

Desempenho da aplicação foliar de nitrogênio na cultura do milho: Eficiência e resposta fisiológica

Performance of foliar nitrogen application in corn crops: Efficiency and physiological response

Rendimiento de la aplicación foliar de nitrógeno en el cultivo de maíz: Eficiencia y respuesta fisiológica

Recebido: 10/06/2025 | Revisado: 17/06/2025 | Aceitado: 17/06/2025 | Publicado: 20/06/2025

David Braga Fernandes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2130-5028>

Centro Universitário UniBRAS Rio Verde, Brasil

E-mail: davidbragafernandes1998@gmail.com

Leonardo Vieira Campos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8840-2503>

Centro Universitário UniBRAS Rio Verde, Brasil

E-mail: leonardo.campos@braseducacional.com.br

Matheus Vinicius Abadia Ventura

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9114-121X>

Centro Universitário UniBRAS Rio Verde, Brasil

E-mail: matheus.ventura@braseducacional.com.br

Resumo

O milho (*Zea mays* L.) é uma das principais culturas agrícolas do Brasil, com elevada importância econômica e estratégica para a segurança alimentar e as cadeias produtivas pecuária e industrial. Apesar dos avanços genéticos e de manejo, a nutrição mineral, especialmente a adubação nitrogenada, ainda representa um desafio para alcançar altas produtividades. O nitrogênio (N) é um macronutriente essencial, participando ativamente na fotossíntese, no crescimento vegetativo e na formação dos grãos. Nesse contexto, a adubação foliar surge como alternativa complementar à aplicação via solo, possibilitando respostas fisiológicas rápidas, principalmente em condições de limitação radicular. Esta revisão de literatura tem como objetivo analisar e discutir evidências científicas sobre os efeitos da aplicação foliar de nitrogênio na cultura do milho, com ênfase nas respostas fisiológicas e nos reflexos sobre a produtividade. Evidências demonstram que a aplicação foliar de N, especialmente na forma de ureia solúvel, melhora atributos agronômicos como altura de plantas, área foliar, acúmulo de biomassa e produtividade de grãos. Conclui-se que, quando utilizada de forma estratégica, a adubação foliar com nitrogênio pode contribuir para maior eficiência de uso do nutriente e incremento da produtividade do milho, sendo uma ferramenta valiosa no manejo nutricional da cultura.

Palavras-chave: Adubação nitrogenada; Eficiência nutricional; Safrinha.

Abstract

Corn (*Zea mays* L.) is one of the main agricultural crops in Brazil, with high economic and strategic importance for food security and the livestock and industrial production chains. Despite genetic and management advances, mineral nutrition, especially nitrogen fertilization, still represents a challenge to achieve high productivity. Nitrogen (N) is an essential macronutrient, actively participating in photosynthesis, vegetative growth and grain formation. In this context, foliar fertilization emerges as a complementary alternative to soil application, enabling rapid physiological responses, especially in conditions of root limitation. This literature review aims to analyze and discuss scientific evidence on the effects of foliar application of nitrogen in corn crops, with an emphasis on physiological responses and impacts on productivity. Evidence shows that foliar application of N, especially in the form of soluble urea, improves agronomic attributes such as plant height, leaf area, biomass accumulation and grain yield. It is concluded that, when used strategically, foliar fertilization with nitrogen can contribute to greater efficiency in the use of the nutrient and increased corn productivity, being a valuable tool in the nutritional management of the crop.

Keywords: Nitrogen fertilization; Nutritional efficiency; Second crop.

Resumen

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los principales cultivos agrícolas de Brasil, con gran importancia económica y estratégica para la seguridad alimentaria y las cadenas productivas ganadera e industrial. A pesar de los avances genéticos y de manejo, la nutrición mineral, especialmente la fertilización nitrogenada, aún representa un desafío para lograr una alta productividad. El nitrógeno (N) es un macronutriente esencial que participa activamente en la fotosíntesis, el crecimiento vegetativo y la formación de grano. En este contexto, la fertilización foliar surge como una

alternativa complementaria a la aplicación al suelo, permitiendo respuestas fisiológicas rápidas, especialmente en condiciones de limitación radicular. Esta revisión bibliográfica tiene como objetivo analizar y discutir la evidencia científica sobre los efectos de la aplicación foliar de nitrógeno en cultivos de maíz, con énfasis en las respuestas fisiológicas y los impactos en la productividad. La evidencia muestra que la aplicación foliar de N, especialmente en forma de urea soluble, mejora atributos agronómicos como la altura de la planta, el área foliar, la acumulación de biomasa y el rendimiento de grano. Se concluye que, utilizada estratégicamente, la fertilización foliar con nitrógeno puede contribuir a una mayor eficiencia en el uso del nutriente y al aumento de la productividad del maíz, siendo una herramienta valiosa en el manejo nutricional del cultivo.

Palabras clave: Fertilización nitrogenada; Eficiencia nutricional; Segunda cosecha.

