

[ E-BOOK ]

# MANUAL DA NUTRIÇÃO VEGETAL

Todos os direitos reservados à My Farm Agro.



**MyFarm**<sup>®</sup>  
AGRO

## **SOBRE A MY FARM AGRO EDUCAÇÃO**

A My Farm Agro Educação é conhecida como a empresa de educação mais completa do agro. Na My Farm Agro Educação, acreditamos no poder da educação para transformar e capacitar as pessoas que atuam em empresas do segmento. Nosso compromisso é traduzir em cursos a vasta experiência de profissionais já consolidados e respeitados no mercado agro, permitindo que você extraia o máximo potencial da sua produtividade no campo.

Com mais de 10.000 pessoas impactadas até dezembro de 2022 e mais de 150 horas de conteúdo exclusivo já gravado, nos posicionamos como líderes na evolução do ensino digital focado no setor agro. Nossos conteúdos são desenvolvidos pelos maiores especialistas do mercado agrícola do país, para que você tenha uma formação de alta qualidade e relevância prática.

Ao escolher aprender conosco, você está dando um passo significativo em sua jornada de evolução no mundo agro. Estamos entusiasmados em acompanhá-lo nesta jornada e confiantes de que, juntos, alcançaremos novos patamares de conhecimento e sucesso.

**Bom aprendizado!**

**Conteúdo interativo**

Clique no assunto desejado para ser redirecionado à respectiva página.



## ÍNDICE

|   |    |
|---|----|
| Introdução .....  | 4  |
| Classificação dos nutrientes .....  | 5  |
| Composição da planta .....  | 6  |
| Mobilidade dos nutrientes .....   | 6  |
| Sintomas de deficiência .....   | 8  |
| Fatores que afetam o crescimento radicular .....                                | 10 |
| Absorção radicular .....  | 13 |
| Contato íon-raiz .....  | 13 |
| Absorção pela raiz .....  | 14 |
| Fatores internos e externos que afetam a absorção de nutrientes pela raiz ..... | 15 |
| Transporte de nutrientes .....  | 18 |
| Redistribuição .....  | 19 |

## INTRODUÇÃO

Bem-vindo ao nosso manual sobre Nutrição Mineral em Plantas, um recurso indispensável criado para profissionais de agronomia, estudantes e todas as pessoas que têm interesse em entender como as plantas interagem com os nutrientes do solo.

Neste manual você entenderá desde os fundamentos da classificação dos nutrientes até os mecanismos complexos de absorção radicular e transporte de nutrientes dentro das plantas. Além disso, você aprenderá a identificar sintomas de deficiência nutricional, entenderá os fatores que afetam o crescimento radicular e descobrirá como variáveis internas e externas podem impactar a absorção de nutrientes.

Aproveite este material para auxiliar você na construção de uma base sólida em nutrição vegetal.

Nossa missão com este manual é ajudar você a tomar melhores decisões, que não apenas aumentarão a produtividade das culturas, mas também contribuirão para uma agricultura mais sustentável e responsável.

## Classificação dos nutrientes

As plantas absorvem do solo, sem muita discriminação, os elementos essenciais, os benéficos e os tóxicos, podendo estes últimos, inclusive, levá-las à morte.

- **Elementos benéficos:** Não são essenciais para o desenvolvimento da plantas, mas as plantas se beneficiam da sua presença.

- **Elementos tóxicos:** Sua presença, mesmo em pequena quantidade, prejudicam o desenvolvimento da planta . Ex: Alumínio, chumbo, cádmio. **Importante: Todos os nutrientes em excesso são tóxicos.**

- **Elementos essenciais:** Quanto ao nutriente, este é definido como um elemento químico essencial às plantas, ou seja, sem ele a planta não vive.

Um elemento é considerado essencial quando satisfaz três critérios de essencialidade:

- O elemento participa de algum composto ou de alguma reação, sem o qual ou sem a qual a planta não vive;
- Na ausência do elemento a planta não completa seu ciclo de vida;
- O elemento não pode ser substituído por nenhum outro;

"Todos os elementos essenciais devem estar presentes nos tecidos das plantas, mas nem todos os elementos presentes são essenciais".

