Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.09,2024
ISSN 2178-6925

EFEITO DA NUTRIÇÃO DE PLANTAS NA RESISTÊNCIA A PRAGAS E DOENÇAS

EFFECT OF PLANT NUTRITION ON RESISTANCE TO PESTS AND DISEASES

Diogo da Silva Brito
Discente do Curso de Bacharelado em Agronomia,Instituto Educacional Santa Catarina Faculdade Guaraí-IESC-FAG, Campus Guaraí/TO, Brasil, e-mail: odiogo.agro@gmail.com

Klevin Fernandes dos Santos
Discente do Curso de Bacharelado em Agronomia,Instituto Educacional Santa Catarina Faculdade Guaraí-IESC-FAG, Campus Guaraí/TO, Brasil, e-mail: Fernandesklevin854@gmail.com

Denise Vieira da Silva
Doutora em Zootecnia. Msc.Ciência Animal Tropical. Profª. Adjunta do Curso das Agrárias. Instituto Educacional Santa Catarina Faculdade Guaraí-IESC-FAG, CampusGuaraí/TO, Brasil, e-mail: denise.silva@iescfag.edu.br

Resumo

O trabalho aborda a inter-relação entre a nutrição das plantas e sua resistência a pragas e doenças, destacando a importância de um manejo nutricional adequado no contexto da agricultura sustentável. O principal objetivo do estudo foi analisar como diferentes nutrientes influenciam a resistência das plantas a pragas e patógenos, buscando identificar práticas de manejo que possam aumentar a resiliência das culturas agrícolas. Uma nutrição equilibrada melhora significativamente a resistência das plantas a pragas e doenças. Plantas com deficiência de nutrientes apresentaram maior suscetibilidade a infecções e ataques de insetos, enquanto aquelas com nutrição adequada mostraram-se mais capazes de produzir compostos defensivos e manter a integridade celular. A nutrição das plantas, quando bem ajustada, não apenas melhora a produtividade, mas também fortalece a defesa natural das plantas, reduzindo a necessidade de intervenções químicas. O estudo sugere que a integração de práticas nutricionais adequadas no manejo agrícola pode contribuir significativamente para a sustentabilidade e a resiliência das culturas frente aos desafios bióticos.

Palavras-chave: Manejo Nutricional. Defesa Vegetal. Agricultura Sustentável.

Abstract

The study addresses the interrelationship between plant nutrition and resistance to pests and diseases, highlighting the importance of adequate nutritional management in the context of sustainable agriculture. The main objective of the study was to analyze how different nutrients influence plant resistance to pests and pathogens, seeking to identify management practices that can increase the resilience of agricultural crops. Balanced nutrition significantly improves plant resistance to pests and diseases. Plants with nutrient deficiencies were more susceptible to infections and insect attacks, while those with adequate nutrition were more capable of producing defensive compounds and maintaining cellular integrity. Plant nutrition, when well adjusted, not only improves productivity, but also strengthens the natural defense of plants, reducing the need for chemical interventions. The study suggests that the integration of adequate nutritional practices in agricultural management can significantly contribute to the sustainability and resilience of crops in the face of biotic challenges.

Keywords: Nutritional Management. Plant Defense. Sustainable Agriculture.

1. INTRODUÇÃO

A nutrição das plantas é um dos pilares fundamentais para o desenvolvimento adequado das culturas agrícolas, sendo determinante não apenas para o crescimento saudável, mas também para a capacidade das plantas de resistir a pragas e doenças. A interação entre a disponibilidade de nutrientes e a resposta das plantas a diferentes estresses bióticos tem sido objeto de intensas pesquisas, dado o impacto significativo que essas interações podem ter na produtividade agrícola e na segurança alimentar global. O conhecimento profundo sobre como os nutrientes influenciam a saúde das plantas e sua resistência a patógenos é, portanto, essencial para o manejo integrado de culturas (PONCE et al., 2022).

As plantas requerem uma ampla gama de nutrientes para manter suas funções fisiológicas e metabólicas, que são categorizados como macronutrientes e micronutrientes. Macronutrientes, como nitrogênio, fósforo e potássio, são necessários em grandes quantidades e desempenham papéis críticos na fotossíntese, no crescimento celular e na síntese de proteínas. Micronutrientes, como zinco, cobre e manganês, são necessários em quantidades menores, mas são igualmente importantes, atuando como cofatores enzimáticos e participando em processos vitais, como a respiração celular e a defesa contra estresses oxidativos. A disponibilidade e o equilíbrio desses nutrientes são fatores determinantes na capacidade das plantas de resistir a infecções por patógenos e infestações por pragas (CASSEL et al., 2021).

O estado nutricional das plantas pode afetar diretamente sua suscetibilidade a pragas e doenças. A nutrição adequada pode melhorar a estrutura celular, aumentar a produção de metabólitos secundários que atuam como defensivos naturais e fortalecer as barreiras físicas e químicas contra o ataque de organismos prejudiciais. Plantas bem nutridas tendem a ter paredes celulares mais espessas e uma maior produção de compostos fenólicos, que são conhecidos por suas propriedades antifúngicas e antibacterianas. A nutrição equilibrada pode modular a expressão de genes relacionados à defesa, potencializando a resposta das plantas a estímulos externos (GOMES et al., 2024).