1. Introdução

O milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas mais estratégicas para o agronegócio brasileiro, exercendo papel fundamental tanto na segurança alimentar quanto no fornecimento de matéria-prima para as cadeias pecuária e industrial. No cenário nacional, destaca-se por sua expressiva adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas e por dispor de ampla variabilidade genética, composta por cultivares, híbridos e materiais transgênicos, adaptados às distintas regiões de produção. Segundo o levantamento mais recente da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2024), a safra 2023/2024 apresentou uma produção estimada de 114,14 milhões de toneladas, consolidando o Brasil como um dos principais produtores mundiais do cereal.

Contudo, mesmo diante de avanços genéticos e manejos mais eficientes, a nutrição mineral continua sendo um dos maiores desafios para garantir altas produtividades, especialmente quanto ao fornecimento adequado de nitrogênio (N), nutriente que mais limita o desempenho fisiológico e produtivo da cultura.

O nitrogênio é um dos macronutrientes essenciais para o desenvolvimento do milho, desempenhando papel-chave na formação de proteínas, clorofila e enzimas, influenciando diretamente a taxa fotossintética, o crescimento vegetativo e o enchimento de grãos (Moreira et al., 2019). A deficiência de nitrogênio, mesmo que em estágios iniciais, compromete a formação de estruturas reprodutivas e reduz significativamente o potencial produtivo (Gao et al., 2015).

Dentre as estratégias de fornecimento de nitrogênio, a adubação foliar vem ganhando destaque como ferramenta complementar à adubação de base e cobertura via solo. Essa técnica permite a aplicação direcionada em momentos-chave do ciclo da cultura, otimizando a eficiência do uso do nutriente, principalmente sob condições em que a absorção radicular está limitada por déficit hídrico ou compactação do solo. A aplicação de N via folha, pode reduzir perdas por volatilização e lixiviação, ao mesmo tempo em que proporciona respostas fisiológicas mais rápidas, intensificando processos como a fotossíntese, o acúmulo de matéria seca e a formação de estruturas produtivas (Deunier, 2008).

Estudos têm demonstrado que a aplicação foliar de N pode potencializar a altura de plantas, o diâmetro de colmo, a área foliar e o acúmulo de biomassa, resultando em maior rendimento de grãos (Gazola, 2013). Além disso, o aporte de formas orgânicas de N, como aminoácidos, apresenta rápida assimilação pela planta, atuando diretamente no metabolismo primário como se fossem produzidos endogenamente, o que pode representar uma estratégia eficiente em condições de alta exigência metabólica (Neves, 2023).

Dessa forma, esta revisão de literatura tem como objetivo analisar e discutir evidências científicas sobre os efeitos da aplicação foliar de nitrogênio na cultura do milho, com ênfase nas respostas fisiológicas e nos reflexos sobre a produtividade.

2. Metodologia

Realizou-se uma pesquisa de natureza qualitativa e do tipo revisão bibliográfica (Snyder, 2019; Pereira et al., 2018). O tipo específico é de revisão narrativa da literatura (Casarin et al., 2020; Rother, 2007). Para alcançar o objetivo, foi realizada buscas na plataforma: Google Acadêmico, usando termos específicos relacionados ao tema. Escolhemos materiais como

artigos, livros, dissertações, teses e documentos técnicos, dando preferência aos que fossem mais relevantes e de alta qualidade na área.

Durante a seleção dos materiais, analisou-se somente trabalhos diretamente relacionados sobre o tema e que apresentavam metodologia clara e conteúdo pertinente. A leitura dos materiais foi feita de forma criteriosa, buscando identificar contribuições, divergências e lacunas na literatura. Todo o conteúdo coletado foi organizado de maneira a permitir uma análise qualitativa, com foco na compreensão do panorama atual do tema e nas discussões mais relevantes que vêm sendo realizadas no meio acadêmico.

3. Resultados e Discussão

3.1 A cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.), pertencente à família Poaceae, é uma gramínea originária no continente norte americano, notável por sua capacidade de adaptação a diferentes latitudes, altitudes e condições edafoclimáticas (Barcelos, 2016). Essa adaptabilidade, aliada à sua versatilidade de uso, posiciona a cultura como um dos pilares da agricultura moderna, desempenhando papel estratégico tanto na alimentação humana quanto animal, além de diversas aplicações industriais (Bezerra, 2025).

Na safra 2023/24, o Brasil colheu aproximadamente 112,7 milhões de toneladas de milho, conforme dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2024), mantendo-se como terceiro maior produtor global, atrás apenas dos Estados Unidos e da China. Esse desempenho está diretamente associado à ampliação da área cultivada, à intensificação do uso de híbridos geneticamente superiores e ao avanço em tecnologias de manejo, sobretudo nas regiões Centro-Oeste e Sul, responsáveis por grande parte da produção nacional (Vian & Kuhn, 2025).

A expressão produtiva da cultura é determinada por fatores como temperatura, regime hídrico e radiação solar. O milho apresenta seu desenvolvimento ideal sob temperaturas entre 24 °C e 30 °C, necessitando de volumes hídricos entre 500 e 800 mm ao longo do ciclo, a depender das condições climáticas (Landau et al., 2021). Por ser uma planta do tipo C4, o milho apresenta maior eficiência fotossintética, capacidade de carboxilação do CO₂ e aproveitamento da luz, características que contribuem significativamente para seu alto potencial produtivo em regiões tropicais e subtropicais (Lopes, 2023).

