | 0,30  | 13/11/2023  | 3,00             | 2,70             | 0,30  |
| 5 <sup>a</sup> | 24/01/2023  | 1,60             | 1,30             | 0,30  | 20/11/2023  | 2,00             | 1,70             | 0,30  |
| 6 <sup>a</sup> | 04/02/2023  | 1,25             | 1,00             | 0,25  | 27/11/2023  | 1,75             | 1,50             | 0,25  |
| Média          |             | 2,1916           | 1,7166           | 0,475 |             | 2,7083           | 2,2333           | 0,475 |

+NO<sub>3</sub>: Concentração Convencional; -NO<sub>3</sub>: Concentração ajustada; Dif.: diferença de concentração.

A alternância entre os dias de aplicação entre as safras ocorreu devido a fatores climáticos, principalmente relacionados às precipitações (Figura 1). Quando se está na fase de indução do florescimento da mangueira e há previsão de chuva, é aconselhável não realizar a pulverização naquele dia, pois isso pode diminuir a eficiência de absorção dos fertilizantes foliares (Zwertvaegher et al. 2017).

A diferença na concentração de nitrato entre as safras deve-se à resposta da planta em relação à diferenciação das brotações. Quando a diferenciação é mais lenta, a concentração de nitrato aplicado permanece maior ao longo das semanas, e, à medida que as brotações se aproximam de 80% de diferenciação, a concentração de nitrato deve ser reduzida (Cavalcante et al. 2018; Silva et al. 2021).

Em virtude dos resultados da safra 22/23, a dose média de nitrato foi aumentada proporcionalmente para a segunda safra 23/24, e tais resultados serão elucidados na discussão.

### **Caracterização inicial do solo e das plantas**

Para observar a uniformidade do plantel foi feita uma caracterização das condições que as mangueiras estavam antes da aplicação dos tratamentos através de

análises químicas do solo (Tabela 2). Dez amostras simples foram coletadas com trado perfazendo uma amostra composta na profundidade de 0 a 30 cm. As determinações de P, K, Mn, Zn, Cu, Fe e Na foram com o extrator Mehlich 1; Ca, Mg e Al com o extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; S e Mo com HCL 1:1 de extrator; B usando água quente como extrator; Condutividade elétrica (CE) com extrato da pasta de saturação; pH em água; Acidez potencial (H+Al) com extrator acetato de cálcio a pH 7; Matéria orgânica (MO) pelo método de Walkley-Black. Foram também calculados a soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e a saturação por bases (V%). Todas as determinações seguiram as metodologias descritas por Teixeira et al. (2017).

Tabela 2. Análise química do solo utilizado para o cultivo de mangas cv. Tommy Atkins antes da instalação dos experimentos

| Safra   | Profu. | P                                              | S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>                | K <sup>+</sup>                  | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Fe <sup>2+</sup>   | Mn <sup>2+</sup>   | Cu <sup>2+</sup> | Zn <sup>2+</sup>   | B    | Mo    |
|---------|--------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|------------------|--------------------|------|-------|
|         | cm     | -- mg dm <sup>-3</sup> --                      | ----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- | ----- mg dm <sup>-3</sup> ----- |                  |                  |                    |                    |                  |                    |      |       |
| 2022/23 | 0-30   | 37,6                                           | 19,30                                          | 0,19                            | 3,44             | 1,11             | 46,40              | 15,30              | 1,30             | 33,50              | 0.71 | 0.133 |
| 2023/24 | 0-30   | 36,7                                           | 13,1                                           | 0,28                            | 4,59             | 0,72             | 46,7               | 93,4               | 3,20             | 34,0               | 0.89 | < LQ  |
| Safra   | Profu. | Na <sup>+</sup>                                | Al <sup>3+</sup>                               | H + Al                          | SB               | CTC              | pH                 | CE                 | V                | MO                 |      |       |
|         |        | ----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |                                                |                                 |                  |                  | (H <sub>2</sub> O) | dS m <sup>-1</sup> | %                | g kg <sup>-1</sup> |      |       |
| 2022/23 | 0-30   | 0,14                                           | 0,00                                           | 1,19                            | 4,88             | 6,07             | 6,54               | 0,81               | 80,43            | 13,50              |      |       |
| 2023/24 | 0-30   | 0,01                                           | 0,00                                           | 0,02                            | 5,63             | 5,65             | 7,21               | 0,65               | 99,65            | 6,00               |      |       |

Profu.: profundidade; CTC: capacidade de troca catiônica; soma de bases; V: saturação de bases; MO: matéria orgânica; CE: condutividade elétrica.

Também foi realizada a caracterização nutricional (Tabela 3), coletadas quatro folhas maduras e sadias, uma de cada quadrante do terço médio da copa (centro vertical) do último fluxo vegetativo, de 12 mangueiras escolhidas aleatoriamente na área experimental. O material vegetal foi acondicionado em sacos de papel e transferido para o Plant Soil Laboratórios™, onde as amostras foram secas em estufa de circulação forçada a 65 °C e moídas em moinho de facas tipo Willey para posterior análise. A determinação de nutrientes foi feita seguindo a metodologia de Silva (2009).

O teor de N foi extraído por digestão sulfúrica e determinado pelo método de Kjeldahl. Os teores de P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn e Zn, foram extraídos por digestão nitro-perclórica e determinados por espectrometria de emissão atômica por plasma, (Chapman e Pratt, 1962), S também foi extraído por digestão nitro-perclórica, mas determinados por espectrometria UV-visível. B e Mo foram extraídos por digestão seca e determinados por espectrometria de emissão atômica por plasma.

Tabela 3. Teores de nutrientes nas folhas de mangueira cv. Tommy Atkins antes da instalação dos experimentos

| Safra   | N                              | P   | K    | Ca   | Mg  | S   | Fe                              | Cu   | Mn   | Zn   | B    | Mo   |
|---------|--------------------------------|-----|------|------|-----|-----|---------------------------------|------|------|------|------|------|
|         | ----- g kg <sup>-1</sup> ----- |     |      |      |     |     | ----- mg kg <sup>-1</sup> ----- |      |      |      |      |      |
| 2022/23 | 17,2                           | 1,7 | 14,8 | 12,8 | 2,7 | 1,4 | 100,5                           | 8,5  | 41,6 | 25,6 | 52,8 | < LQ |
| 2023/24 | 14,8                           | 1,2 | 9,2  | 17,0 | 2,4 | 1,4 | 137,1                           | 19,8 | 43,5 | 17,1 | 54,3 | < LQ |

LQ: Limite de quantificação (0,0014 mg kg<sup>-1</sup>).

Na safra 22/23 o teor de Mo no solo foi de 0,133 mg dm<sup>-3</sup>, mas no solo o valor ficou abaixo do limite de quantificação (LQ) e na safra 23/24 ambos os valores ficaram abaixo do LQ, ou seja, menor que 0,0014 mg kg<sup>-1</sup>. Portanto, havia condições propícias para experimentação proposta. Antes da aplicação dos tratamentos, na safra 22/23, as plantas possuíam em média 314,8 ± 57,6 ramos terminais. Enquanto na safra 2023/24 as plantas possuíam em média 150,5 ± 25,1 ramos terminais.

### ***Variáveis analisadas***

No pré-florecimento, após a última aplicação dos tratamentos, foi coletada uma amostra composta por doze fluxos vegetativos distribuídos aleatoriamente nos quatro quadrantes da copa por cada parcela do delineamento experimental. As folhas maduras e sadias foram destacadas para análise nutricional seguindo as recomendações de Silva (2009) e os ramos foram destacados para análise de amido, conforme Cavalcante et al. (2018).

### ***Estado nutricional***

Os materiais foram submetidos à análise química para a determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Zn, B e Mo, Silva (2009).

### ***Análises bioquímicas***

A análise dos teores de carboidratos solúveis totais, nas folhas, foi realizada conforme a metodologia de Dubois et al. (1956) e amido, no ramo, seguindo a metodologia de Hodge e Hofreiter, 1962) com espectrofotômetro (modelo UV-M51, Bel®, Itália).

### ***Análises fitotécnicas***

O número de panículas foi avaliado por contagem manual de todas as inflorescências em capa mangueira dos tratamentos. A produção por planta estimada foi calculada após a colheita, esta que foi realizada quando os frutos apresentarem

coloração da polpa creme amarelada, no segundo estágio de maturação. O resultado foi obtido pela multiplicação do número de frutos por planta *versus* a massa média de frutos, esta mensurada com balança digital (kg).

### Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias. Posteriormente, foi realizada a análise de variância pelo teste "F", e a partir da significância encontrada, as concentrações de nitrato foram comparadas entre si com o teste de Tukey em 5% ( $p < 0,05$ ) de significância, enquanto as concentrações de Mo foram submetidas à análise de regressão polinomial. Uma Análise de Componentes Principais (PCA) foi realizada buscando observar a relação entre os tratamentos e variáveis resposta estudadas. As análises estatísticas e a elaboração dos gráficos foram realizadas com o auxílio dos softwares R versão 3.5.2 e Sigma Plot versão 14.5.