Apesar dos benefícios da nutrição adequada, a relação entre nutrientes e resistência a pragas e doenças não é linear. Em alguns casos, o excesso de certos nutrientes pode ter o efeito oposto, aumentando a vulnerabilidade das plantas. O nitrogênio, por exemplo, embora essencial para o crescimento, pode, quando em excesso, promover um crescimento vegetativo exuberante que favorece a atração de

pragas. A qualidade nutricional das plantas, portanto, deve ser cuidadosamente manejada para otimizar a resistência a pragas e doenças, evitando tanto a deficiência quanto o excesso de nutrientes (MASSON et al., 2024).

Com base nisso, surge a seguinte problemática: como a nutrição das plantas pode ser ajustada para maximizar a resistência a pragas e doenças sem comprometer o crescimento e a produtividade das culturas? Este questionamento é fundamental para o desenvolvimento de práticas agrícolas sustentáveis, que buscam equilibrar a necessidade de produção com a minimização do uso de pesticidas e fungicidas, que podem ter impactos negativos no meio ambiente e na saúde humana.

Justifica-se esse trabalho pelo fato de que a compreensão das complexas interações entre nutrição vegetal e resistência a pragas e doenças é importante para o desenvolvimento de estratégias de manejo agrícola mais eficientes e sustentáveis. A crescente demanda por práticas agrícolas que reduzam a dependência de insumos químicos torna imperativo o estudo aprofundado dessas interações, visando à promoção de uma agricultura mais sustentável e produtiva.

O presente trabalho teve como objetivo geral investigar como diferentes regimes de nutrição vegetal influenciam a resistência das plantas a pragas e doenças. Apresentando os seguintes objetivos específicos: analisar o impacto de macronutrientes e micronutrientes na expressão de genes de defesa em plantas; identificar os mecanismos bioquímicos pelos quais a nutrição afeta a suscetibilidade a patógenos e pragas; avaliar as implicações práticas das descobertas para o manejo integrado de pragas e doenças em culturas agrícolas.

2. METODOLOGIA

O estudo atual utilizou a revisão de literatura como principal abordagem para a obtenção de informações, recorrendo à exploração de bases de dados que abrigam uma extensa coleção de pesquisas e publicações pertinentes ao tema em questão. A revisão de literatura, reconhecida como uma ferramenta essencial, facilita o acesso a pesquisas acadêmicas de domínio público, abrangendo fontes como livros, artigos, dissertações e teses, entre outros materiais.

A metodologia adotada nesta investigação foi de caráter descritivo, com ênfase na coleta de dados de natureza qualitativa e estruturada. Essa abordagem metodológica tem como objetivo principal a caracterização dos aspectos de um fenômeno específico, direcionando esforços para a compreensão de sua essência,

manifestação, origens, além de suas inter-relações, desenvolvimento e possíveis desdobramentos, com o intuito de identificar as consequências mais relevantes que emergem desse contexto.

A abordagem descritiva permitiu uma investigação detalhada das características e propriedades do fenômeno analisado, contribuindo para uma compreensão mais aprofundada de sua dinâmica e impactos. Essa estratégia metodológica, em conjunto com a revisão de literatura, possibilitou uma análise abrangente e criteriosa, consolidando as descobertas e conclusões da pesquisa. Através da síntese e interpretação dos dados obtidos na literatura especializada, foi possível contextualizar o objeto de estudo dentro de um referencial teórico sólido, contribuindo para a construção de uma base consistente. Quanto à abordagem descritiva, sua aplicação permitiu uma análise detalhada dos pormenores do fenômeno em questão, delineando suas características essenciais e aspectos distintivos.

Ao focar na identificação e descrição minuciosa dos elementos constituintes, foi proporcionada uma compreensão mais profunda do objeto de estudo, permitindo a identificação de padrões, tendências e interações que permeiam sua dinâmica. A combinação entre a revisão de literatura e a abordagem descritiva mostrou-se não apenas uma estratégia metodológica eficaz, mas também um processo enriquecedor que promoveu uma análise holística e criteriosa do tema investigado. Ao integrar diferentes fontes de informação e adotar uma postura analítica e reflexiva, foi possível alcançar uma compreensão mais abrangente e fundamentada, culminando na formulação de conclusões bem embasadas e na geração de insights valiosos para a área de estudo.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 Importância da nutrição vegetal no crescimento e desenvolvimento das plantas

O nitrogênio é um dos macronutrientes mais importantes, sendo vital para a síntese de proteínas, que são componentes estruturais e funcionais das células. Este nutriente também é um componente importante dos ácidos nucleicos, como o DNA e o RNA, que são responsáveis pela transmissão de informações genéticas e pelo controle das atividades celulares. A fotossíntese, processo pelo qual as plantas convertem energia luminosa em energia química, também depende de compostos

nitrogenados, como a clorofila, que é a molécula responsável pela absorção de luz. A deficiência de nitrogênio pode resultar em um crescimento atrofiado e na clorose das folhas, uma vez que a planta não consegue sintetizar clorofila em quantidade suficiente (MACOSKI et al., 2021).