Além da adaptabilidade climática, o milho se destaca como uma das culturas mais responsivas à adubação, exigindo alta disponibilidade de nutrientes para expressar todo seu potencial genético. Quando os níveis nutricionais estão adequados, observa-se aumento significativo na biomassa e na produtividade final (Castro Junior, 2024).

3.2 Exigência nutricional do milho

A cultura do milho (*Zea mays* L.) é altamente exigente em nutrientes, tanto macronutrientes quanto micronutrientes, com destaque para o nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), que são os mais demandados ao longo do ciclo de desenvolvimento (Mortate et al., 2018). A carência desses elementos compromete a formação adequada da planta, além de aumentar sua vulnerabilidade a fitopatologias, refletindo negativamente sobre o rendimento da lavoura (Fernandes et al., 2016).

Dentre os nutrientes essenciais, o nitrogênio ocupa posição central no metabolismo vegetal, sendo determinante para o crescimento e desenvolvimento das plantas de milho (Taiz & Zeiger 2009). A sua absorção eficiente e a consequente redistribuição nos tecidos vegetais, especialmente durante a fase reprodutiva, são fatores críticos para a formação dos grãos e para a obtenção de altos níveis produtivos (Mortate et al., 2018). O nitrogênio é parte integrante da estrutura de todos os aminoácidos, constituindo-se em elemento-chave na formação de proteínas e enzimas, sendo fundamental no desenvolvimento

dos órgãos reprodutivos da planta (Gazola et al., 2014). Além disso, exerce influência direta sobre características morfológicas como altura de planta, desenvolvimento de espigas, produção de matéria seca e rendimento de grãos (Roberto et al., 2010).

A deficiência de nitrogênio é um dos principais fatores limitantes da produtividade do milho, visto que a cultura possui elevada demanda desse nutriente durante todo o ciclo vegetativo (Oliveira & Lima, 2020). Plantas com deficiência apresentam sintomas visuais típicos, como o amarelecimento das folhas mais velhas, evoluindo para clorose generalizada e, em casos mais severos, deformações nas espigas, especialmente nas extremidades (Martins et al., 2008). Durante o ciclo reprodutivo, a absorção de nitrato (NO_3^-) pelas raízes é reduzida devido à remobilização do nitrogênio das folhas para as inflorescências, intensificando a concentração de aminoácidos no floema (Fontoura & Bayer, 2010).

Devido à importância do nitrogênio para os processos fisiológicos das plantas e sua participação em cerca de 75% da massa seca do milho (Oliveira et al., 2022), torna-se fundamental o manejo adequado desse nutriente no sistema de produção. A exigência de nitrogênio pela cultura varia de 60 a 100 kg ha^{-1} , dependendo das características genéticas do híbrido cultivado e das condições edafoclimáticas da área (Cadore et al., 2023).

Apesar de sua importância agronômica, a maior parte do nitrogênio presente no solo encontra-se em formas orgânicas indisponíveis para as plantas, o que justifica o uso de fertilizantes nitrogenados (Malavolta, 2006). Diante da elevada exigência nutricional do milho e da relevância do nitrogênio no desempenho produtivo da cultura, é imprescindível estabelecer estratégias eficientes de adubação nitrogenada, que contemplam tanto fonte, dose e época de aplicação via foliar.

3.3 Fontes e doses de fertilizantes nitrogenados no milho

A escolha da fonte nitrogenada é um dos fatores determinantes para a eficácia da adubação foliar. Entre as principais formas utilizadas destacam-se a ureia solúvel, o nitrato de amônio, o nitrato de cálcio e formulações enriquecidas com nitrogênio. Essas substâncias apresentam alta capacidade de absorção pelas folhas e participam ativamente do metabolismo das plantas, promovendo rápida incorporação do nitrogênio aos processos fisiológicos (Gazola et al., 2014).

A ureia necessita passar pelas etapas de amonificação e nitrificação para que o nitrogênio se converta predominantemente na forma nítrica, que é a mais assimilada pelo milho (Marschner, 1995). Uma limitação importante dessa fonte nitrogenada é sua elevada propensão à perda de N por volatilização, principalmente quando aplicada na superfície do solo sem incorporação (Guelfi, 2017).

A ureia solúvel é amplamente empregada na adubação foliar devido à sua elevada concentração de nitrogênio (aproximadamente 45%) na forma amídica (Lara-Cabezas et al., 1997). Após a aplicação, a ureia é rapidamente absorvida pelas folhas e hidrolisada em amônio, que é então assimilado pelas plantas (Silva et al., 2017). Essa rápida absorção torna a ureia eficaz para suprir deficiências imediatas de nitrogênio (Mocellin, 2004).

A ureia, embora seja amplamente empregada nas adubações via solo, também demonstra elevado potencial quando aplicada por via foliar, desde que observadas as doses corretas para evitar riscos de fitotoxicidade (Harper, 1984). Em ensaio realizado por Orso et al. (2013), com aplicações foliares de ureia na cultura do milho promoveram efeitos significativos sobre a altura de plantas e a massa de 100 sementes, com destaque para a dose de 10 kg ha^{-1} , que apresentou os melhores resultados nesses parâmetros. A aplicação de ureia na dose de 15 kg ha^{-1} , realizada no estádio V10, resultou em um incremento de produtividade de aproximadamente 10,60 sacas ha^{-1} em comparação à testemunha. As doses testadas foram de 0, 5, 10 e 15 kg ha^{-1} de ureia (45% N), com volume de calda de 200 L ha^{-1} , sendo as pulverizações realizadas no início do florescimento da cultura.