Segundo MALAVOLTA, 1980 (citando Arnon e Stout, 1939 e Ingen-Housz, século XIX).

- **Macronutrientes** – São os nutrientes que são absorvidos ou exigidos pelas plantas em maiores quantidades: N, P, K, Ca, Mg e S (expresso em g kg<sup>-1</sup> de matéria seca). Os macronutrientes podem ainda

ser divididos em:

- macronutrientes primários que são N, P e K e os
- macronutrientes secundários que são o Ca, Mg e S.

• **Micronutrientes** – São os nutrientes que são absorvidos ou exigidos pelas plantas em menores quantidades: Fe, Mn, Zn, Cu, B, Cl e Mo (expresso em mg kg<sup>-1</sup> de matéria seca).

### Composição da planta

Realizando-se análise deste material vegetal seco, observa-se de uma maneira geral, o predomínio de C, H e O, compondo 92% da matéria seca das plantas. Ressalta-se que o C provém do ar atmosférico na forma de gás carbono, CO<sub>2</sub>; o H e O vêm da água, H<sub>2</sub>O; enquanto os minerais (macro e micronutrientes) vêm do solo, direta ou indiretamente; portanto, percebe-se que o nutriente das plantas provém de três sistemas ar, água e solo. Assim, cerca de 92% da matéria seca das plantas provém dos sistemas ar e água e apenas 8% provém do solo,

Cabe salientar que a exigência nutricional das culturas é específica para a espécie e até para o cultivar/variedade de uma mesma espécie.

### Mobilidade dos nutrientes

A mobilidade dos nutrientes é um aspecto crucial na nutrição vegetal, influenciando diretamente a saúde e o crescimento das plantas. Este fenômeno ocorre tanto no solo quanto dentro das plantas, e compreender sua dinâmica pode auxiliar profissionais de agronomia a implementar estratégias de manejo mais eficazes. Vamos explorar em detalhes a mobilidade dos nutrientes no solo e nas plantas.

#### Mobilidade dos Nutrientes no Solo

No solo, a mobilidade dos nutrientes é influenciada por várias

características físicas e químicas do solo, incluindo a textura, o pH e o conteúdo de matéria orgânica. A textura do solo pode afetar a retenção de água e nutrientes, enquanto o pH pode influenciar a disponibilidade de nutrientes específicos.

Os nutrientes no solo estão em constante movimento, participando de diversos ciclos biogeoquímicos. Eles podem estar disponíveis para as plantas na forma solúvel, ou podem estar presos em complexos minerais ou orgânicos, tornando-se disponíveis através de processos de mineralização. A absorção de nutrientes pelas raízes das plantas é um processo complexo que pode envolver transporte passivo e ativo, dependendo da concentração de nutrientes no solo e nas raízes.

### **Mobilidade dos Nutrientes nas Plantas**

Dentro das plantas, os nutrientes são transportados através do xilema e do floema, sistemas de vasos que facilitam o movimento de água, nutrientes e outros solutos. A mobilidade dos nutrientes nas plantas pode variar dependendo do nutriente específico. Por exemplo, o nitrogênio é altamente móvel e pode ser transportado para diferentes partes da planta conforme necessário, enquanto outros nutrientes, como o ferro, são menos móveis.

A translocação de nutrientes nas plantas é um processo dinâmico que pode ser influenciado por vários fatores, incluindo o estágio de crescimento da planta, as condições ambientais e a disponibilidade de nutrientes no solo. A eficiência na translocação de nutrientes é vital para garantir que todas as partes da planta recebam a nutrição adequada, promovendo um crescimento saudável e produtivo.

## Sintomas de deficiência

Identificar e corrigir deficiências nutricionais é vital para manter a saúde e a produtividade das plantas. Os sintomas de deficiência são manifestações visíveis ou bioquímicas que indicam a falta de um ou mais nutrientes essenciais. Este capítulo explora os sintomas comuns de deficiência nutricional e como eles podem ser gerenciados eficazmente.