### 3.2.3 Resultados

A PCA indica que as variáveis estudadas explicam 62,2% das variações na safra 22/23 e 63,9% das variações na safra 23/24 para os dois componentes principais.

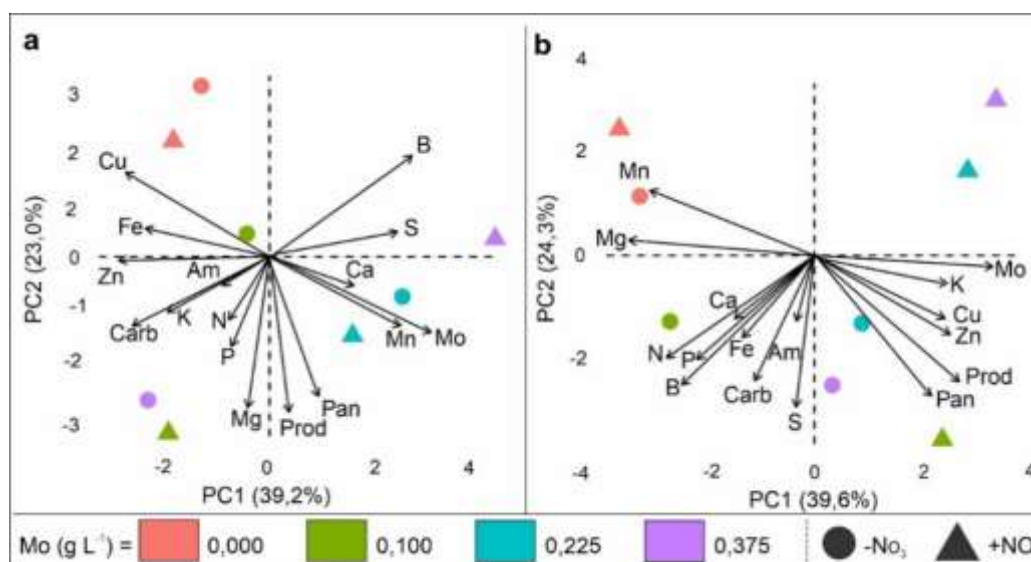


Figura 2. Biplot dos componentes principais da safra 2022/23 (a) e 2023/24 (b) de manga cv. Tommy Atkins. Am: Amido solúvel total; Carb: Carboidratos solúveis totais; Pan: Panículas; Prod: Produção.

Sendo que existem comportamentos muito semelhantes entre as duas safras. As principais variáveis relacionadas ao número de panículas (florescimento) foram Mn, Mo, Cu e produção (Prod) nas duas safras. Além disso, outros nutrientes também

mostram influência na formação de panículas; Fe e Mg negativamente e Ca, K e Zn positivamente, porém em anos isolados (Figura 2).

Embora existam vários nutrientes de plantas, alguns apresentam funções específicas que podem estimular ou restringir o florescimento da mangueira, como N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn e B (Lobo et al., 2019; Mudo et al., 2020; Cavalcante et al., 2024). Mediante essas observações procedeu a ANOVA (Tabela 4) para os nutrientes Mo, Mn, Mg e Cu, pois estes ficaram em quadrantes, opostos ou no mesmo quadrante, que o número de panículas por plantas de forma contundente entre as safras, com exceção do Mg, que na safra 22/23 não estava no mesmo quadrante, porém tinha um ângulo pequeno em relação ao número de panículas, ou seja, havia uma relação forte entre as variáveis.

Tabela 4. Síntese da análise de variância para nutrientes em folhas de mangueira cv. Tommy Atkins, em função das concentrações de molibdênio e nitrato de cálcio

| Safr 2022/23                      |                      |                       |                      |                      |                       |                       |
|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| FV                                | N                    | Mg                    | Mo                   | Cu                   | Mn                    | Zn                    |
| Mo                                | 4,5517*              | 12,1779**             | 23,8003**            | 7,2544**             | 0,8982 <sup>ns</sup>  | 0,78453 <sup>ns</sup> |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>      | 1,7835 <sup>ns</sup> | 1,7495 <sup>n</sup>   | 0,1130 <sup>ns</sup> | 0,1959 <sup>ns</sup> | 15,0664**             | 0,49180 <sup>ns</sup> |
| -NO <sub>3</sub>                  | 16,767a              | 2,538a                | 0,863a               | 6,731a               | 89,825b               | 16,819a               |
| +NO <sub>3</sub>                  | 17,208a              | 2,644a                | 0,906a               | 6,850a               | 108,694a              | 16,269a               |
| Mo x NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 0,2919 <sup>ns</sup> | 7,5771**              | 11,6831**            | 1,9718 <sup>ns</sup> | 0,9986 <sup>ns</sup>  | 2,76843 <sup>ns</sup> |
| CV (%)                            | 4,77                 | 8,77                  | 41,63                | 11,17                | 13,85                 | 13,41                 |
| Safr 2023/24                      |                      |                       |                      |                      |                       |                       |
| FV                                | N                    | Mg                    | Mo                   | Cu                   | Mn                    | Zn                    |
| Mo                                | 8,1141**             | 2,47553 <sup>ns</sup> | 123,026**            | 2,6250 <sup>ns</sup> | 2,85752 <sup>ns</sup> | 2,75780 <sup>ns</sup> |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>      | 21,3586**            | 2,44866 <sup>ns</sup> | 38,404**             | 4,9583*              | 1,70465 <sup>ns</sup> | 0,73607 <sup>ns</sup> |
| -NO <sub>3</sub>                  | 15,883a              | 2,375a                | 0,416b               | 4,917a               | 750,000a              | 22,667a               |
| +NO <sub>3</sub>                  | 14,758b              | 2,150a                | 0,623a               | 6,333b               | 655,000a              | 21,833a               |
| Mo x NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 8,3423**             | 0,17354 <sup>ns</sup> | 18,776**             | 3,9060*              | 2,50354 <sup>ns</sup> | 0,55941 <sup>ns</sup> |
| CV (%)                            | 3,89                 | 15,57                 | 15,79                | 27,70                | 25,37                 | 10,69                 |

FV: Fonte de variação; N: Nitrogênio; P: Fósforo; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; S: Enxofre; <sup>ns</sup>: não significativo pelo teste F; \*\*: significativo pelo teste F em 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \*: significativo pelo teste F em 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ).

O teor de Mo foliar foi influenciado de forma distinta entre concentrações de nitrato. Com +NO<sub>3</sub> houve acréscimo exponencial do teor de Mo, enquanto com -NO<sub>3</sub> o teor de Mo decresceu a partir de 0,232 g L<sup>-1</sup> de Mo (Figura 3A).

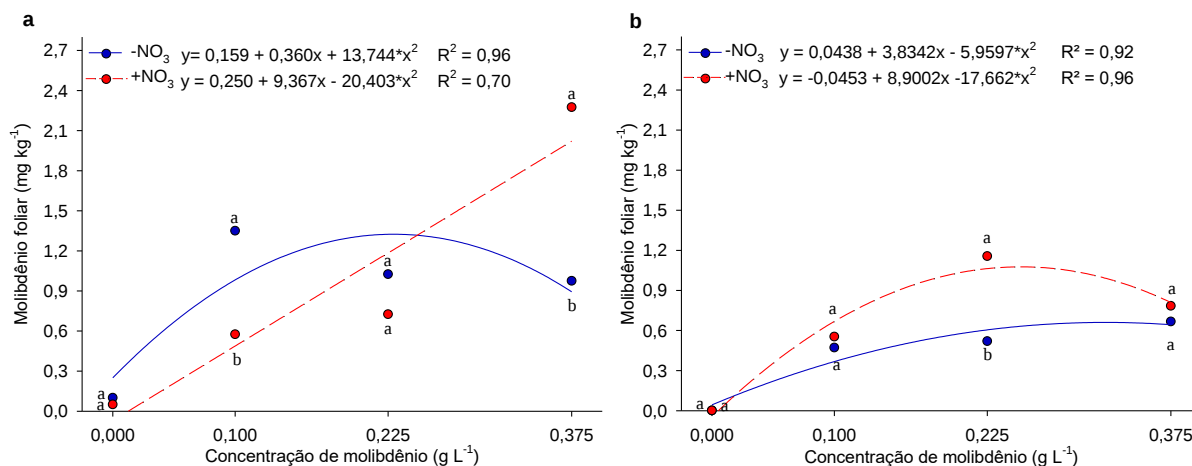


Figura 3. Teor de molibdênio foliar em função das concentrações de molibdênio e nitrato de cálcio após a quinta indução floral da mangueira cv. Tommy Atkins nas safras 2022/23 **(a)** e 2023/24 **(b)**. Letras iguais na mesma concentração de molibdênio não diferem pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade.