De acordo com Bueno et al. (2018), foi possível observar que o teor de cálcio (Ca) foi incrementado com o uso de ureia convencional, tanto em aplicação única quanto parcelada. Já os teores de magnésio (Mg) e manganês (Mn) apresentaram

aumento somente com a aplicação foliar de nitrogênio. No caso do zinco (Zn), os melhores resultados foram obtidos com a aplicação de ureia convencional (única e parcelada), bem como com a combinação de ureia convencional.

O nitrato de amônio fornece nitrogênio em duas formas: nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+). Essa combinação permite uma absorção eficiente e rápida pelas plantas. O nitrato é prontamente assimilado, enquanto o amônio é incorporado em aminoácidos e proteínas. Estudos indicam que o nitrato de amônio apresenta baixa volatilização e alta solubilidade, o que o torna uma fonte eficaz de nitrogênio foliar (Marschner, 1995).

A aplicação foliar de nitrato de amônio como fonte de nitrogênio na cultura do milho proporcionou maior massa de mil grãos (272,8 g) e maior produtividade de grãos (6.491 kg ha^{-1}) em comparação à ureia, que apresentou valores de 261,5 g e 6.071 kg ha^{-1} , respectivamente. Esses resultados são atribuídos à maior disponibilidade de nitrogênio durante o período de enchimento de grãos e à maior eficiência de absorção do N aplicado via nitrato pela planta (GOTT et al., 2014).

A análise dos teores de N foliar revelou que o nitrato de amônio promoveu maiores concentrações de N na folha índice, com valores variando de 33,1 a 35,0 g kg^{-1} nos estádios V2 a V8, enquanto a ureia variou de 30,1 a 34,0 g kg^{-1} . A testemunha manteve valores significativamente inferiores, com 21,6 g kg^{-1} em V2 (GOTT et al., 2014).

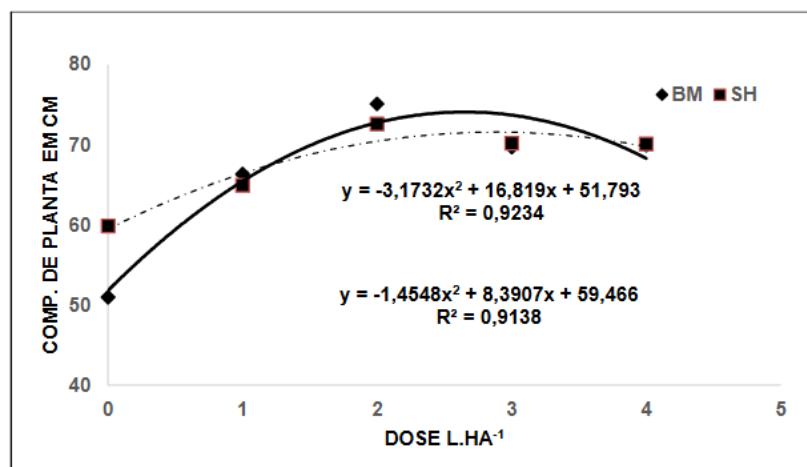
A massa de mil grãos também foi influenciada pelas épocas de aplicação. O nitrato de amônio apresentou valores superiores à ureia em todos os estádios fenológicos avaliados, sendo os melhores resultados observados entre os estádios V4 (281,0 g) e V6 (288,3 g), destacando-se como os momentos mais responsivos à adubação nitrogenada em cobertura com essa fonte (Gott et al., 2014).

Esse desempenho superior do nitrato de amônio pode estar relacionado ao fornecimento de N em duas formas (nítrica e amoniacal), favorecendo o equilíbrio de íons na rizosfera e melhorando a absorção e o metabolismo do nitrogênio na planta, como também apontado por Bredemeier & Mundstock (2000).

Os fertilizantes foliares enriquecidos com aminoácidos oferecem nitrogênio em formas orgânicas diretamente assimiláveis pelas plantas. Essas formulações facilitam a síntese de proteínas e outros compostos nitrogenados, promovendo o crescimento e desenvolvimento vegetal (Mógor, 2015). Além disso, os aminoácidos atuam como agentes quelantes, melhorando a absorção de outros nutrientes aplicados simultaneamente (Colla et al., 2017).