O fósforo é outro nutriente vital, envolvido principalmente no armazenamento e transferência de energia dentro da planta, através de moléculas como o ATP (adenosina trifosfato). O fósforo é também um componente estrutural de fosfolipídios, que formam as membranas celulares, e dos ácidos nucleicos. A falta de fósforo pode levar a um desenvolvimento radicular deficiente, afetando a capacidade da planta de absorver água e outros nutrientes do solo. A baixa disponibilidade de fósforo geralmente se manifesta em uma coloração arroxeada nas folhas, causada pelo acúmulo de antocianinas (BELLÉ; SANDRI; FOCHESATTO, 2021).

O potássio, por sua vez, é fundamental para a regulação osmótica e para o balanço hídrico das plantas. Este nutriente ajuda na abertura e fechamento dos estômatos, que são poros na superfície das folhas responsáveis pela troca gasosa e pela transpiração. O potássio também está envolvido na ativação de enzimas essenciais para a síntese de proteínas e para a fotossíntese. A deficiência de potássio pode resultar em folhas amareladas e com margens necrosadas, além de tornar a planta mais suscetível a estresses ambientais, como a seca e a salinidade (VILA et al., 2021).

Além dos macronutrientes, os micronutrientes também desempenham papéis importantes, ainda que em quantidades menores. Elementos como ferro, zinco, cobre e manganês estão envolvidos em diversas reações enzimáticas e na síntese de compostos vitais. A carência de micronutrientes, embora menos comum, pode ter efeitos devastadores no metabolismo da planta, afetando sua capacidade de crescimento e reprodução (DOS SANTOS et al., 2021).

A interação entre os nutrientes é complexa, e a deficiência ou o excesso de um nutriente pode afetar a disponibilidade e a absorção de outros. A nutrição vegetal deve ser vista como um sistema integrado, onde o equilíbrio de nutrientes é fundamental para o desenvolvimento saudável das plantas. A gestão adequada da nutrição vegetal, seja através da fertilização ou do manejo do solo, é essencial para garantir que as plantas possam alcançar seu pleno potencial de crescimento e produtividade (SIMÕES et al., 2021).

A nutrição equilibrada não só melhora o vigor e a saúde das plantas, como também aumenta a resistência a pragas e doenças. Plantas bem nutridas são capazes

de produzir compostos de defesa em maiores quantidades, como fitoalexinas e outras substâncias antimicrobianas, que ajudam a protegê-las contra infecções por patógenos. O crescimento robusto e o desenvolvimento adequado permitem que as plantas superem os desafios impostos por estresses abióticos, como variações de temperatura, deficiência hídrica e alta salinidade, demonstrando a importância de uma nutrição adequada para a resiliência das plantas em ambientes diversos (VILANOVA; SIQUEIRA FILHO, 2023).

3.2 Relação entre nutrição e persistência a pragas e doenças

A relação entre nutrição e resistência a pragas e doenças nas plantas é um tema de grande relevância na agronomia e fitopatologia, pois a saúde nutricional das plantas está intimamente ligada à sua capacidade de resistir a agentes patogênicos. A deficiência ou o excesso de certos nutrientes podem alterar a vulnerabilidade das plantas, destacando a importância de uma nutrição equilibrada (NETO et al., 2022).

Nutrientes como potássio (K) e cálcio (Ca) são particularmente importantes nesse contexto. Este mecanismo é importante para controlar a perda de água e também para a entrada de patógenos. O potássio é essencial para a síntese de proteínas e para o metabolismo geral das plantas, o que pode influenciar a produção de compostos defensivos. O cálcio, por sua vez, é um componente estrutural das paredes celulares e sua presença adequada fortalece a barreira física contra a penetração de organismos patogênicos (GONÇALVES, 2021).

O equilíbrio nutricional não se limita apenas à disponibilidade de macronutrientes como potássio e cálcio. Micronutrientes como zinco (Zn), manganês (Mn) e cobre (Cu) também são importantes para o desenvolvimento de mecanismos de defesa eficazes nas plantas. Esses micronutrientes são cofatores de enzimas envolvidas na síntese de metabólitos secundários, que incluem compostos fenólicos, flavonoides e taninos. A produção desses metabólitos é frequentemente desencadeada em resposta a infecções, e uma nutrição adequada pode aumentar a capacidade da planta de produzir essas substâncias em quantidades suficientes para combater invasores (DA COSTA et al., 2023).

Além dos nutrientes individuais, a interação entre diferentes nutrientes também afeta a resistência das plantas. A relação entre nitrogênio (N) e potássio pode influenciar a suscetibilidade a doenças. Um excesso de nitrogênio pode levar a um crescimento vegetativo exuberante, mas com tecidos mais macios e suculentos, que

são mais propensos a infecções por fungos e bactérias. Níveis adequados de potássio podem compensar esse efeito, aumentando a espessura das paredes celulares e a produção de compostos defensivos. A nutrição deve ser balanceada não apenas em termos de quantidade, mas também em relação à proporção adequada entre os diferentes nutrientes (VELOSO et al., 2021).