### Identificação de Sintomas de Deficiência

Os sintomas de deficiência nutricional podem variar amplamente dependendo do nutriente que está em falta e da espécie da planta. No entanto, existem algumas características gerais que podem ajudar na identificação:

**Clorose:** Um sinal comum de deficiência de nutrientes, caracterizado por folhas pálidas ou amareladas, geralmente devido à falta de nitrogênio ou ferro.

**Necrose:** A morte do tecido vegetal, muitas vezes vista como áreas marrons ou pretas nas folhas, pode ser um sinal de deficiência de potássio ou cálcio.

**Crescimento Atrofiado:** As plantas podem apresentar crescimento lento ou atrofiado quando estão deficientes em nutrientes essenciais como fósforo.

**Deformação Foliar:** A deformação das folhas pode ocorrer devido à deficiência de nutrientes como magnésio ou zinco.

### Diagnóstico e Análise

Para um diagnóstico preciso das deficiências nutricionais, é essencial realizar análises de solo e tecido vegetal. Essas análises podem fornecer



informações detalhadas sobre os níveis de nutrientes disponíveis e ajudar a identificar quais nutrientes estão em falta. Além disso, a observação direta dos sintomas nas plantas e a correlação com os resultados das análises podem fornecer insights valiosos para o manejo adequado.

### **Estratégias de Manejo**

Uma vez identificadas as deficiências, é crucial implementar estratégias de manejo para corrigi-las. Isso pode incluir:

**Fertilização Corretiva:** Aplicação de fertilizantes específicos para suprir a deficiência de nutrientes identificada.

**Correção do pH do Solo:** Ajustar o pH do solo pode melhorar a disponibilidade de nutrientes e ajudar a prevenir deficiências.

**Práticas de Manejo Integrado:** Implementação de práticas de manejo integrado, como rotação de culturas e cobertura do solo, para promover a saúde do solo e prevenir deficiências nutricionais.

## Fatores que afetam o crescimento radicular

O crescimento radicular é um processo vital que influencia diretamente a saúde e a produtividade das plantas. Diversos fatores, incluindo a disponibilidade de nutrientes e a presença de hormônios específicos, podem afetar esse processo. Vamos explorar em detalhes os principais fatores que influenciam o crescimento radicular:

### Nutrientes Essenciais

**Oxigênio:** Fundamental para a respiração radicular, a falta de oxigênio pode limitar severamente o crescimento das raízes.

**Fósforo:** A distribuição adequada de fósforo no perfil do solo é crucial para promover um crescimento radicular saudável e profundo.

**Cálcio:** Esse nutriente é vital para o desenvolvimento da ponta das raízes, sendo necessário para a expansão celular.

**Zinco:** Atua como um cofator enzimático, sendo essencial para o crescimento e desenvolvimento radicular.

**Cobalto e Níquel:** Estes nutrientes são importantes para o enraizamento, pois reduzem a produção de etileno, especialmente ao inibir a absorção de ferro, que é utilizado na síntese de etileno.

**Boro e Cobre:** Controlam a atividade da enzima AIA oxidase, prevenindo o acúmulo de altos níveis de auxina, o que pode ser prejudicial para o crescimento radicular.

**Molibdênio:** Influencia diretamente o vigor das sementes, atuando na enzima aldeído oxidase, que auxilia na produção de auxina e ácido abscísico.

**Manganês:** Está ligado ao processo de enraizamento, influenciando a rota do ácido chiquímico, que está envolvido na produção de triptofano e, conseqüentemente, de auxina.

### Hormônios e Compostos Orgânicos

**Auxina:** Hormônio que promove o crescimento radicular, sendo produzido em resposta a vários estímulos, incluindo a presença de extratos de algas e a atividade de bactérias e fungos benéficos no solo.

**Etileno:** Atua como um inibidor do crescimento radicular, com sua síntese sendo influenciada por vários fatores, incluindo a disponibilidade de ferro.

**Triptofano:** Um precursor da auxina, sua produção pode ser estimulada por bactérias e fungos benéficos no solo.

**Glutamato e Glicina:** Aminoácidos que podem influenciar o crescimento radicular, embora seus papéis específicos necessitem de mais investigação.