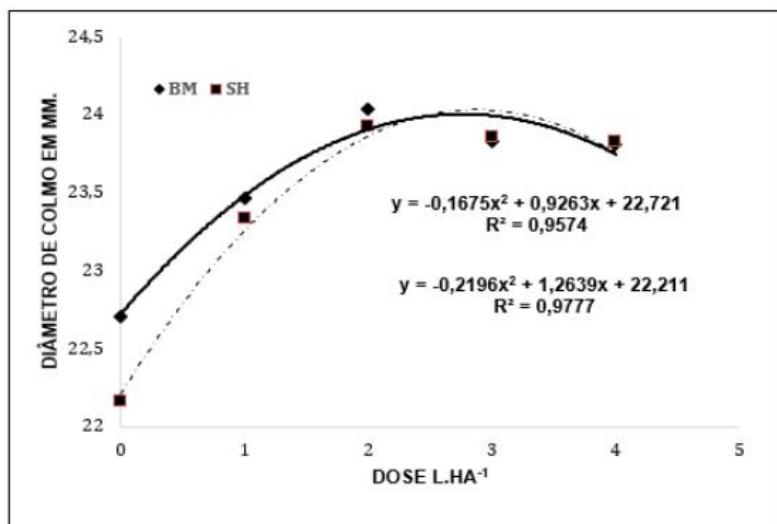
Ensaios de campo conduzidos com o fertilizante foliar líquido Celleron® (15% de N, 21% de P2O5 e 2% de K2O.) utilizando os híbridos Biomatrix (híbrido 1-BM) e Santa Helena (híbrido 2-SH), demonstraram que aplicações na faixa de 2 a 4 L ha^{-1} podem resultar em melhorias significativas no desenvolvimento da planta, como o aumento da altura (Figura 1), para a variável diâmetro de colmo a dose que obteve maior expressão foi a de 2 L ha^{-1} , conforme apresentado na Figura 2, quando utilizado a mesma dose foi possível observar maior número de folhas na cultura do milho, especialmente no híbrido BM (Figura 3) (Chrispim et al., 2025).

Figura 1 - Comprimento de planta de híbridos em função de doses de Celleron® após 10 dias da aplicação, Elói Mendes-MG.



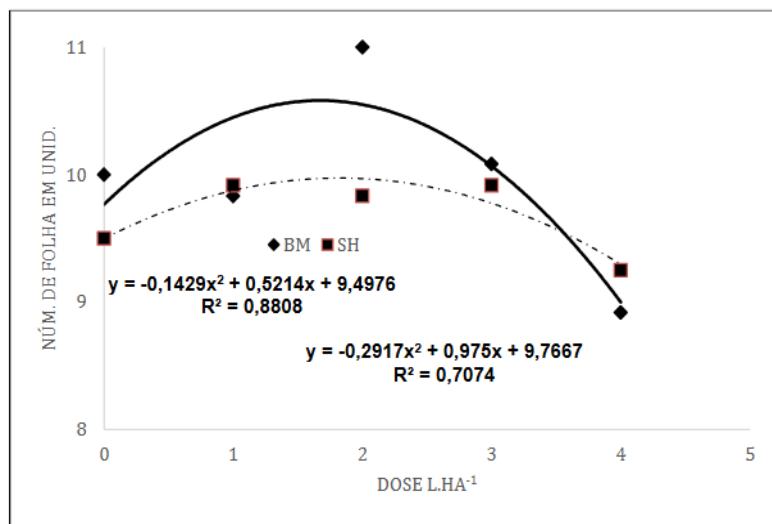
Fonte: Chrispim et al. (2025).

Figura 2 - Diâmetro de colmo de híbridos em função de doses de Celleron® após 10 dias da aplicação Elói Mendes-MG.



Fonte: Chrispim et al. (2025).

Figura 3 - Número de folhas de híbridos em função de doses de Celleron® após 20 dias da aplicação, Elói Mendes-MG.



Fonte: Chrispim et al. (2025).

De acordo com os resultados obtidos por Chrispim et al. (2025), a aplicação de diferentes doses de Celleron® influenciou significativamente o desenvolvimento dos híbridos, especialmente nos parâmetros de comprimento de planta, diâmetro do colmo e número de folhas, sendo a dose de 2 Lha⁻¹ a que proporcionou os maiores valores em todas as variáveis analisadas.

A aplicação de N, independentemente da fonte, resultou em produtividades significativamente superior à testemunha (3.490 kg ha⁻¹). No entanto, no estádio V6, não houve diferença significativa entre os tratamentos, o que indica que esse estágio isoladamente pode não ser o mais eficiente para maximizar a produtividade com base na aplicação de N em cobertura (Gott et al., 2014).

Nesse contexto, a aplicação foliar de fertilizantes nitrogenados representa uma alternativa viável para reduzir perdas por volatilização, além de assegurar uma absorção mais eficiente e direcionada, especialmente em momentos estratégicos do ciclo da cultura. Assim, o uso racional de fontes nitrogenadas foliares pode ser uma ferramenta valiosa para aumentar a eficiência da nutrição vegetal e promover melhores respostas agronômicas. A escolha da fonte de nitrogênio para adubação foliar deve considerar as necessidades específicas da cultura, o estágio fenológico e as condições ambientais. A aplicação adequada dessas fontes pode melhorar significativamente a eficiência do uso do nitrogênio, promovendo maior produtividade e qualidade das culturas.

3.4 Adubação foliar

A aplicação de fertilizantes nitrogenados por via foliar tem se consolidado como uma prática eficiente no manejo nutricional das culturas, especialmente em situações em que há limitação na absorção radicular de nutrientes ou necessidade de suprimento imediato durante fases críticas do desenvolvimento vegetal (Hungria & Nogueira, 2022). Segundo Gazola et al. (2014), essa técnica permite a correção pontual de deficiências nutricionais ao longo dos estádios fenológicos, promovendo absorção direta e rápida dos nutrientes aplicados.