A nutrição também tem um impacto significativo no microbioma da rizosfera, a região do solo imediatamente ao redor das raízes das plantas. A composição do microbioma é influenciada pela disponibilidade de nutrientes e, por sua vez, afeta a saúde das plantas. Bactérias benéficas e fungos micorrízicos podem melhorar a absorção de nutrientes e também produzir substâncias que inibem o crescimento de patógenos. A aplicação de fertilizantes e o manejo da nutrição podem, portanto, ter efeitos indiretos na resistência a pragas e doenças através da modulação do microbioma do solo (DE SIQUEIRA et al., 2024).

O manejo nutricional adequado deve considerar as condições ambientais e o estágio de crescimento da planta. Em períodos de estresse, como seca ou temperaturas extremas, a planta pode se tornar mais suscetível a doenças devido ao comprometimento de suas defesas naturais. A suplementação com nutrientes específicos pode ajudar a mitigar os efeitos do estresse e melhorar a resistência a patógenos. A nutrição das plantas deve ser vista como uma estratégia integrada de manejo, que não apenas visa o crescimento e rendimento, mas também a saúde geral e a resiliência contra pragas e doenças (DE LIMA; DA SILVA, 2022).

3.3 Efeito dos macronutrientes na resistência das plantas

O nitrogênio, o fósforo e o potássio são particularmente importantes nesse contexto, influenciando diversos mecanismos fisiológicos que afetam diretamente a capacidade das plantas de resistirem a estresses bióticos e abióticos. O nitrogênio é um dos macronutrientes mais estudados e amplamente reconhecido como um componente chave na síntese de proteínas, ácidos nucleicos e clorofila. Este elemento está diretamente associado ao crescimento vegetativo das plantas, promovendo a expansão celular e a formação de tecidos novos (FERREIRA; MENDES, 2022).

Plantas com níveis adequados de nitrogênio tendem a apresentar maior vigor, o que pode, em alguns casos, contribuir para uma resistência mais eficaz a certos patógenos. A adição excessiva de nitrogênio pode ter um efeito adverso, induzindo um crescimento excessivo de tecidos foliares que, por serem mais tenros e suculentos,

tornam-se mais suscetíveis a ataques de pragas como afídeos e lagartas. O excesso de nitrogênio pode desbalancear a relação carbono/nitrogênio nas plantas, o que pode comprometer a produção de compostos de defesa secundários, como os flavonoides e os alcaloides, que são importantes para a resistência contra patógenos (LEITE; BERTOTTI, 2020).

O fósforo é outro macronutriente essencial para as plantas, sendo vital para o desenvolvimento das raízes e para a produção e transferência de energia dentro das células vegetais. Através da formação de ATP (adenosina trifosfato), o fósforo facilita processos metabólicos fundamentais, incluindo a síntese de ácidos nucleicos e a ativação de enzimas. Raízes bem desenvolvidas, suportadas por uma nutrição adequada de fósforo, permitem uma maior exploração do solo, resultando em uma absorção mais eficiente de água e nutrientes, o que é importante para a resistência ao estresse hídrico e ao ataque de patógenos do solo. a disponibilidade adequada de fósforo tem sido associada a uma melhor resposta imunológica das plantas, pois está envolvido em sinalizações celulares que ativam respostas de defesa, como a produção de fitoalexinas (COUTINHO et al., 2024).

A presença adequada de potássio melhora a turgidez celular, essencial para manter a integridade estrutural da planta e sua capacidade de resistir a estresses ambientais, como a seca. Este macronutriente também está envolvido na ativação de enzimas que são fundamentais para o metabolismo energético e na regulação da abertura e fechamento dos estômatos, influenciando diretamente a transpiração e, consequentemente, a resistência ao estresse hídrico. Plantas bem nutridas com potássio apresentam uma maior capacidade de sintetizar compostos de defesa, como os fenólicos e terpenoides, que são eficazes na proteção contra patógenos fúngicos e bacterianos (DE SÁ et al., 2024).

Os efeitos desses macronutrientes na resistência das plantas não se limitam a mecanismos diretos de defesa, mas também incluem a modulação de interações ecológicas que podem influenciar a suscetibilidade das plantas a pragas e doenças. A nutrição balanceada pode afetar a atratividade das plantas para herbívoros e o sucesso reprodutivo de pragas, além de influenciar a comunidade microbiana associada à rizosfera, que pode atuar como uma linha de defesa contra patógenos do solo. A gestão equilibrada dos macronutrientes é fundamental não apenas para o crescimento saudável das plantas, mas também para a promoção de um ambiente menos favorável para a infestação de pragas e a propagação de doenças (NERI; DE FREITAS; DE GÓES, 2020).

O manejo adequado da fertilização, considerando as necessidades específicas das plantas e as condições ambientais, é um fator chave na promoção da resistência das plantas. A aplicação de macronutrientes deve ser cuidadosamente balanceada para evitar tanto a deficiência quanto o excesso, que podem comprometer a saúde das plantas e aumentar a vulnerabilidade a estresses bióticos. A pesquisa contínua sobre a interação entre nutrição e resistência das plantas é essencial para o desenvolvimento de práticas agrícolas mais sustentáveis, que possam minimizar o uso de pesticidas e promover uma maior resiliência das culturas (CASSEL et al., 2021).