Ademais, com 0,375 g L<sup>-1</sup> de Mo a diferença do teor foliar de Mo foi a maior entre as concentrações de nitrato. Mangueiras com +NO<sub>3</sub> obtiveram 133,33% mais Mo foliar comparado a -NO<sub>3</sub> na safra 22/23, e na safra 23/24 a diferença foi de 122,44% com 0,225 g L<sup>-1</sup> de Mo (Figura 3B).

Quanto à influência das concentrações de Mo sobre o teor de Cu, houve distinção entre ambas as safras, na 22/23 o aumento da concentração de Mo reduziu o teor de Cu de forma branda a partir da concentração de 0,100 g L<sup>-1</sup> (Figura 4A).

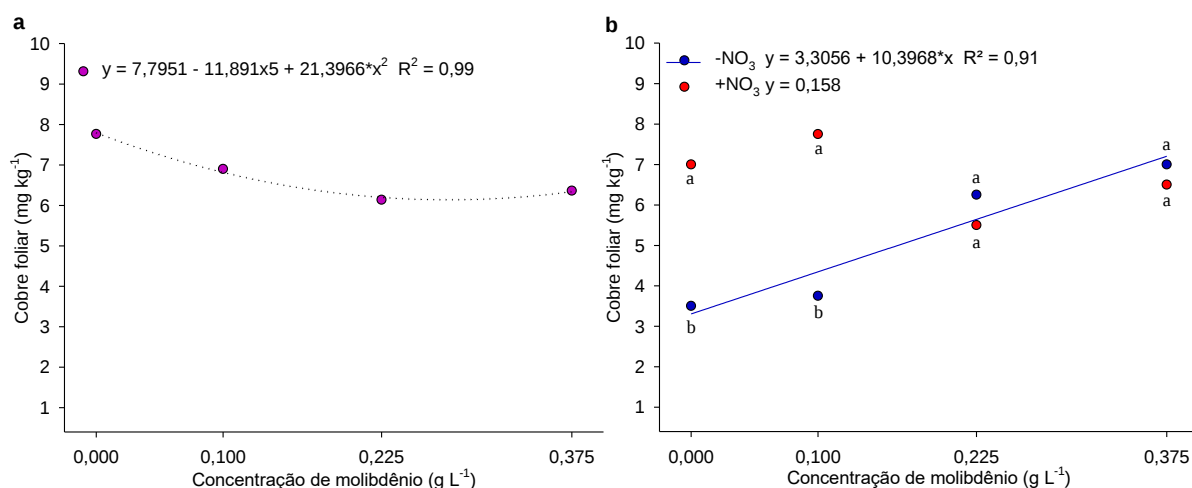


Figura 4. Teor de cobre foliar em função das concentrações de molibdênio e nitrato de cálcio após a quinta indução floral da mangueira cv. Tommy Atkins nas safras 2022/23 **(a)** e 2023/24 **(b)**. Letras iguais na mesma concentração de molibdênio não diferem pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade.

Mas, em 23/24 a concentração de nitrato influenciou a resposta, com acréscimo de 100% para  $-NO_3$  entre 0,000 e 0,375 g L<sup>-1</sup> de Mo (Figura 4B).

Para a concentração de Mg houve interação significativa dos fatores na safra 22/23, ambas como tendência quadrática, mas com superioridade de 32,00% para  $+NO_3$  sem suplementação de Mo e superioridade de 19,19% para  $-NO_3$  com a concentração máxima de Mo (Figura 5). Por outro lado, na safra 23/24 não houve efeito dos fatores sobre esta variável.

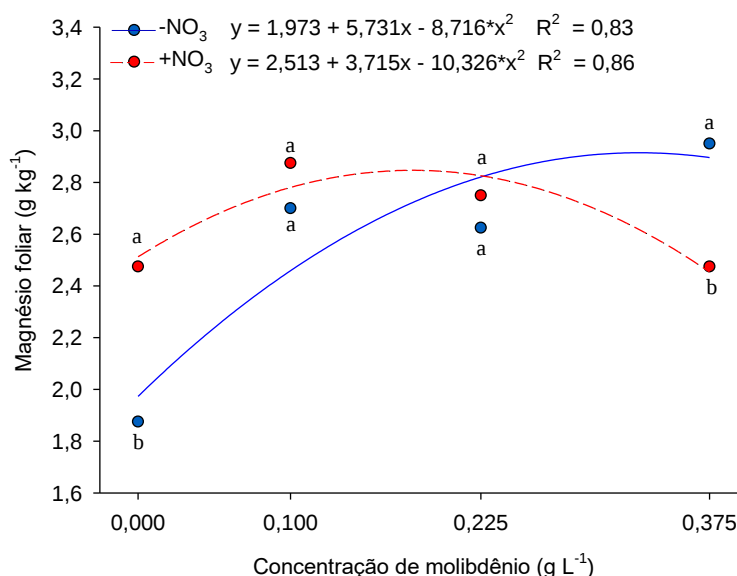


Figura 5. Magnésio foliar em função das concentrações de molibdênio e nitrato de cálcio após a quinta indução floral da mangueira cv. Tommy Atkins na safra 2022/23. Letras iguais na mesma concentração de molibdênio não diferem pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade.

A concentração foliar de Mn apresentou diferença apenas na safra 22/23 entre os níveis de nitrato, sendo que com  $+NO_3$  foi 21% superior a  $-NO_3$  (Tabela 4).

Não houve interação para carboidratos e amido em ambas as safras, apenas diferença significativa na safra 23/24 para a concentração de amido, onde mangueiras induzidas com  $-NO_3$  apresentaram 46,42% mais amido que as induzidas com  $+NO_3$  (Tabela 5).

Tabela 5. Síntese da análise de variância para parâmetros de bioquímicos de mangueira cv. Tommy Atkins, em função das concentrações de molibdênio e nitrato de cálcio

| FV                                | Amido                 |                      | Carboidratos solúveis |                       |
|-----------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Safra                             | 2022/23               | 2023/24              | 2022/23               | 2023/24               |
| Mo                                | 1,16292 <sup>ns</sup> | 5,9719 <sup>ns</sup> | 2,30537 <sup>ns</sup> | 0,53159 <sup>ns</sup> |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>      | 0,02792 <sup>ns</sup> | 7,4551*              | 0,00844 <sup>ns</sup> | 1,52908 <sup>ns</sup> |
| -NO <sub>3</sub>                  | 6,91 a                | 11,45 a              | 10,87 a               | 22,68 a               |
| +NO <sub>3</sub>                  | 6,99 a                | 7,82 b               | 10,78 a               | 25,00 a               |
| Mo x NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 1,79211 <sup>ns</sup> | 1,3662 <sup>ns</sup> | 1,96292 <sup>ns</sup> | 0,54396 <sup>ns</sup> |
| CV (%)                            | 19,79                 | 39,13                | 28,94                 | 22,29                 |

FV: Fonte de variação; CV: Coeficiente de variação; <sup>ns</sup>: não significativo pelo teste F; \*\*: significativo pelo teste F em 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \*: significativo pelo teste F em 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ).

Todos os parâmetros filotécnicos foram afetados pela interação significativa dos fatores (Tabela 6).

Tabela 6. Síntese da análise de variância para parâmetros de florescimento de mangueira cv. Tommy Atkins, em função das concentrações de molibdênio e nitrato de cálcio

| FV                   | Nº de panículas por planta |                      | Produção (kg)        |                     |
|----------------------|----------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| Safra                | 2022/23                    | 2023/24              | 2022/23              | 2023/24             |
| Mo                   | 24,5980**                  | 15,9195**            | 5,4506*              | 102,030**           |
| NO <sub>3</sub>      | 0,1557 <sup>ns</sup>       | 0,3057 <sup>ns</sup> | 0,0741 <sup>ns</sup> | 3,143 <sup>ns</sup> |
| -NO <sub>3</sub>     | 106,250a                   | 60,656a              | 60,8a                | 58a                 |
| +NO <sub>3</sub>     | 103,406a                   | 59,110a              | 62,4a                | 60a                 |
| Mo x NO <sub>3</sub> | 5,7099**                   | 6,3112**             | 3,0540*              | 36,982**            |
| CV (%)               | 19,45                      | 17,61                | 30,78                | 6,74                |

FV: Fonte de variação; CV: Coeficiente de variação; <sup>ns</sup>: não significativo pelo teste F; \*\*: significativo pelo teste F em 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \*: significativo pelo teste F em 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ).