No contexto da nutrição nitrogenada, a aplicação foliar de nitrogênio destaca-se por proporcionar respostas fisiológicas quase imediatas, tornando-se particularmente relevante em momentos de elevada exigência metabólica das plantas (Silva et al., 2020). Harper (1984) ressalta que esse tipo de adubação contribui diretamente para a intensificação do crescimento vegetal, devido à sua rápida assimilação.

O nitrogênio aplicado por via foliar participa de processos metabólicos fundamentais, como a biossíntese de aminoácidos, formação de proteínas e produção de clorofila, moléculas essenciais para o funcionamento fotossintético e desenvolvimento vegetativo das plantas (Taiz & Zeiger, 2017). Dessa forma, o uso estratégico de fertilizantes foliares nitrogenados pode representar um importante aliado na maximização da eficiência de uso do nutriente, especialmente em condições que favorecem perdas por volatilização ou lixiviação no solo.

Um estudo comparativo conduzido por Silva et al. (2020) avaliou a eficácia do nitrogênio em formulação líquida em relação à ureia, tradicionalmente utilizada nas adubações nitrogenadas. Os resultados evidenciaram que a aplicação de nitrogênio líquido promoveu maior velocidade e eficiência de absorção pelas plantas, o que foi atribuído à sua forma prontamente disponível, em contraste com a ureia, que necessita ser hidrolisada para se tornar acessível às plantas. Esse processo de transformação pode estar associado a perdas por volatilização, reduzindo a eficiência do fertilizante (Guimarães et al., 2020).

O momento de aplicação do fertilizante foliar é determinante para sua eficácia (Fernández et al., 2015). No caso do milho, a absorção de nitrogênio é mais intensa nas fases vegetativas e reprodutivas, particularmente entre os estádios V4 e V8, quando a planta apresenta elevada taxa de crescimento e alta demanda por nutrientes (Santos et al., 2022). Aplicações tardias, próximas à floração, também são importantes para garantir o transporte de nitrogênio aos grãos, promovendo maior acúmulo

de proteínas (Soratto et al., 2011). O uso de fontes nitrogenadas foliares é vantajoso nesses períodos críticos, pois garante suprimento eficiente e imediato, mesmo em condições de baixa disponibilidade de N no solo (Gazola et al., 2014).

Adicionalmente, Silva et al. (2020) observaram que o uso de nitrogênio líquido resultou em incrementos significativos na produtividade das plantas em comparação à aplicação de ureia. Os autores enfatizaram que essa fonte nitrogenada favorece não apenas a absorção pelo sistema radicular, mas também reduz perdas associadas à volatilização, promovendo uma utilização mais eficiente do nutriente.

Os efeitos da aplicação foliar de nitrogênio na cultura do milho têm sido evidenciados em diversos estudos. Bueno et al. (2018) observaram que a adição de N foliar aumentou significativamente os teores de micronutrientes como Ca, Mg, Fe, Zn, Cu e Mn, demonstrando interação positiva entre esses elementos e o N em fases fenológicas críticas da cultura. Em experimentos conduzidos por Crisóstomo e Nascentes (2023), observou-se que a ausência ou má suplementação de N foliar resultou em folhas amareladas, menor diâmetro e altura de planta, além de redução na produtividade total.

A suplementação de N por via foliar também tem implicações diretas sobre a qualidade do grão. Segundo Ferreira et al. (2001), o N influencia a síntese de proteínas que compõem o glúten, refletindo diretamente na qualidade nutricional dos grãos. Xiaokang et al. (2022) destacam a importância do fornecimento adequado de N até a floração, uma vez que o nitrogênio armazenado nos tecidos vegetais até esse estágio será responsável por grande parte da formação proteica do grão.

Além dos efeitos diretos sobre o desenvolvimento das plantas, a aplicação foliar de nitrogênio também influencia positivamente parâmetros fisiológicos como peso seco de folhas e área foliar, que apresentaram aumento expressivo em relação à testemunha (Taiz et al., 2017). A eficiência do uso do nitrogênio, portanto, está associada tanto à escolha da fonte quanto à dose e ao momento da aplicação, sendo fundamental para otimizar a produtividade e minimizar perdas (Pacentchuk et al., 2014).

Portanto a adubação foliar nitrogenada é uma técnica complementar eficaz ao manejo nutricional da cultura do milho, capaz de suprir rapidamente deficiências, melhorar o desempenho fisiológico das plantas e contribuir significativamente para o aumento da produtividade. Quando aplicada estratégicamente, respeitando os princípios do manejo racional de nutrientes, essa prática apresenta-se como uma solução viável tanto sob o ponto de vista agronômico quanto ambiental.

4. Considerações Finais

A cultura do milho, dada sua alta exigência nutricional e importância estratégica no agronegócio brasileiro, demanda manejos cada vez mais eficientes para garantir altas produtividades. Entre os nutrientes essenciais, o nitrogênio se destaca como o principal limitante para o desempenho fisiológico e reprodutivo da planta, sendo crucial para processos vitais como fotossíntese, síntese proteica e desenvolvimento de estruturas produtivas.