### Considerações Sobre Cultivares

As cultivares mais precoces tendem a ter uma capacidade reduzida de crescimento radicular, já que priorizam o desenvolvimento de estruturas reprodutivas em detrimento do sistema radicular. Isso significa que, à medida que o ciclo da planta é reduzido, há uma diminuição correspondente no volume de crescimento radicular.

O crescimento radicular é um processo complexo influenciado por uma variedade de fatores, incluindo a disponibilidade de nutrientes e a ação de hormônios específicos. Uma compreensão profunda desses fatores pode ajudar os agrônomos a desenvolver estratégias de manejo mais eficazes, promovendo a saúde das plantas e aumentando a

produtividade agrícola.

### **O que a raiz precisa para absorver nutrientes?**

Para que as raízes das plantas possam absorver nutrientes de maneira eficaz, é necessário um fornecimento constante de energia, que é primariamente derivado do processo de fotossíntese. Este processo, que ocorre nas folhas, converte a luz solar em energia química, fornecendo assim o combustível necessário para várias funções vitais da planta, incluindo a absorção de nutrientes pelo sistema radicular.

As folhas mais baixas, ou "folhas do baixeiro", desempenham um papel crucial neste processo, pois são muitas vezes as primeiras a receber luz solar suficiente, especialmente em plantas densamente plantadas ou em culturas com folhagem espessa. Estas folhas, então, auxiliam na alimentação do sistema radicular, facilitando a absorção eficiente de nutrientes do solo.

Além da energia derivada da fotossíntese, a absorção de nutrientes pelas raízes também é influenciada por outros fatores, incluindo a presença de microrganismos benéficos no solo, a disponibilidade de água e a estrutura do solo. Um entendimento profundo desses processos pode ajudar os agrônomos a desenvolver estratégias de manejo mais eficazes, promovendo um crescimento saudável e vigoroso das plantas.

## Absorção radicular

O sistema radicular é referido como a "boca" da planta, sendo o principal meio pelo qual os nutrientes são absorvidos do solo. Embora as folhas desempenhem um papel na absorção de nutrientes, principalmente através da fotossíntese, a principal função de absorção de nutrientes é realizada pelo sistema radicular. Para entender melhor este processo, é necessário primeiro definir alguns termos-chave:

**1) Absorção:** Este é o processo pelo qual um elemento, denotado como "M", é transferido do substrato (que pode ser o solo ou uma solução nutritiva) para qualquer parte da célula vegetal, seja a parede celular, o citoplasma ou o vacúolo.

**2) Transporte ou Translocação:** Refere-se à transferência do elemento, que pode estar na mesma forma ou em uma forma diferente da que foi absorvida inicialmente, de um órgão ou região de absorção para outro. Por exemplo, da raiz para a parte aérea da planta.

**3) Redistribuição:** Este processo envolve a transferência do elemento de um órgão ou região de acúmulo para outro, podendo estar na mesma forma ou em uma forma diferente da que foi absorvida inicialmente. Um exemplo comum seria a transferência de nutrientes de uma folha velha para uma nova, ou de uma folha para um fruto.

### Processo de Absorção de Nutrientes pela Raiz

A absorção de nutrientes pela raiz ocorre em várias etapas, começando com o nutriente alcançando a raiz. Este processo pode ocorrer de três maneiras principais:

**1) Contato Íon-Raiz:** Para que a absorção ocorra, é necessário estabelecer um contato íon-raiz, que pode acontecer através dos seguintes processos:

**a) Interceptação Radicular:** Durante seu crescimento, a raiz encontra o elemento na solução do solo, onde ele precisa estar presente para ser absorvido.

**b) Fluxo de Massa:** Este é o movimento do elemento da solução do solo, especificamente da fase aquosa móvel, para a proximidade da raiz (rizosfera), um processo que é intensificado à medida que a planta transpira. Isso ocorre devido a uma ligação ininterrupta entre as moléculas que evaporam pela folha e as moléculas presentes na solução do solo.

**c) Difusão:** Neste processo, o nutriente se move por distâncias curtas dentro de uma fase aquosa estacionária, movendo-se de uma região de maior concentração para uma de menor concentração na superfície da raiz.