O número de panículas teve efeito linear ascendente na safra 22/23 com -NO<sub>3</sub>, alcançando o máximo de 156 panículas e efeito quadrático ascendente com +NO<sub>3</sub>, perfazendo 78,40 panículas com 0,198 g L<sup>-1</sup> de Mo na safra 2024/24. Com +NO<sub>3</sub> na primeira safra obteve-se o máximo de 128,12 panículas por planta com 0,256 g L<sup>-1</sup> de Mo e 74,36 panículas com 0,234 g L<sup>-1</sup> de Mo em 2023/24 (Figura 6).

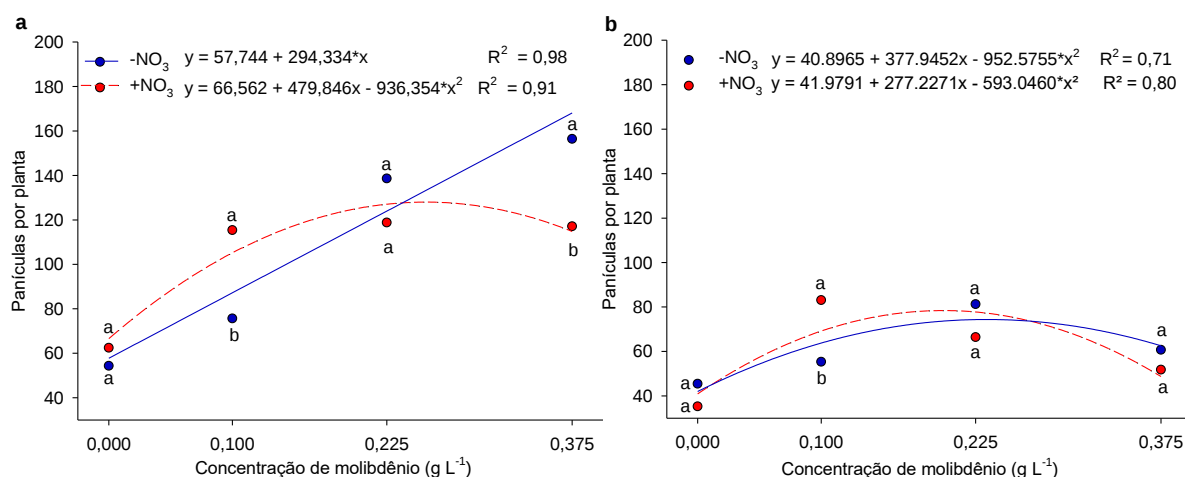


Figura 6. Panículas por planta função das concentrações de molibdênio e nitrato de cálcio no florescimento pleno da mangueira cv. Tommy Atkins nas safras 2022/23 (a) e 2023/24 (b). Letras iguais na mesma concentração de molibdênio não diferem pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade.

Por outro lado, entre as concentrações de nitrato, apenas nas concentrações de 0,100 e 0,375 g L<sup>-1</sup> de Mo tiveram diferença. Sendo que nas duas safras com 0,100 g L<sup>-1</sup> de Mo as mangueiras tratadas com +NO<sub>3</sub> formaram mais panículas, mas com a concentração máxima de Mo apenas na primeira safra houve diferença, sendo que com -NO<sub>3</sub> obteve-se 33,50% a mais de panículas (Figura 6a).

O aumento máximo proporcionado pelo Mo na produção por planta na safra 22/23 foi de 162,50% comparando 0,000 e 0,375 g L<sup>-1</sup> com -NO<sub>3</sub> e de 123,69% comparando 0,000 e 0,219 g L<sup>-1</sup> de Mo com +NO<sub>3</sub> (Figura 7a).

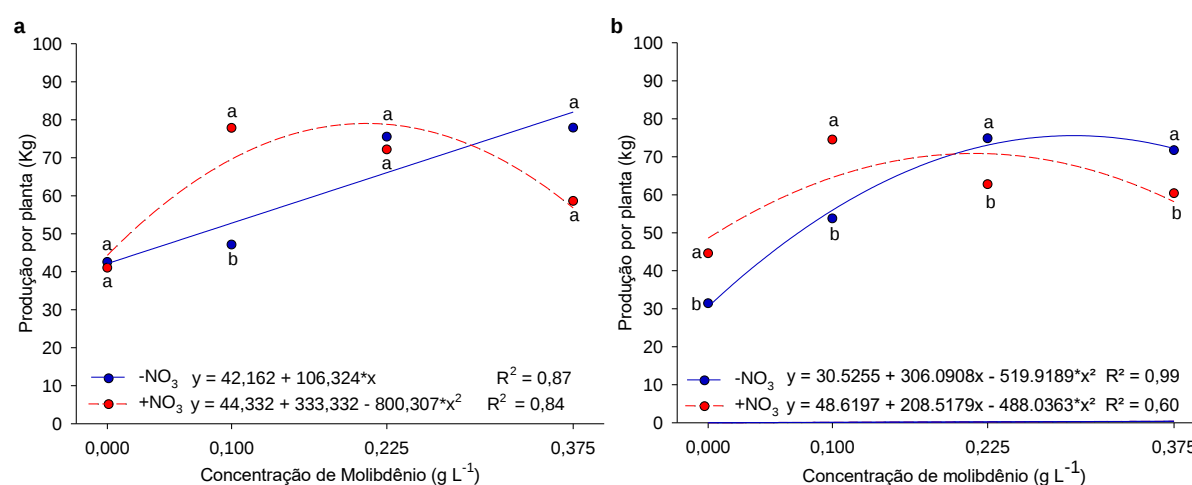


Figura 7. Produção por planta em função das concentrações de molibdênio e nitrato de cálcio da mangueira cv. Tommy Atkins nas safras 2022/23 (a) e 2023/24 (b). Letras iguais na mesma concentração de molibdênio não diferem pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade.

Na safra 23/24 a produção máxima estimada com  $-\text{NO}_3$  seria de 75,3 kg por planta com mangueiras suplementadas com  $0,294 \text{ g L}^{-1}$  de Mo e 70,93 kg por planta com  $0,214 \text{ g L}^{-1}$  com a indução de  $+\text{NO}_3$  (Figura 7b).

Semelhante ao resultado do número de panículas por planta, a produção por planta com  $0,100 \text{ g L}^{-1}$  de Mo em ambas as safras foi superior quando induzidas com  $+\text{NO}_3$ . No entanto, a safra 23/24 apresentou diferença significativa entre as concentrações de nitrato em todas as concentrações de Mo estudadas, sendo que as duas menores concentrações de Mo resultaram em menor produção por planta e as duas maiores concentrações foram superiores, isto quando as plantas receberam  $-\text{NO}_3$  (Figura 7B).

Dessa forma, é possível notar que a produção por planta apresentou crescimento mais ascendente para  $-\text{NO}_3$  em função das concentrações de Mo nas duas safras estudadas e com  $+\text{NO}_3$  teve seu ápice de floração com concentrações intermediárias de Mo.

### 3.2.4 Discussão

A suplementação adequada de Mo favorece o tecido vegetal, promovendo sua preparação para a redução de nitrato (Santos et al., 2019). Embora o nitrato seja o substrato desta da NR, sua eficiência pode ser limitada quando os teores foliares de Mo estão abaixo do necessário, resultando em um efeito de saturação pelo excesso de substrato (Marschner, 2012). Desse modo, plantas que não foram suplementadas com Mo apresentaram resultados ruins em diferentes variáveis analisadas, como teores nutricionais, florescimento e produção.

As combinações de Mo e  $\text{NO}_3^-$  que conseguiram proporcionar aumento dos teores foliares de Mo em níveis suficientes ( $1,1$  a  $3,1 \text{ mg kg}^{-1}$ ), segundo Rezende et al. (2022), foram  $0,100 \text{ g L}^{-1}$  com  $-\text{NO}_3^-$  e  $0,375 \text{ g L}^{-1}$  com  $+\text{NO}_3^-$  durante a safra 22/23 e  $0,225$  com  $+\text{NO}_3^-$  durante a safra 23/24. Apesar de algumas doses com suplementação de Mo terem resultados em valores nutricionais abaixo da faixa de suficiência, é preciso ponderar que houve acréscimo no florescimento e produção da mangueira, mas ainda assim, foi abaixo das observadas por Rezende (et al., 2022). Portanto, outras aplicações podem ser necessárias em mais frequência de aplicação.

Esses resultados sugerem que a deficiência de Mo é um limitador importante para a indução floral da mangueira, e que sua suplementação pode melhorar a eficiência do uso de fertilizantes nitrogenados.