Nesse contexto, a adubação foliar surge como uma alternativa promissora e complementar à adubação tradicional via solo, sobretudo em situações de estresse hídrico ou restrições físicas no perfil do solo. A aplicação de nitrogênio pelas folhas tem demonstrado respostas rápidas em parâmetros fisiológicos e morfológicos, como aumento de área foliar, acúmulo de biomassa e rendimento de grãos, principalmente quando realizada em estádios fenológicos estratégicos.

Portanto, o uso da adubação foliar de nitrogênio deve ser considerado como uma ferramenta complementar no manejo nutricional do milho, com potencial para otimizar a produtividade e sustentabilidade dos sistemas agrícolas, desde que sejam respeitadas as doses, fontes e épocas de aplicação adequadas à realidade edafoclimática de cada região.

Agradecimentos

Agradecimentos ao Centro Universitário UniBRAS Rio Verde.

Referências

- Barcelos, G. S. (2016). *Bioestimulantes na cultura do milho: Impacto na nutrição e nos parâmetros biométricos*. 27 f. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia-MG. Uberlândia.
- Bezerra, M. E. A. (2025). *Fluxo de óxido nitroso e amônia na cultura do milho (Zea mays) em função de fontes de nitrogênio*. 58f. 2025. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Bredemeier, C., & Mundstock, C. M. (2000). Regulation of nitrogen absorption and assimilation in plants. *Ciência rural*, 30, 365-372.
- Bueno, D., Coradi, P. C., Dick, M., & Silva, M. A. (2018). *Avaliação do índice de clorofila e nutrientes foliar em função da aplicação de nitrogênio na cultura do milho*. In: IX Simpósio Brasileiro de Agropecuária Sustentável VI Congresso Internacional de Agropecuária Sustentável 20 e 21 de setembro de 2018.
- Cadore, R., da Costa Netto, A. P., dos Reis, E. F., Cruz, S. C. S., Smaniotti, A. O., de Lima, T. P., & Rossato, M. (2023). Application of Azospirillum brasiliense and nitrogen in topdressing in corn hybrids. *Revista de Agricultura Neotropical*, 10(1), e7055.
- Casarín, S. T. et al. (2020). Tipos de revisão de literatura: considerações das editoras do Journal of Nursing and Health. *Journal of Nursing and Health*. 10(5).
- Castro Júnior, H. K. (2024). *Vinte e um anos de plantio direto no cerrado: comportamento do milho em função da calagem, gessagem, culturas de cobertura e adubação nitrogenada-safra 2021/22*. 58f. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho” Câmpus De Ilha Solteira. 2024.
- Colla, G., Nardi, S., Cardarelli, M., Ertani, A., Lucini, L., Canaguier, R., & Roushanel, Y. (2015). Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 28-38.
- Crisóstomo, C. A., & Nascentes, R. F. (2023). *Adubação parcelada de nitrogênio associada a molibdênio na cultura do milho*. In: OPEN SCIENCE RESEARCH X. Editora Científica Digital, 33-53.
- Deuner, S., Nascimento, R. D., Ferreira, L. S., Badinelli, P. G., & Kerber, R. S. (2008). Adubação foliar e via solo de nitrogênio em plantas de milho em fase inicial de desenvolvimento. *Ciência e Agrotecnologia*, 32, 1359-1365.
- Fernandes, J. D., Chaves, L. H. G., Monteiro Filho, A. F., Vasconcellos, A., & Silva, J. D. (2017). Crescimento e produtividade de milho sob influência de parcelamento e doses de nitrogênio. *Revista Espacios*, 38(8), 27.
- Fernández, V., Sotiropoulos, T., Brown, P. (2015). *Adubação foliar: fundamentos científicos e técnicas de campo*. Abisolo. São Paulo. 150p.
- Ferreira, A. C. D. B., Araújo, G. A. D. A., Pereira, P. R. G., & Cardoso, A. A. (2001). Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. *Scientia Agricola*, 58, 131-138.
- Gao, K. U. N., Chen, F., Yuan, L., Zhang, F., & Mi, G. (2015). A comprehensive analysis of root morphological changes and nitrogen allocation in maize in response to low nitrogen stress. *Plant, cell & environment*, 38(4), 740-750.
- Gazola, D., Zucareli, C., Silva, R. R., & Fonseca, I. C. D. B. (2014). Aplicação foliar de aminoácidos e adubação nitrogenada de cobertura na cultura do milho safrinha. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18, 700-707.
- Gazola, D. (2013). *Aplicação foliar de aminoácidos e adubação nitrogenada de cobertura nas culturas do milho e do trigo*. 103f. 2013. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Londrina, Programa de Pós-Graduação em Agronomia.
- Gott, R. M., Sichocki, D., Aquino, L. A., Xavier, F. O., Santos, L. P. D., & De Aquino, R. F. B. A. (2014). Fontes e épocas de aplicação de nitrogênio no milho safrinha. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 13(1), 24-34.
- Guelfi, D. (2017). *Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta ou controlada*. Piracicaba: IPNI, n° 157.
- Guimarães, V. F., Klein, J., Ferreira, M. B., Klein, D. E. K. (2020). Promotion of rice growth and productivity as a result of seed inoculation with *Azospirillum brasiliense*. *African Journal of Agricultural Research*, 16(6), 765-776.
- Hungria, M.; Nogueira, M. A. (2022). *Fixação biológica do nitrogênio*. Brasília, DF: Embrapa Soja.
- Landau, E. C., Magalhães, P. C., Guimarães, D. P. (2021). *Milho: Relações com o clima*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo.
- Lara Cabezas, W. A. R., Korndorfer, G. H., & Motta, S. A. (1997). Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: II. avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, 21, 489-496.
- Lopes, A. S. (2023). *Detecção do status hídrico por imagens aéreas, crescimento de plantas e produtividade de grãos de milho sob diferentes regimes hídricos*. 118f. 2023. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Piauí.
- Lyu, X., Liu, Y., Li, N., Ku, L., Hou, Y., & Wen, X. (2022). Foliar applications of various nitrogen (N) forms to winter wheat affect grain protein accumulation and quality via N metabolism and remobilization. *The Crop Journal*, 10(4), 1165-1177.
- Malavolta, E. (2006). *Manual de nutrição mineral de plantas*. Agronômica Ceres.
- Marschner, H. (1995). *Mineral nutrition of higher plants*. London: Academic, 889 p.
- Mocellin, R. S. P. (2004). *Princípios da adubação foliar*. Canoas: Fertilizantes Omega Ltda.