3.4 Efeito dos micronutrientes na resistência das plantas

Esses elementos, que incluem zinco, manganês, cobre, ferro, molibdênio, boro, cloro e níquel, são essenciais para a realização de várias funções metabólicas e bioquímicas nas plantas. Cada um desses micronutrientes exerce funções específicas que, quando balanceadas, contribuem significativamente para a resistência das plantas contra uma ampla gama de estresses bióticos e abióticos (MASSON et al., 2024).

O zinco é um dos micronutrientes que mais se destacam em relação à resistência das plantas. Ele está envolvido na ativação de várias enzimas, muitas das quais estão associadas à resposta antioxidante da planta. A capacidade das plantas de controlar o estresse oxidativo está diretamente relacionada à sua resistência a doenças, uma vez que o acúmulo de espécies reativas de oxigênio pode levar a danos celulares e à progressão da infecção (BELLÉ; SANDRI; FOCHESATTO, 2021).

A lignina é um polímero complexo que fortalece as paredes celulares, tornando-as menos suscetíveis à degradação por enzimas produzidas por patógenos. Ao reforçar as paredes celulares, o cobre contribui para uma barreira física que dificulta a penetração de organismos patogênicos. P cobre também está envolvido na síntese de fitoalexinas, compostos antimicrobianos que são produzidos em resposta a ataques de patógenos, adicionando uma camada adicional de defesa (DOS SANTOS et al., 2021).

O manganês atua como um cofator para várias enzimas envolvidas na síntese de lignina, além de participar de processos de fotossíntese e respiração. O manganês influencia diretamente a resistência das plantas ao contribuir para a síntese de compostos fenólicos, que têm propriedades antimicrobianas. A disponibilidade adequada de manganês tem sido associada a uma maior eficiência no uso da água e

a uma maior tolerância a condições de seca, o que, por sua vez, influencia a resistência geral das plantas a estresses ambientais (VILANOVA; SIQUEIRA FILHO, 2023).

Essas reações são fundamentais para a produção de energia e para a resposta ao estresse. A deficiência de ferro pode comprometer a capacidade da planta de produzir energia suficiente para sustentar respostas de defesa eficazes, tornando as plantas mais suscetíveis a infecções e outros estresses. O ferro é necessário para a atividade de certas enzimas envolvidas na biossíntese de compostos defensivos (GONÇALVES, 2021).

O molibdênio, embora necessário em quantidades ínfimas, é indispensável para o funcionamento das enzimas que catalisam a assimilação do nitrogênio, um processo crítico para o crescimento e desenvolvimento das plantas. A capacidade das plantas de assimilar nitrogênio de forma eficiente está diretamente relacionada à sua capacidade de sintetizar proteínas e outros compostos essenciais que contribuem para a defesa contra patógenos (VELOSO et al., 2021).

O boro, por sua vez, tem uma função importante na integridade e estabilidade das membranas celulares, além de participar na translocação de açúcares e na síntese de lignina. A estabilidade das membranas celulares é fundamental para a resposta das plantas a estresses bióticos, pois membranas saudáveis e funcionais são mais capazes de manter a homeostase celular e de responder rapidamente a sinais de ataque de patógenos (DE LIMA; DA SILVA, 2022).

A interação equilibrada entre esses micronutrientes é essencial para a manutenção da saúde das plantas e para a sua capacidade de resistir a estresses bióticos e abióticos. A deficiência ou excesso de qualquer um desses elementos pode comprometer a eficácia das respostas de defesa das plantas, tornando-as mais vulneráveis a doenças e pragas. A gestão adequada da nutrição das plantas, com ênfase na disponibilidade de micronutrientes, é uma estratégia fundamental para promover a resistência natural das culturas e reduzir a dependência de produtos químicos sintéticos para o controle de pragas e doenças (LEITE; BERTOTTI, 2020).

3.5 Interação entre nutrientes e a expressão de genes de defesa

A interação entre nutrientes e a expressão de genes de defesa nas plantas é um aspecto central na compreensão da fisiologia vegetal, especialmente no contexto das respostas adaptativas a estresses bióticos e abióticos. A disponibilidade e o equilíbrio de nutrientes essenciais como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio

e micronutrientes podem influenciar diretamente a capacidade da planta de ativar mecanismos de defesa através da expressão gênica.

Nutrientes específicos podem atuar como sinalizadores ou moduladores na ativação de vias metabólicas associadas à defesa. O nitrogênio, que é um macronutriente essencial para o crescimento vegetal, também está envolvido na síntese de aminoácidos e proteínas que desempenham papéis vitais na resposta de defesa da planta. A deficiência de nitrogênio pode levar à repressão de genes que codificam para proteínas de defesa, enquanto sua presença em níveis adequados pode induzir a expressão de genes relacionados à produção de fitoalexinas e compostos fenólicos, que são substâncias com propriedades antimicrobianas (LEITE; BERTOTTI, 2020).