Além do Mo, outros nutrientes, como magnésio (Mg), manganês (Mn) e cobre (Cu), também desempenharam papéis relevantes na formação de panículas neste estudo. A influência desses nutrientes pode ter variado entre safras devido à faixa de suficiência da cultura, especificamente a cv. Tommy Atkins, sendo entre 1,5-2,1 g kg<sup>-1</sup> para Mn, 409,5-765,2 mg kg<sup>-1</sup> para Mg e 8,3-16,2 mg kg<sup>-1</sup> para Cu (Rezende et al., 2022). Portanto, a mangueira apresenta limites ótimos desses nutrientes para a formação de panículas durante a indução floral, assim, valores acima ou abaixo desta faixa podem interferir negativamente nesta fase reprodutiva, como consequência, a nutrição equilibrada de tais nutrientes se faz necessária, porém mais estudos dessa natureza devem ser feitos para obter valores precisos.

Os teores de Mn observados na safra 22/23 estavam dentro das faixas estabelecidas por Quaggio (1996) para a cultivar Tommy Atkins na pré-florada, mas ficaram abaixo das faixas propostas por Rezende et al. (2022) com o método DRIS, em pomares localizados no Vale do São Francisco, enquanto na safra 23/24 foi observado o oposto. A PCA evidenciou uma relação positiva entre os teores de Mn e o número de panículas por planta na safra 22/23, enquanto na safra 23/24 essa relação foi negativa. Isso sugere que, embora o Mn em níveis adequados possa ter favorecido o florescimento na primeira safra, teores muito elevados na segunda safra (Tabela 4) podem ter prejudicado o desenvolvimento das panículas, como situações de superoxidação das células e tecidos envolvidos na fotossíntese (Xu et al. 2023).

Vale ressaltar que a diferença inicial na concentração de Mn no solo entre as safras também era muito notória (6x maior na safra 23/24), o que pode ter ocasionado a expressiva diferença no tecido foliar entre as safras, pois, segundo Xu et al. (2023), quanto maior o Mn disponível no solo, maior a absorção de Mn nas plantas.

Embora os estudos de Quaggio (1996) e de Rezende et al. (2022) tenham utilizado parâmetros distintos para definição das faixas nutricionais, a produção é um fator determinante. No estudo de Rezende et al. (2022) o Mn demonstrou forte contribuição para a produtividade na PCA, sugerindo que as faixas estabelecidas por Quaggio (1996) podem estar desatualizadas em razão dos avanços tecnológicos nos sistemas de cultivo da manga no Brasil, principalmente voltados ao adensamento dos pomares.

Por fim, é amplamente aceito que a indução floral na mangueira requer a produção de carboidratos solúveis totais e o acúmulo de amido nos ramos (Cavalcante et al., 2020; Lopes et al., 2021; Silva et al., 2021). No entanto, os tratamentos avaliados

não apresentaram diferenças significativas nos teores de carboidratos analisados. Cabe destacar que essas análises foram realizadas após a quinta indução floral, momento em que os carboidratos solúveis totais e o amido provavelmente já haviam sido mobilizados para o desenvolvimento de novos tecidos, sejam eles reprodutivos ou vegetativos. Assim, as diferenças observadas no florescimento foram atribuídas à eficiência diferencial no uso dessas fontes de energia para a formação de órgãos reprodutivos, influenciada pela suplementação de nitrato e de Mo.

Os resultados obtidos reforçam que a suplementação de molibdênio (Mo) promove melhorias significativas no florescimento da mangueira, corroborando a hipótese postulada. A influência do Mo no processo de indução floral está relacionada à sua capacidade de otimizar a assimilação de nitrato, embora os efeitos variem conforme a concentração de nitrato fornecida (Hippler et al., 2017).

A interação entre as concentrações de Mo e nitrato revelou que proporções específicas são cruciais para maximizar a resposta da planta, indicando que; menores concentrações de Mo requerem doses mais altas de nitrato, enquanto concentrações maiores de Mo reduzem a necessidade em quantidade de nitrato.

Vale salientar que o metabolismo vegetal prioriza o aumento da atividade da NR nos órgãos com maior disponibilidade de nitrogênio, especialmente quando o Mo é aplicado diretamente nas folhas por pulverização foliar (Hippler et al., 2017), sendo o caso deste estudo. Consequentemente, as folhas suplementadas com Mo estavam mais aptas a reduzir o nitrato fornecido via pulverização foliar.

Ademais, como o número de ramos terminais nas copas das mangueiras variou entre as safras, sendo praticamente o dobro na safra 22/23 em relação a 23/24 (considerando todos os tratamentos), é compreensível que as plantas tenham apresentado mais panículas na primeira safra, uma vez que o número de ramos terminais é um dos principais fatores determinantes para o quantitativo total de panículas por planta, conforme demonstrado por Santos (2021). Essa autora observou uma correlação positiva entre o número de ramos terminais e o número de panículas por planta, essa relação foi muito forte (0,93) para a mangueira 'Keitt' e moderada (0,56) para a 'Kent'. Embora os autores não tenham avaliado a cultivar 'Tommy Atkins', a premissa pode ser válida para esta cultivar também.

Ademais, a produção por planta apresentou comportamento semelhante ao do florescimento, conforme evidenciado pelas concentrações de Mo aplicadas (Figura 7). Houve uma relação direta entre a proporção de panículas emitidas e o número de

frutos (dados não apresentados), reforçando a importância do equilíbrio entre os nutrientes para maximizar a produtividade. No entanto, apesar dessa relação positiva, o número de panículas por planta, por si só, não é determinante para a produção final. Fatores como abscisão floral, disponibilidade de nutrientes, estresses bióticos e abióticos, além de uma gestão eficiente da água e do equilíbrio hormonal, desempenham papéis igualmente relevantes na formação e manutenção dos frutos (Cavalcante, 2018; Lobo et al., 2019; Silva et al., 2021; Rezende et al., 2023).

A suplementação de Mo na cv. Tommy Atkins mostrou-se uma estratégia eficaz para a diferenciação de gemas florais, sendo um componente essencial no manejo nutricional para a indução floral, embora, outros fatores e substâncias estejam envolvidos nesse processo (Cavalcante et al., 2020). A baixa concentração de Mo nas folhas de mangueira demonstrou limitar severamente a capacidade da planta de formar estruturas reprodutivas. Além disso, os resultados destacam a necessidade de se estabelecer uma proporção ideal entre N e Mo, pois a combinação de altas concentrações de  $\text{NO}_3$  e Mo resultou em efeitos negativos sobre diversos parâmetros avaliados.

Estudos futuros devem explorar as interações entre esses elementos em diferentes condições edafoclimáticas e cultivares, buscando aprimorar o manejo nutricional e maximizar a eficiência fisiológica e produtiva da mangueira.

A validação da hipótese proposta destaca questões anteriormente negligenciadas sobre a função de micronutrientes na cadeia produtiva da mangueira, como o molibdênio, essencial para a otimização da utilização de nitrato na cultura, especialmente durante a fase de indução floral. Além disso, este estudo abre novas perspectivas para investigações futuras sobre o papel de outros micronutrientes, como manganês e cobre, na diferenciação floral e na fisiologia das mangueiras.

A aplicação prática dessas descobertas pode contribuir para o aumento sustentável da produtividade, redução de custos e mitigação de impactos ambientais, consolidando o cultivo de manga como uma atividade agrícola altamente competitiva e alinhada às demandas globais por alimentos de alta qualidade.

### **3.2.5 Conclusão**

A suplementação de molibdênio em mangueiras em conjunto com nitrato pode ser usada para otimizar o processo de indução floral da mangueira.

A quantidade de nitrato usada na indução floral pode ser reduzida sem diminuir o potencial de floração e produção, contanto que haja suplementação conjunta de molibdênio.

A combinação de 0,100 g L<sup>-1</sup> de Mo com a concentração usual de nitrato ou a combinação com 0,225 g L<sup>-1</sup> de Mo com a concentração ajustada de nitrato (0,475% inferior à usual) otimiza a indução floral da mangueira.

### **Agradecimento**

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) pelo apoio financeiro concedido ao longo da pós-graduação. A Fazenda Lins e a Fazenda Bela Safra pela disponibilização da infraestrutura essencial à condução deste experimento, e a Tradecorp pela parceria e colaboração na execução desta pesquisa. Ao Grupo de Fruticultura do Vale do São Francisco (Frutvasf) pelo suporte técnico e científico prestado.