- Mógor, A. F. (2015). *Fertilizantes foliares complexados com aminoácidos ajudam a corrigir carências nutricionais em plantas*. Agrolink com inf. de assessoria.
- Moreira, R. C., Valadão, F. C. A., & Valadão-Júnior, D. D. (2019). Desempenho agronômico do milho em função da inoculação com *Azospirillum brasiliense* e adubação nitrogenada. *Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 62.
- Mortate, R. K., Nascimento, E. F., de Souza Gonçalves, E. G., & de Paula Lima, M. W. (2018). Resposta do milho (*Zea mays L.*) à adubação foliar e via solo de nitrogênio. *Revista de Agricultura Neotropical*, 5(1), 1-6.
- Neves, G. O. (2023). *Aplicação foliar de magnésio e aminoácidos em milho de segunda safra: uma estratégia para aprimorar o metabolismo fotossintético e antioxidente*. 56f, 2023. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu.
- Oliveira, R. S., Lima, A. C. (2020). Influência da nutrição nitrogenada na resistência do milho ao quebramento. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 44(5), 101-110.
- Orso, G., Villetti, H. L., Krenchinski, F. H., Albrecht, L. P., Moraes, M. F., Albrecht, A. J. P., ... & Oliveira Gomes, A. (2013). *Resposta do milho safrinha à aplicação foliar de fertilizantes a base de nitrogênio*. XII Seminário Nacional de Milho Safrinha. Realização: EMBRAPA, 25.
- Pacentchuk, F., Novakowiski, J. H., Novakowiski, J. H., & Sandini, I. E. (2014). Nitrogênio complementar via foliar nas culturas do milho, soja e feijão: doses e estádios fenológicos de aplicação. *Revista Plantio Direto-Edição*, 142, 143-29.
- Pereira A. S. et al. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [free e-book]. Editora UAB/NTE/UFSM.
- Resende, F. V., Faquin, V., & Souza, R. J. (2000). Efeito da adubação nitrogenada no crescimento e na produção de alho proveniente de cultura de tecidos e de multiplicação convencional. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, 24, 49-57.
- Roberto, V. M. O., Silva, C. D., & Lobato, P. N. (2010). *Resposta da cultura do milho à aplicação de diferentes doses de inoculante (*Azospirillum brasiliense*) via semente*. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 28(1).
- Rother, E. T. (2007). Revisão sistemática x revisão narrativa. *Acta Paul. Enferm.* 20(2).
- Santos, N. C. (2022). *Efeito residual do pó de basalto e enxofre elementar e resposta da cultura da canola a adubação nitrogenada em cobertura*. 67f. 2022. Dissertação - Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
- Silva, G. D. C. C., Puiatti, M., Cecon, P. R., & de Jesus Freitas, A. R. (2017). Crescimento, produtividade e nitrato em frutos de pepino submetidos a fontes de adubos nitrogenados. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 12(2), 179-184.
- Silva, J. A., Souza, L. C., & Ferreira, M. G. (2020). Adubação nitrogenada e produtividade do milho: uma revisão sistemática. *Ciência Rural*, 50(8), 1-10.
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of business research*, 104, 333-339.
- Soratto, R. P., Fernandes, A. M., Souza, E. D. F. C. D., & Souza-Schlick, G. D. D. (2011). Produtividade e qualidade dos grãos de feijão em função da aplicação de nitrogênio em cobertura e via foliar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35, 2019-2028.
- Taiz, L., Zeiger, E. (2009). *Fisiologia Vegetal*. (4. Ed.). Artmed Editora.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. Artmed Editora.
- Vian, A. L.; Kuhn, T. C. G. (2025). *Evolução da safra agrícola 2024/2025: levantamento: março 2025*. Boletim Agronômico. Porto Alegre.