O fósforo, outro nutriente essencial, também está envolvido na regulação da expressão gênica relacionada à defesa. A disponibilidade de fósforo afeta a sinalização celular e a produção de ATP, que são fundamentais para a ativação de respostas de defesa eficientes. A escassez de fósforo pode comprometer a capacidade da planta de responder a patógenos, uma vez que a síntese de compostos defensivos e a ativação de vias de sinalização dependem de uma adequada disponibilidade energética (PONCE et al., 2022).

O potássio participa na modulação do pH celular e na ativação de enzimas envolvidas na síntese de compostos defensivos. O potássio está relacionado à estabilização de membranas celulares, o que pode reduzir a penetração de patógenos. Estudos indicam que plantas com níveis adequados de potássio são mais resistentes a infecções por patógenos devido à ativação de genes de defesa que codificam para proteínas antimicrobianas e enzimas antioxidantes (GOMES et al., 2024).

Micronutrientes, como o zinco e o manganês, também têm sido apontados como reguladores importantes na expressão gênica de defesa. O zinco, por exemplo, é um cofator essencial para várias enzimas envolvidas na síntese de hormônios vegetais e na ativação de proteínas de defesa. A deficiência de zinco pode resultar na repressão de genes defensivos, comprometendo a resistência da planta. O manganês, por outro lado, é essencial para a atividade da superóxido dismutase, uma enzima antioxidante que protege as células vegetais contra o estresse oxidativo causado por infecções e outros estresses (MACOSKI et al., 2021).

Além da influência direta dos nutrientes na expressão gênica, o estado nutricional da planta pode afetar a produção de hormônios vegetais como o ácido salicílico, o ácido jasmônico e o etileno, que são conhecidos por serem sinalizadores-

chave na ativação de respostas de defesa (BELLÉ; SANDRI; FOCHESATTO, 2021). O balanço nutricional adequado assegura que as plantas possam produzir esses hormônios em níveis ótimos, o que, por sua vez, promove a expressão coordenada de genes de defesa (VILA et al., 2021).

A interação entre nutrientes e a expressão de genes de defesa é um processo complexo e altamente regulado, onde a disponibilidade de nutrientes adequados não só suporta o crescimento vegetal, mas também otimiza a resposta da planta a patógenos e estresses ambientais. O entendimento dessa relação é fundamental para o desenvolvimento de estratégias agrícolas que busquem aumentar a resistência das culturas a doenças, promovendo um manejo nutricional que maximize a expressão de genes de defesa e, consequentemente, a resiliência das plantas (SIMÕES et al., 2021).

3.6 Impacto da nutrição no manejo integrado de pragas e doenças

O manejo integrado de pragas e doenças (MIP) é uma abordagem amplamente adotada na agricultura moderna, visando a combinação de diferentes práticas para minimizar o impacto de pragas e doenças nas culturas, mantendo a sustentabilidade ambiental e econômica. Dentro desse contexto, a nutrição das plantas emerge como um fator chave, uma vez que plantas bem nutridas apresentam maior resiliência e capacidade de defesa contra diversos agentes patogênicos e pragas (NETO et al., 2022).

A nutrição adequada das plantas contribui para o fortalecimento de suas estruturas físicas e químicas, resultando em barreiras naturais que dificultam a penetração e o desenvolvimento de patógenos e pragas. A presença equilibrada de macro e micronutrientes favorece a produção de compostos fenólicos, fitoalexinas e outras substâncias de defesa que atuam na proteção contra organismos prejudiciais. Plantas bem nutridas tendem a ter um crescimento vigoroso, o que lhes permite compensar danos causados por pragas através da regeneração rápida de tecidos danificados (VELOSO et al., 2021).

Elementos como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio desempenham papéis fundamentais na promoção da saúde das plantas e, por consequência, na sua resistência a pragas e doenças. O nitrogênio, por exemplo, é essencial para a síntese de proteínas e ácidos nucleicos, que são componentes estruturais e funcionais vitais das células vegetais. O excesso de nitrogênio pode tornar as plantas mais suscetíveis a pragas, uma vez que o crescimento exuberante de tecidos pode atrair herbívoros. O

manejo da adubação nitrogenada deve ser feito com cuidado, visando um equilíbrio que promova a resistência sem comprometer a segurança fitossanitária (DE SÁ et al., 2024).

O potássio é outro nutriente crítico que atua na regulação da abertura e fechamento dos estômatos, processo essencial para a transpiração e a fotossíntese das plantas. O potássio também está envolvido na síntese de proteínas e no transporte de carboidratos, contribuindo para a robustez das paredes celulares e a integridade das membranas, aspectos que dificultam a colonização por patógenos. Em culturas como o tomate e o milho, o fornecimento adequado de potássio tem mostrado reduzir a incidência de doenças fúngicas e bacterianas (MASSON et al., 2024).

Além dos macronutrientes, os micronutrientes também desempenham papéis indispensáveis na defesa das plantas. O zinco, por exemplo, está envolvido na síntese de auxinas, hormônios vegetais que regulam o crescimento e a cicatrização de feridas, enquanto o manganês participa na ativação de enzimas que degradam peróxidos, prevenindo danos oxidativos causados por infecções. A deficiência desses nutrientes pode comprometer a capacidade da planta de se defender de pragas e doenças, sublinhando a importância de um programa de nutrição equilibrado no MIP (DE LIMA; DA SILVA, 2022).