### **Referências**

- Burg, S. P., & Burg, E. A. 1996. The interaction between auxin and ethylene and its role in plant growth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 55, 262–269. <https://doi.org/10.1073/pnas.55.2.262>.
- Cavalcante, I. H. L. 2022. Mango flowering-factors involved in the natural environment and associated management techniques for commercial crops. *Mango Board*, 1-43.
- Cavalcante, Í. H. L., Santos, G. N. F., Silva, M. A. et al. 2018. A new approach to induce mango shoot maturation in Brazilian semi-arid environment. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 91, 281–286. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2018.091.036>
- Cavalcante, Í. H. L., Silva, G. J. N; Cavacini, J. A. et al. 2020. Metconazole on inhibition of gibberellin biosynthesis and flowering management in mango. *Erwerbs-Obstbau*, 62, 89-95. <https://doi.org/10.1007/s10341-019-00466-w>.
- Chapman, H. D., & Pratt, P. F. 1962. Methods of analysis for soils, plants and waters. *Soil Science*, 93, 1-68. <https://doi.org/10.1097/00010694-196201000-00015>.
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K. et al. 1956 Colorimetric method for

- determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28, 350-356. <http://dx.doi.org/10.1021/ac60111a017>.
- Hippler, F. W., Boaretto, R. M., DAVIS, et al. 2017. Revisiting nutrient management for Citrus production: to what extent does molybdenum affect nitrogen assimilation of trees? *Scientia Horticulturae*, 225, 462-470. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.049>.
- Hodge, J. E., & Hofreiter, B. T. Determination of reducing sugars and carbohydrates. In: Whistler, R. L., Wolfrom, M. L. Eds., *Methods in Carbohydrate Chemistry*, Academic Press, New York, p.380-394. 1962.
- Jayakumar, S., Abhangrao, A. K., Sarje, R. A., et al. (2024). Critical Analysis on Effect of Micronutrients on Flowering Plants: A Review. *International Journal of Plant & Soil Science*, 36(6), 776-782. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i64683>.
- Lobo, J. T., Cavalcante, Í. H. L., Lima, A. M. N. et al. 2019. Biostimulants on nutritional status and fruit production of mango 'Kent' in the Brazilian semiarid region. *Hortscience*, 54, 1501-1508. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI13753-18>.
- Lopes, P. R. C., Haji, F. N. P., Moreira, A. N., & Mattos, M. A. A. Normas técnicas e documentos de acompanhamento da Produção Integrada de Manga. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2003, 72p.
- Lopes, R. C., Pereira, R. N., Silva, L. S. et al. 2021. Impact of First Mechanical Fructification Pruning on Mango Orchards. *International Journal of Fruit Science*, 21(1), 1059-1072. <https://doi.org/10.1080/15538362.2021.1989358>.
- Marschner, P. Marchner's mineral nutrition of higher plants. 3. Ed. New York: Academic Press, 2012.
- Mudo, L. E. D., Lobo, J. T., Carreiro, D. A., et al. 2020. Leaf gas exchange and flowering of mango sprayed with biostimulant in semi-arid region. *Caatinga*, 33(2), 332-340. <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n206rc>
- Quaggio, J. A. Adubação e calagem para a mangueira e qualidade dos frutos. In: São José, A. R.; Souza, I. V. B.; Martins Filho, J.; Morais, O. M. Manga, tecnologia de produção e mercado. Vitória da Conquista: DBZ/UESB. 1996, p.106-135.

- Rezende, J. S., Freire, F. J., Silva, S. R., et al. 2022. Establishment of specific DRIS standards for mango cultivars Tommy Atkins, Kent and Keitt compared to generic standards in the Sub-Middle São Francisco Valley. *Journal of Plant Nutrition*, 45, 2627-2654. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2064294>.
- Rezende, J. S., Freire, F. J., da Silva, S. R., Musser, R. D. S., Cavalcante, Í. H., Saldanha, E., dos Santo, R. L., Cunha, J. C. 2023. Nutritional diagnosis of mango plants post-harvest in anticipation of pre-flowering avoids nutritional stress. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 27, 359-366. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n5p359-366>
- Santos, A. J. S., Paiva Neto, V. B., Sanches, L. G. et al. 2021a. Nitrate reductase activity in the different phenophases of 'palmer' mango cultivated in the semiarid. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 94,192-198. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2021.094.024>
- Santos, W. F. Estimativa de potencial produtivo das mangueiras 'Keitt', 'Kent' e 'Palmer' em função de características fitotécnicas. 2021b. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, 29 p.
- Santos, R. L., Freire, F. J., Oliveira, E. C. A. et al. 2019. Nitrate Reductase Activity and Nitrogen and Biomass Accumulation in Sugarcane under Molybdenum and Nitrogen Fertilization. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 43, 1-19. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcS20180171>.
- Sathee, L., Jain, V. 2021. Interaction of elevated CO<sub>2</sub> and form of nitrogen nutrition alters leaf abaxial and adaxial epidermal and stomatal anatomy of wheat seedlings. *Protoplasma*, 259, 703-716. <https://doi.org/10.1007/s00709-021-01692-4>.
- Silva, F. C. S. (Ed.). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.
- Silva, L. S., Cavalcante, Í. H. L., Cunha, J. G. et al. 2022. Organic acids allied with paclobutrazol modify mango tree 'Keitt' flowering. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 44, 1-13. <https://doi.org/10.1590/0100-29452022003>.
- Silva, L. S., Sousa, K. Â. O., Pereira, E. C. V. 2021. Advances in mango 'Keitt'

- production system: PBZ interaction with fulvic acids and free amino acids. *Scientia Horticulturae*, 277, 109787. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109787>.
- Silva, R. L., Fontes, R. L. F., Neves, J. C. L., Lima, A. M. N., Soares, E. M. B., Carvalho, C. I. F. S., & Cavalcante, Í. H. L. 2022. Nutrient partition and nutritional efficiency of mango cv. Palmer as a function of plant age in São Francisco Valley, Brazil. *Semina: Ciências Agrárias*, 43(4), 1671-1694. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n4p1671>
- Teixeira, A. H. C., Bastiaanssen, W. G. M., Moura, M. S. B. et al. 2008. Energy and water balance measurements for water productivity analysis in irrigated mango trees, Northeast Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*. 148, 1524-1537. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.05.004>.
- Teixeira, P. C., Donagemma, G. K., Fontana, A., Teixeira, W. G. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017.
- Xu, C., Yang, H., Huang, C., Lan, M., Zou, Z., Zhang, F., Zhang, L. 2023. Interaction Mechanism of Fe, Mg and Mn in Karst Soil-Mango System. *Land*, 12(1), 256. <https://doi.org/10.3390/land12010256>.
- Zwertvaegher, I. K., Van Daele, I., Verheesen, P. et al. 2017. Development and implementation of a laboratory spray device and rainfall simulator for retention research using small amounts of agroformulations. *Pest Management Science*. 73(1), 123-129. <https://doi.org/10.1002/ps.4333>.

## CONCLUSÕES

A suplementação de molibdênio revelou-se uma estratégia eficaz para potencializar a atividade da enzima nitrato redutase, otimizando a assimilação de nitrato e, conseqüentemente, a síntese de compostos essenciais para a quebra de gemas e a diferenciação floral em mangueiras. A introdução de Mo permite reduzir a quantidade e, potencialmente, a frequência de aplicações de nitrato, aumentando a eficiência do processo de indução floral. Combinações de 0,100 g L<sup>-1</sup> de Mo com a concentração usual de nitrato ou 0,225 g L<sup>-1</sup> de Mo com a concentração ajustada de nitrato (0,475% inferior à usual) promovem um aumento na floração e no potencial produtivo da mangueira.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbas, T., Zhou, H., Zhang, Q., Li, Y., Liang, Y., Di, H., Zhao, Y. (2019) Anammox co-fungi accompanying denitrifying bacteria are the thieves of the nitrogen cycle in paddy-wheat crop rotated soils. *Environment international*, 130:104913. DOI 10.1016/j.envint.2019.104913.

Abrafrutas (2024) Associação Brasileira de Produtores e Exportadores de Frutas e Derivados. Painéis de exportação: Exportação de frutas brasileiras – Por fruta e ano. Disponível em: <<https://abrafrutas.org/dados-estatisticos/#abaixo>>. Acesso em: 28 de janeiro de 2025.

Afiqah, A.N., Nulit, R., Hawa, Z.E.J., Kusnan, M. (2014) Improving the yield of 'Chok Anan' (MA 224) mango with potassium nitrate foliar sprays. *International Journal of Fruit Science*, 14: 416-423. doi.org/10.1080/15538362.2013.819182.

Agrofit. (2025) Sistema de agrotóxicos fitossanitários. MAPA: Disponível em: <[https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)>. Acesso em: 27 de janeiro de 2025.

Albuquerque, J.A.S., Medina, V.D., Mouco, M.A.C. (2002) Indução floral. *In*: Genú, P. D.C., Pinto, A.D.Q. (ed.) A cultura da mangueira. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 259-276.

Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G. (2013) Climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22:711-728. doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507.

Anusuya, R., Vijayakumar, R.M., Srividhya, S., Sivakumar, R. (2018) Comparison of physiological and flowering parameters of main and off season by using different plant nutrients and growth hormone in mango (*Mangifera indica* L.) cv. Bangalora. *Journal of Agriculture and Ecology*, 5:76-82.

Astudillo, E.O., Bondad, N.D. (1978) Potassium nitrate-induced flowering of 'Carabao'

mango shoots at different stages of maturity. *Philippine Journal of Crop Science*, 3:147-152.