**2) Absorção pela Raiz:** A absorção de nutrientes pela raiz pode ocorrer através de três vias principais:

**a) Via Simplástica:** A rota simplástica envolve o movimento de nutrientes através do citoplasma das células vegetais, facilitado por plasmodesmas.

**b) Via Apoplástica:** Nesta rota, os nutrientes se movem através dos espaços extracelulares, sem atravessar membranas celulares.

**c) Via Transmembrana:** Este processo envolve o transporte de nutrientes através das membranas celulares, utilizando transportadores de membrana específicos.

## Fatores internos e externos que afetam a absorção de nutrientes pela raiz

### Fatores externos

A absorção iônica é influenciada por fatores do meio, isto é, externos (meio) e por fatores internos, ligados à própria planta, podendo modificar a velocidade de absorção, aumentando-a ou diminuindo-a. Estes fatores, portanto, podem alterar a eficiência de absorção dos nutrientes (EA) pelas plantas, ou seja, a capacidade da planta na absorção de nutrientes por unidade de raiz.

**Disponibilidade** - A primeira condição para que o nutriente seja absorvido refere-se à necessidade de este estar na forma disponível à planta, ou seja, a forma química que a planta "reconhece" como um nutriente.

**pH "efeito direto"** – no processo de absorção, pode existir a competição entre o  $H^+$  e os outros cátions e, do  $OH^-$  com os outros ânions, pelos mesmos sítios dos carregadores na membrana. Assim, pode-se afirmar que em solo ácido (pH baixo) ou alcalino (pH alto) tem-se diminuição da absorção de cátions ou de ânions, respectivamente.

**Aeração** – é importante o oxigênio durante o processo da absorção ativa, que depende da energia metabólica (ATP) originada na respiração. Assim, solos compactados impedem o fluxo de  $O_2$ , comparado ao solo não-compactado,

**Temperatura** – na faixa de 0 a  $30^\circ C$ , a absorção cresce de modo praticamente linear, com a elevação da temperatura. Isto se explica pelo fato de que dentro de certos limites, há um aumento da atividade metabólica da planta, principalmente pela intensidade respiratória.

**Umidade** – além de influenciar a disponibilidade de elementos no solo, a umidade afeta, também, o processo de absorção, visto ser a água o veículo natural de entrada dos nutrientes. Assim, a precipitação pluviométrica ou níveis de irrigação, utilizados na área agrícola pode influenciar a absorção dos nutrientes pelas culturas

**Elemento** – a velocidade de absorção depende, em parte, do elemento considerado, obedecendo à seguinte ordem decrescente:

Ânions:  $\text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{H}_2\text{PO}_4^-$ ;  
Cátions:  $\text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$

Micorrizas - as micorrizas aumentam a superfície de exposição das raízes e, com isso, cresce a capacidade de absorção dos elementos.

### Fatores internos

**Potencial genético** O potencial genético da planta pode determinar uma maior facilidade ou não na absorção de um determinado elemento. Assim, existem espécies vegetais e/ou variedades que absorvem e concentram mais determinados nutrientes enquanto outros são ineficientes na absorção de outros elementos. Desse modo, o processo de absorção iônica está sob controle genético.

**Estado iônico interno:** A planta saturada em íons absorve menos que outra planta que tenha poucos íons. As plantas ligeiramente deficientes têm velocidade de absorção maior que as plantas bem-nutridas.

**Teor de carboidratos:** O teor de carboidrato da planta determina o nível metabólico da mesma e, em função de essas substâncias constituírem o principal substrato respiratório e a conseqüente produção de energia, quanto maior o nível dessas reservas, maior será a absorção radicular.



**Intensidade transpiratória:** A corrente transpiratória, que no xilema conduz o nutriente para a parte aérea, pode aumentar a tensão, “puxando” os elementos contidos nos espaços intercelulares e na parede celular das células da raiz. Havendo maior transpiração, é favorecido o gradiente de umidade no solo, o que aumenta o fluxo de massa para a raiz.