A interação entre a nutrição e o manejo integrado de pragas e doenças vai além da simples correção de deficiências nutricionais. A manutenção da saúde do solo, através de práticas como rotação de culturas, adubação orgânica e uso de coberturas vegetais, contribui para a disponibilidade equilibrada de nutrientes e para o estabelecimento de uma microbiota benéfica que pode suprimir a atividade de patógenos (NERI; DE FREITAS; DE GÓES, 2020).

Práticas de manejo que visam a saúde do solo, como a adubação verde e a aplicação de compostos orgânicos, têm impacto direto na redução de pragas e doenças. A aplicação de biofertilizantes, por exemplo, não apenas fornece nutrientes essenciais, mas também introduz microorganismos benéficos que competem com patógenos ou produzem substâncias antimicrobianas. A nutrição das plantas, aliada ao manejo do solo, pode ser vista como uma estratégia preventiva dentro do MIP, reduzindo a necessidade de intervenções químicas e promovendo uma agricultura mais sustentável (VILANOVA; SIQUEIRA FILHO, 2023).

A nutrição adequada das plantas não só aumenta a produtividade agrícola, mas também se integra de forma eficaz ao manejo integrado de pragas e doenças, criando sistemas agrícolas mais resilientes e menos dependentes de agroquímicos. O

equilíbrio nutricional deve ser visto como uma prioridade nas práticas de MIP, contribuindo para a sustentabilidade e a saúde dos ecossistemas agrícolas (MASSON et al., 2024).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A relação entre a nutrição de plantas e a sua resistência a pragas e doenças constitui um tema de estudo que abrange diversos aspectos da fisiologia vegetal, ecologia e manejo agrícola. Através do fornecimento equilibrado de nutrientes essenciais, as plantas são capazes de desenvolver mecanismos de defesa mais eficazes, seja por meio da produção de compostos químicos de defesa, seja pelo fortalecimento das barreiras físicas como a parede celular.

Nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e micronutrientes como zinco, cobre e manganês, desempenham papéis específicos na modulação das respostas das plantas a estresses bióticos. O nitrogênio, por exemplo, é conhecido por influenciar a produção de proteínas e enzimas essenciais nas plantas, que são componentes chave na resposta a ataques de patógenos. O potássio, por outro lado, está associado à regulação osmótica e ao funcionamento estomático, ambos importantes para a manutenção da integridade celular e para a ativação de respostas de defesa rápida.

Uma nutrição inadequada ou desequilibrada pode resultar em plantas com deficiências nutricionais, o que frequentemente as torna mais suscetíveis a ataques de pragas e doenças. A deficiência de cálcio, por exemplo, pode comprometer a integridade da parede celular, facilitando a penetração de patógenos. A falta de nutrientes pode prejudicar a síntese de compostos fenólicos e outras substâncias com propriedades antimicrobianas, diminuindo a capacidade da planta de se defender contra infecções.

A aplicação estratégica de certos nutrientes pode atuar como uma forma de manejo integrado de pragas, minimizando a necessidade do uso de pesticidas químicos. A nutrição adequada não só melhora a resistência das plantas, mas também pode influenciar a população de pragas, tornando o ambiente menos favorável para sua proliferação. O uso de silício tem sido associado ao aumento da resistência a insetos mastigadores, pois contribui para o fortalecimento das estruturas celulares das plantas.

A interação entre nutrição de plantas e resistência a pragas e doenças é um campo complexo que envolve a interdependência de fatores bióticos e abióticos. O manejo nutricional, quando bem implementado, pode contribuir significativamente para a sustentabilidade agrícola, reduzindo a dependência de produtos químicos e promovendo uma abordagem mais holística na proteção das culturas. A compreensão detalhada das necessidades nutricionais específicas das plantas, juntamente com o monitoramento constante das condições de campo, é essencial para otimizar as práticas agrícolas e melhorar a resiliência das culturas.

A nutrição das plantas deve ser considerada uma componente central nas estratégias de manejo integrado de pragas e doenças. A aplicação de conhecimentos avançados em nutrição vegetal permite o desenvolvimento de práticas agrícolas mais eficientes, que não só visam o aumento da produtividade, mas também a proteção das plantas contra estresses bióticos.

REFERÊNCIAS

BELLÉ, Jéssica; SANDRI, Miguel Angelo; FOCHESATTO, Bruna. Importância da matéria orgânica para o cultivo do morangueiro. In: **MTC-Mostra Técnico Científica 2021-2ª edição IFRS-Campus Bento Gonçalves. 2021.** Acesso em: 9 mar. de 2024.

CASSEL, Júlia Letícia et al. Benefícios da aplicação de silício em plantas. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 4, n. 4, p. 6601-6615, 20. Acesso em: 9 mar. de 2024.

COUTINHO, Vinicius Vieira et al. Uso de Crotalaria juncea em áreas cultivadas com cana de açúcar. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218**, v. 5, n. 5, p. e555181-e555181, 2024. Acesso em: 9 mar. de 2024.