Beling, R.R. (2021) *Anuário Brasileiro de Horti&Fruti 2021*. [online]. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 104p.

Biscaro, G.A, Goulart, S.A.R., Soratto, P.R., Freitas-Júnior, N.A., Motomiya, A.V.A., Calado Filho, G.C. (2009) Molybdenum applied to seeds and side dressing nitrogen on irrigated common bean in cerrado soil. *Ciência e Agrotecnologia*, 33:1280-1287. DOI [doi.org/10.1590/S1413-70542009000500012](https://doi.org/10.1590/S1413-70542009000500012).

Bittner, F. (2014) Molybdenum metabolism in plants and crosstalk to iron. *Frontiers in Plant Science*, 5:1-6. DOI [doi.org/10.3389/fpls.2014.00028](https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00028).

Bondad, N.D., Lisangan, E. (1979) Flowering in mango, induced with Potassium Nitrate. *HortScience*, 14:527-528.

Bortels, H. (1930) Molybdän als Katalysator bei der biologischen Stickstoffbindung. *Arco Mikrobiol*, 1:333-342. DOI [doi.org/10.1007/BF00510471](https://doi.org/10.1007/BF00510471).

Burg, S.P., Burg, E.A. (1966) The interaction between auxin and ethylene and its role in plant growth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 55:262-269. DOI [doi.org/10.1073/pnas.55.2.262](https://doi.org/10.1073/pnas.55.2.262).

Cavalcante, I. H. L. (2022) Mango flowering-factors involved in the natural environment and associated management techniques for commercial crops [online]. Orlando: Mango Board, 43p.

Cavalcante, Í.H.L., Santos, G.N.F., Silva, M.A., Martins, R.S., Lima, A.M.N., Modesto, P.I.R., Alcobia, A.M., Silva, T.R.S., Amariz, R.A., Beckmann-Cavalcante, M.Z. (2018) A new approach to induce mango shoot maturation in Brazilian semi-arid environment. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 91:281-286. DOI [doi.org/10.5073/JABFQ.2018.091.036](https://doi.org/10.5073/JABFQ.2018.091.036).

Cavalcante, Í.H.L., Silva, G.J.N, Cavacini, J.A., Amariz, R.A., Freitas, S.T., Sousa, K. Â.O., Silva, M.A., Cunha, J.G. (2020) Metconazole on Inhibition of Gibberellin Biosynthesis and Flowering Management in Mango. *Erwerbs-Obstbau*, 62:89-95. DOI [doi.org/10.1007/s10341-019-00466-w](https://doi.org/10.1007/s10341-019-00466-w).

Davenport, T.L. (2009) Reproductive physiology. *In*: Litz, R.E. (ed.) *The Mango: Botany, Production and Uses*. Wallingford: CAB Internacional, p. 97-169.

Dechen, A.R., Nachtigall, G.R., Carmello, Q.A.C., Santos, L.A., Sperandio, M.V.L. (2018) Micronutrientes. *In*: Fernandes, M.S., Souza, S.R., Santos, L.A. (ed.) *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 491-562.

Feng, H., Fan, X., Miller, A.J., Xu, G. (2020) Plant nitrogen uptake and assimilation: regulation of cellular pH homeostasis. *Journal of Experimental Botany*, 71:4380-4392. DOI [doi.org/10.1093/jxb/eraa150](https://doi.org/10.1093/jxb/eraa150).

Fido, R.J., Gundry, C.S., Hewitt, E. J., Notton, B.A. (1977) Ultrastructural features of molybdenum deficiency and whiptail in cauliflower leaves: effects of nitrogen source and tungsten substitution for molybdenum. *Australian Journal of Plant Physiology*, 4:675-689. DOI [doi.org/10.1071/PP9770675](https://doi.org/10.1071/PP9770675).

Helaly, M.N., El-Hoseiny, H., El-Sheery, N.I., Rastogi, A., Kalaji, H.M. (2017) Regulation and physiological role of silicon in alleviating drought stress of mango. *Physiology and Biochemistry*, 118:31–44. DOI [doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.05.021](https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.05.021).

Hippler, F.W., Boaretto, R.M., DAVIS, V.L., Gomes, G.O., Quaggio, J.A., Quinones, A., Mattos-Jr, D. (2017) Revisiting nutrient management for Citrus production: to what extent does molybdenum affect nitrogen assimilation of trees? *Scientia Horticulturae*, 225:462-470. DOI [doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.049](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.049).

Huang, H., Ullah, F., Zhou, D. X., Yi, M., Zhao, Y. (2019) Mechanisms of ROS Regulation of Plant Development and Stress Responses. *Frontiers in Plant Science*, 10:1-10. DOI [doi.org/10.3389/fpls.2019.00800](https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00800).

IBGE (2023) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção agrícola municipal, estadual e nacional. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613#resultado>>. Acesso em 28 de janeiro de 2025.

Imran, M., Sun, X., Hussain, S., Ali, U., Rana, M.S., Rasul, F., Saleem, M.H., Moussa, M.G., Bhandana, P., Afzal, J., Elyamine, A.M., Hu, C.X. (2019) Molybdenum-induced effects on nitrogen metabolism enzymes and elemental profile of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) under different nitrogen sources, International journal of molecular sciences, 20:3009. DOI [doi.org/10.3390/ijms20123009](https://doi.org/10.3390/ijms20123009).

Jayakumar, S., Abhangrao, A. K., Sarje, R. A., Gupta, R., Pathania, S., Sree, B.V. (2024). Critical Analysis on Effect of Micronutrients on Flowering Plants: A Review. International Journal of Plant & Soil Science, 36(6), 776-782. DOI [doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i64683](https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i64683).

Kaiser, B.N., Gridley, K.L., Brady, J.N., Phillips, T., Tyerman, S.D. (2005) The role of molybdenum in agricultural plant production. Annals of Botany, 96:745-754. DOI [doi.org/10.1093/aob/mci226](https://doi.org/10.1093/aob/mci226).

Kist, B.B., Beling, R.R. (2023) Anuário brasileiro de horti&fruti 2024. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 94p.

Laxman, R.H., Annapoornamma, C.J., Biradar, G. (2016) Mango. In: Rao, N.K.S., Shivashankara, K.S., Laxman, R.H. (ed.) Abiotic Stress Physiology of Horticultural Crops. New Delhi: Springer India, p.169–181.

Liu, L., Shi, H., Li, S., Sun, M., Zhang, R., Wang, Y., Ren, F. (2020a) Integrated Analysis of Molybdenum Nutrition and Nitrate Metabolism in Strawberry. Frontiers in Plant Science, 11:1117. DOI [doi.org/10.3389/fpls.2020.01117](https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01117).

Liu, X., Wu, J., Hong, Y., Jiao, L., Li, Y., Wang, L., Wang, Y., Chang, X. (2020b) Nitrogen loss by nirS-type denitrifying bacterial communities in eutrophic coastal sediments. International Biodeterioration & Biodegradation, 150:104955. DOI [doi.org/10.1016/j.ibiod.2020.104955](https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2020.104955).

Luo, C., Yu, H. X., Fan, Y., Zhang, X. J., He, X.H. (2019) Research advance on the flowering mechanism of mango. *Acta Horticulturae*, 1244:17-22. DOI doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1244.2

Malavolta, E. (2006) Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 638p.

Maloba, S., Ambuko, J., Hutchinson, M., Owino, W. (2017) Off-Season Flower Induction in Mango Fruits Using Ethephon and Potassium Nitrate. *Journal of Agricultural Science*, 9:158-167. DOI doi.org/10.5539/jas.v9n9p158.

Marschner, P. (2012) Marchner's mineral nutrition of higher plants. New York: Academic Press, 651p.

Mendel, R.R. (2011) Cell biology of molybdenum in plants. *Plant Cell Reports*, 30:1787–1797. DOI doi.org/10.1007/s00299-011-1100-4.

Morales-Martinez, M., Moscoso-Ramírez, P.A., Castelán-Estrada, M., Contreras-Oliva, A. (2020) Effect of nitrates alone or with paclobutrazol on flowering induction and production in mango cv. Tommy Atkins. *Biotecnia*, 22:20-27. DOI doi.org/10.18633/biotecnia.v22i2.1242.

Mouco, M.A.C. (2010) Cultivo da mangueira. Petrolina: Embrapa Semiárido-Sistema de Produção (INFOTECA-E), 110p.

Mouco, M.A.C., Albuquerque, J. A. S. (2005) Efeito do paclobutrazol em duas épocas de produção da mangueira. *Bragantia*, 64:219-225. DOI doi.org/10.1590/S0006-87052005000200008.

Nie, Z., Li, J., Liu, H., Liu, S., Wang, D., Zhao, P., Liu, H. (2020) Adsorption kinetic characteristics of molybdenum in yellow-brown soil in response to pH and phosphate. *Open Chemistry*, 18:663-668. DOI doi.org/10.1515/chem-2020-0501.