**Morfologia das raízes:** As plantas com raízes bem-desenvolvidas, mais finas, bem-distribuídas, com maior proporção de pêlos absorventes, absorvem mais, especialmente elementos cujo contato com a raiz se faz por difusão.

## Transporte de nutrientes

Após o nutriente ser absorvido pelas raízes por meio das células da epiderme, o mesmo sofrerá o transporte, definido como movimento do nutriente do local de absorção para outro local qualquer. Têm-se dois tipos de transporte dos nutrientes nas plantas, o radial (da epiderme até o xilema) e o de longa distância (do xilema até a parte aérea).

O transporte radial compreende o movimento do nutriente da célula da epiderme até os vasos do xilema, pode ocorrer por dois caminhos: via apoplasto e/ou simplasto

Pela via apoplasto, os nutrientes podem percorrer os espaços intercelulares ou deslocar-se pelas paredes celulares, de uma célula para outra até chegar à endoderme, que a partir daí é impedida pelas estrias de caspary.

Na via simplasto os nutrientes têm caminamento pelo interior das células até a endoderme e mais para dentro pode também ser feito por meio de comunicações citoplasmáticas entre uma célula e outra (plasmodesma), sendo este caminho obrigatório além da endoderme (Malavolta, 1980).

E após o nutriente ter atingido o xilema, tem-se o transporte à longa distância até a parte aérea, que ocorre pelo processo totalmente passivo, para todos os nutrientes. Com a morte das células do xilema, formam-se tubos longos livres, permitindo o transporte da solução de nutrientes até a parte aérea.

De toda a forma, pode-se inferir que para aqueles nutrientes imóveis no floema, a aplicação foliar pode não ser a medida mais satisfatória de fornecimento do nutriente à planta, sendo a aplicação no solo, a mais vantajosa.

## Redistribuição

O termo redistribuição refere-se à transferência do nutriente de um órgão ou região de residência para outro ou outra, em forma igual ou diferente da absorvida; exemplo:

- De uma folha qualquer para o fruto em desenvolvimento;
- De uma folha velha para uma folha mais nova;
- Da casca para uma folha mais nova.

A redistribuição de um nutriente na planta é processo secundário e se refere a translocação do mesmo desde os locais onde foram depositados pelo movimento da água no xilema (Cerdeira et al., 1982) até atingir outros órgãos via vasos do floema.

Deste modo, os nutrientes com alta mobilidade na planta, apresentam alta concentração deste nutriente no floema. Uma vez que a imobilidade no floema é causada presumivelmente pela incapacidade desses elementos de entrar nos tubos crivados.

Assim, a mobilidade dos nutrientes (redistribuição pelos órgãos no floema) nas plantas varia de elemento para elemento, ou seja, as funções que o nutriente exerce na planta determina sua mobilidade, e também sofre interferências do meio de cultivo e da espécie/cultivar.

## CONCLUSÃO

Ao longo deste manual, navegamos pelos complexos e fascinantes caminhos da nutrição mineral em plantas, uma área de estudo que se mantém como pilar fundamental na agronomia e na garantia de uma agricultura sustentável e produtiva. Aprofundamo-nos em temas cruciais como a mobilidade dos nutrientes, sintomas de deficiência, fatores que influenciam o crescimento radicular e os mecanismos intrincados da absorção radicular.

Compreender a nutrição mineral é mais do que apenas entender como as plantas absorvem e utilizam nutrientes do solo. É sobre desvendar os segredos da vida vegetal, e como, através da ciência e da tecnologia, podemos otimizar esses processos naturais para beneficiar não apenas as culturas que cultivamos, mas também a sociedade como um todo.

Ao aplicar os conhecimentos adquiridos neste manual, os profissionais de agronomia estarão melhor equipados para tomar decisões informadas no campo, promovendo práticas agrícolas mais sustentáveis e produtivas. Seja através da identificação e correção de deficiências nutricionais, ou da implementação de estratégias inovadoras para promover um crescimento radicular saudável, os insights adquiridos aqui servirão como uma ferramenta valiosa na busca contínua por uma agricultura mais verde e próspera.



**MyFarm**<sup>®</sup>  
A G R O