DA COSTA, Alana Cristina Rodrigues et al. Efeito do silício no cultivo de grão-de-bico (Cicer arietinum L.). **Revista de Biotecnologia & Ciência (ISSN 2238-6629)**, v. 12, p. e14240-e14240, 2023. Acesso em: 22 abr. de 2024.

DE LIMA, Ricardo Rodrigues; DA SILVA, Fredson Pereira. NIM (Azadirachta indica): uma abordagem sobre uso como inseticida natural. **REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE-ISSN 2763-8928**, v. 2, n. 10, p. e21099-e21099, 2022. Acesso em: 16 abr. de 2024.

DE SÁ, Amanda Aciely Serafim et al. A importância do cálcio para a nutrição de plantas: uma revisão. **Scientific Electronic Archives**, v. 17, n. 2, 2024. Acesso em: 28 mar. de 2024.

DE SIQUEIRA, Jainy Cristina et al. Melhoramento genético do milho: o aprimoramento da planta em antagonismo à resistência das pragas. **Revista Campo Digital**, v. 19, 2024. Acesso em: 13 mar. de 2024.

DOS SANTOS, Leônidas Canuto et al. O papel do silício nas plantas. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, p. e3810716247-e3810716247, 2021. Acesso em: 19 mai. de 2024.

FERREIRA, Josué Chaves; MENDES, Eslane Reis Farias. Silicato de potássio como fonte de nutriente e resistência do milho (Zea mays L.) a lagarta-do-cartucho, Spodoptera frugiperda Potassium silicate as nutrient source and resistance of maize (Zea mays L.) to fall armyworm, Spodoptera frugiperda. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 6, p. 42979-42994, 2022. Acesso em: 19 mai. de 2024.

GOMES, Fernando Antonio Lima et al. O impacto dos porta-enxertos na nutrição mineral da mangueira: uma revisão. **Revista Eletrônica Interdisciplinar**, v. 16, n. 2, 2024. Acesso em: 19 mai. de 2024.

GONÇALVES, Paulo Antonio. Manejo de solos e a nutrição de plantas e sua relação com a ocorrência de pragas. **Scientific Electronic Archives**, v. 14, n. 6, 2021. Acesso em: 3 jun. de 2024.

LEITE, Thiago Vinicius Pereira; BERTOTTI, Daniela Lacerda. Efeito dos inseticidas botânicos aplicados no manejo agroecológico de pragas na cultura do milho doce. **Revista Brasiliense de Agroambiente e Desenvolvimento Sustentável**, v. 1, n. 1, 2020. Acesso em: 5 jun. de 2024.

MACOSKI, Nádia et al. Efeito da aplicação de cálcio e enxofre na severidade de Blumeria graminis f. sp. Avenae. In: **AGROECOLOGIA: MÉTODOS E TÉCNICAS PARA UMA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL-VOLUME 2**. Editora Científica Digital, 2021. p. 106-115. Acesso em: 9 jun. de 2024.

MASSON, Fabio Junior et al. Plantas de cobertura na renovação da cana-influência nos atributos do solo, nutrição e desenvolvimento da cana. **CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES**, v. 17, n. 4, p. e5383-e5383, 2024. Acesso em: 9 jun. de 2024.

NERI, Danila Kelly Pereira; DE FREITAS, Moises Victor Praxedes; DE GÓES, Gilton Bezerra. Extratos vegetais no controle da mosca-branca em melancia. **Holos**, v. 4, p. 1-14, 2020. Acesso em: 9 jun. de 2024.

NETO, José Feliciano Bernardes et al. Coevolução de plantas e patógenos: uma revisão atualizada sobre o tema. **MANEJO DE PRAGAS E DOENÇAS-A BUSCA POR FORMAS SUSTENTÁVEIS DE CONTROLE-VOLUME 2**, v. 2, p. 39-57, 2022. Acesso em: 13 jun. de 2024.

PONCE, Franciely et al. Adubação silicatada na produtividade e respostas fisiológicas das plantas. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 16, p. e164111637926-e164111637926, 2022. Acesso em: 13 jun. de 2024.

SIMÕES, Maria Paula et al. Estado de nutrição de pomares de pessegueiro na região da Beira Interior: Nutrição em pessegueiros. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 44, n. 4, p. 285-292, 2021. Acesso em: 20 jun. de 2024.

VELOSO, Abel et al. Estado de nutrição de pomares de pessegueiro na região da Beira Interior. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 4, n. 44, p. 285-292, 2021. Acesso em: 13 jun. de 2024.

VILA, Vinícius Villa et al. Microbiota do solo na tolerância de doenças em plantas: Uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, p. e25910817161-e25910817161, 2021. Acesso em: 13 jun. de 2024.

VILANOVA, Clélio; SIQUEIRA FILHO, José. Da teoria à prática: trofobiose nos sistemas produtivos agroecológicos. In: **ESTUDOS AGROECOLÓGICOS: O AVANÇO DA CIÊNCIA NO BRASIL-VOLUME 2**. Editora Científica Digital, 2023. p. 98-118. Acesso em: 20 jun. de 2024.