Noguero, M., Lacombe, B. (2016) Transporters involved in root nitrate uptake and sensing by *Arabidopsis*. *Frontiers in Plant Science*, 7:1-7. DOI doi.org/10.3389/fpls.2016.01391.

Nunez-elisea, R., Davenport, T.L., Caldeira, M.L. (1992) Bud initiation and morphogenesis in 'tommy atkins' mango as affected by temperature and triazole growth retardants. *Acta Horticulturae*, 341:92-198. DOI doi.org/10.17660/ActaHortic.1993.341.19.

Oldoni, F.C.A., Lima, A.M.N., Cavalcante, Í.H.L., Sousa, K.S.M., Carneiro, M.A., Carvalho, I.R.B. (2018) Boron fertilizing management on fruit production and quality of mango cv. Palmer in semiarid. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40:1-7. DOI doi.org/10.1590/0100-29452018622.

Oliveira, M.B., Sales, R.P., Pereira, M.C.T. (2019) Podas e indução floral. *In*: Siqueira, D.L, Salomão, L.C.C., Borém, A. (ed) *Manga: do plantio à colheita.*, Viçosa: UFV, p.127-153.

Prasad, S.R.S., Reddy, Y.T.N., Upreti, K.K., Rajeshwara, A.N. (2014) Studies on Changes in Carbohydrate Metabolism in Regular Bearing and “Off” Season Bearing Cultivars of Mango (*Mangifera indica* L.) During Flowering. *International Journal of Fruit Science*, 14:437–459. DOI doi.org/10.1080/15538362.2014.897891.

Rajsz, A., Wojtun, B., Mroz, L., Zolnierz, L., Kempers, A.J., (2018) Nitrate reductase activity in high mountain plants: a test across species, growth form and habitat type. *Press on behalf of the Institute of Botany*, 12:519–530. DOI doi.org/10.1093/jpe/rty044.

Ramírez, F., Davenport, T.L., Fischer, G., Pinzón, J.C.A., Ulrichs, C. (2014) Mango trees have no distinct phenology: The case of mangoes in the tropics. *Scientia Horticulturae*, 168:258-266. DOI doi.org/10.1016/j.scienta.2014.01.040.

Rana, M.S., Bhandana, P., Imran, M., Saleem, M.H., Moussa, M.G., Khan, Z., Khan, I., Alam, M., Abbas, M., Binyamin, R., Afzal, J., Syaifudin, M., Din, I.U., Younas, M., Ahmad, I., Shah, M.A., Hu, C. (2020a). Molybdenum potential vital role in plants

metabolism for optimizing the growth and development. *Annals of Environmental Science and Toxicology*, 4:32-44. DOI [doi.org/10.17352/aest.000024](https://doi.org/10.17352/aest.000024).

Rana, M.S., Bhandana, P., Sun, X.C., Imran, M., Shaaban, M., Moussa, M.G., Saleem, M.H., Elyamine, A.M., Binyamin, R., Alam, M., Afzal, J., Khan, I., Intisar Ud Din, I. U., Ahmad, I., Younas, M., Kamran, M., Hu, C.X. (2020b) Molybdenum as an essential element for crops: an overview. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 24:18535-18547. DOI [doi.org/10.26717/BJSTR.2020.24.004104](https://doi.org/10.26717/BJSTR.2020.24.004104).

Rana, M.S., Sun, X., Imran, M., Ali, S., Shaaban, M. Moussa, M.G., Khan, Z., Afzal, J., Binyamin, R., Bhandana, P., Alam, M., Din, I.U., Younas, M., Hu, C. (2020c) Molybdenum-induced effects on leaf ultra-structure and rhizosphere phosphorus transformation in *Triticum aestivum* L. *Plant Physiology and Biochemistry*, 153:20-29. DOI [doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.05.010](https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.05.010).

Rosado, T. L., Freitas, M. S. M., Carvalho, A.J.C., Gontijo, I., Tomaz, M.A., Vieira, H. D., Pires, A.A. (2021) Nutrition of conilon coffee under fertilization of nitrogen and molybdenum. *Journal of Plant Nutrition*, 45:1-14. DOI [doi.org/10.1080/01904167.2021.1943750](https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1943750).

Sandip, M., Makwana, A.N., Barad, A.V., Nawade, B.D. (2015) Physiology of Flowering- The Case of Mango. *International Journal of Applied Research*, 1:1008-1012.

Santos, A.J.S., Paiva Neto, V.B., Sanches, L.G., Carreiro, D.A., Pereira, M.P.M., Zuffo-Borges, M.C.R., Santos, S.E.R., Cavalcante, Í.H.L. (2021) Nitrate reductase activity in the different phenophases of 'palmer' mango cultivated in the semiarid. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 94:192-198. DOI [doi.org/10.5073/JABFQ.2021.094.024](https://doi.org/10.5073/JABFQ.2021.094.024).

Santos, H.G., Jacomine, P.K.T., Anjos, L.H.C., Oliveira, V.A., Lumberreras, J.F., Coelho, M.R., Almeida, J.A., Araujo Filho, J.C., Oliveira, J.B., Cunha, T.J.F. (2018) Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Solos, 356p.

Santos, R.L., Freire, F.J., Oliveira, E.C.A., Freire, M.B.G.S., West, J.B., Barbosa, J.A., Moura, M.J.A., Bezerra, P.C. (2019) Nitrate Reductase Activity and Nitrogen and Biomass Accumulation in Sugarcane under Molybdenum and Nitrogen Fertilization. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 43:e0180171. DOI [doi.org/10.1590/18069657rbc20180171](https://doi.org/10.1590/18069657rbc20180171).

Santos-Villalobos, S., Folter, S., Délano-Frier, J.P., Gómez-Lim, M.A., Guzmán-Ortiz, D.A., Peña-Cabriales, J.J. (2013) Growth Promotion and Flowering Induction in Mango (*Mangifera indica* L. cv “Ataulfo”) Trees by Burkholderia and Rhizobium Inoculation: Morphometric, Biochemical, and Molecular Events. *Journal of Plant Growth Regulation*, 32:615–627. DOI [doi.org/10.1007/s00344-013-9329-5](https://doi.org/10.1007/s00344-013-9329-5).

Silva, M.A., Cavalcante, Í.H.L., Mudo, L.E.D., Paiva Neto, V.B., Amariz, R.A., Cunha, J.G. (2020) Biostimulant alleviates abiotic stress of mango grown in semiarid environment. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 24:457-464. DOI [doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n7p457-464](https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n7p457-464).

Silva, K.K.A., Ono, E.O., Mouco, M.A.C., Silva, G.J.N., Souza, R.J.M., Silva, N.C., Silva, R.C.B. (2014) Uniconazole no florescimento e produção da mangueira (*Mangifera indica* L.) cv. Palmer. *Magistra*, 26(4):505-514.

Sponsel, V.M. (2016) Signal achievements in gibberellin research: the second half-century. *In*: Hedden, P., Thomas, S. G. (ed) *Annual Plant Reviews, the gibberellins*. New Jersey: John Wiley & Sons, 1-36.

Srivastav, M., Kishor, A., Dahuja, A., Sharma, R.R. (2010) Effect of paclobutrazol and salinity on ion leakage, proline content and activities of antioxidant enzymes in mango (*Mangifera indica* L.). *Scientia Horticulturae*, 125:785-788. DOI [doi.org/10.1016/j.scienta.2010.05.023](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.05.023).

Vieira, R.F. (2017). *Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas*. Brasília: Embrapa Meio Ambiente, 163p.

Venancio, V.S., Silva, L.S., Paiva Neto, V.B., Silva, T.R.S., Pereira, M.P.M., Cunha,

J.G., Carreiro, D.A., Almeida Neto, S.V., Cavalcante, Í.H.L. (2024) Biostimulants on the occurrence of stenoespermocarp in 'Palmer' mango. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 28:e279086. DOI doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v28n7e279086.

Williams, R.J.P., Silva, J.F. (2002) The involvement of molybdenum in life. *Biochemical and biophysical research communications*, 292:293-299. DOI doi.org/10.1006/bbrc.2002.6518.

Xu, N., Braida, W., Christodoulatos, C., Chen, J. (2013) A review of molybdenum adsorption in soils/bed sediments: speciation, mechanism, and model applications. *Soil and Sediment Contamination*, 22:912-929. DOI doi.org/10.1080/15320383.2013.770438.

Yadav, D., Singh, S. (2017) Mango: History origin and distribution. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6:1257-1262.

## **Apêndice**



Figura 1. Aplicação dos tratamentos via pulverização foliar.



Figura 2. Superfície da folha após aplicação dos tratamentos.



Figura 3. Área experimental durante o florescimento.