

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GIOVANE ANDREI KULHKAMP

USO DE ADUBOS FOLIARES E SUA EFICIÊNCIA

CURITIBA

2020

GIOVANE ANDREI KULHKAMP

USO DE ADUBOS FOLIARES E SUA EFICIÊNCIA

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná à obtenção de título de especialista

Orientadora: Verediana Fernanda Cherobim

Coorientadora: Eloá Moura Araújo

CURITIBA

2020

## RESUMO

O presente trabalho relata sobre as práticas e uso de adubos foliares, destina-se para um melhor esclarecimento em relação ao uso de fertilizantes foliares, a capacidade das folhas e a função de suas estruturas na absorção de nutrientes,

Esclarecer o efeito dos fertilizantes aplicados via folha, buscando obter a melhor época para a aplicação além de exemplificar os mecanismos de absorção via foliar, além de relatar os fatores que influencia na absorção dos mesmos.

Estudos sobre a eficiência dos adubos são cada vez mais frequentes, porém, precisam ser realizados estudos mais específicos. Condições climáticas, teor nutricional da planta, e características da calda aplicada, e tecnologia de aplicação, influenciam significativamente na absorção foliar.

**Palavra-chave:** marcha, absorção, nutrição, eficiência; foliar, produção; aplicação.

## **ABSTRACT**

The present work reports on the practices and use of foliar fertilizers, it is intended for a better clarification in relation to the use of foliar fertilizers, the capacity of the leaves and the function of their structures in the absorption of nutrients,

Clarify the effect of fertilizers applied via leaf, seeking to obtain the best time for application in addition to exemplifying the mechanisms of absorption via leaf, in addition to reporting the factors that influence their absorption.

Studies on the efficiency of fertilizers are increasingly frequent, however, more specific studies need to be carried out. Climatic conditions, nutritional content of the plant, and characteristics of the spray solution, and application technology, significantly influence leaf absorption.

**Keyword:** gait, absorption, nutrition, efficiency; leaf, production; application.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	OBJETIVOS.....	4
3.	JUSTIFICATIVA.....	5
4.	METODOLOGIA.....	6
5.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	7
6.	CONCLUSÃO .....	17
7.	REFERÊNCIAS .....	19

## 1. INTRODUÇÃO

A adubação foliar é uma ferramenta importante para a gestão sustentável e produtiva das culturas. Avanços nesta área exigem uma compreensão dos princípios físicos, químicos, biológicos e ambientais que regulam a absorção e a utilização dos nutrientes foliares aplicados (FERNÁNDEZ et al., 2015).

A prática da adubação foliar vem se desenvolvendo intensamente nos últimos anos, como rotina, em várias culturas de interesse econômico. O uso de micronutrientes (Ferro (Fe), Magnésio (Mg), Enxofre (S), Boro (B), Cobre (Cu), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo), Zinco (Zn).), via foliar, tem aumentado continuamente em função do maior conhecimento da composição mineral do solo e da disponibilidade ou não desses minerais no solo, assim como, do aumento nos procedimentos de diagnose das culturas e seus cultivares (MOCELLIN, 2004).

A capacidade das folhas em absorver água e nutrientes foi reconhecida há cerca três séculos (FERNÁNDEZ; EICHERT, 2009). Já o uso da adubação foliar é datado do século XIX, com o uso de N, P, K, Ca e de Zn e B nas folhas relatado na Alemanha e na Rússia (SANTOS, 2017).

O papel dos estômatos no processo da absorção foliar foi tema de interesse desde o início do século 20, no entanto, em 1972, foi postulado que a água pura não poderia se infiltrar espontaneamente nos estômatos, a menos que um agente tensoativo aplicado junto com a solução reduzisse a tensão superficial para menos de  $30 \text{ mN m}^{-1}$  (SCHÖNHERR; BUKOVAC, 1972).

A proposição de que os estômatos também contribuiriam para a penetração foliar foi reavaliada por Eichert e colaboradores no final da década de 1990 e validada posteriormente (EICHERT et al., 1998; EICHERT; BURKHARDT, 2001; EICHERT; GOLDBACH, 2008; FERNÁNDEZ; EICHERT, 2009). Atualmente, a relevância quantitativa deste percurso e a contribuição de outras estruturas superficiais, como as lenticelas, para a absorção de soluções via foliar permanece obscura.

O principal meio de contato entre o nutriente e a folha é feito por meio de pulverização agrícola. A adubação foliar é um processo no qual a aplicação de nutrientes minerais é feita na folha e através da absorção total (absorção passiva e ativa), os nutrientes são utilizados por toda a planta, não se limitando a um alvo localizado na folha, suprimindo as necessidades nutricionais em qualquer lugar da planta (NUNES, 2016).

Na adubação foliar, os nutrientes são aplicados em solução aquosa e estes necessitam entrar na célula (citoplasma, vacúolo, organelas) para então desempenharem suas funções, uma vez que o nutriente é considerado absorvido quando está dentro da célula. Para a absorção do nutriente via foliar, há duas barreiras a serem vencidas, a primeira é a cutícula/epiderme e a segunda são as membranas: plasmalema e tonoplasto.

Mocellin (2004) acredita que a adubação foliar é mais eficaz, mais rápida e mais econômica, já que evita os desperdícios inerentes à dissolução que os fertilizantes sofrem, quando aplicados ao solo, para se tornarem “disponíveis” para a planta. Além disso, a adubação foliar é, teoricamente, mais amigável ao ambiente, de resposta mais imediata e mais direcionada ao objetivo do que a fertilização via solo, pois os nutrientes podem ser fornecidos aos tecidos vegetais durante as fases críticas do crescimento da planta. Assim, a necessidade de corrigir uma deficiência pode ser bem definida, porém, caso a planta não esteja com carência nutricional, a determinação da eficácia da fertilização foliar pode ser muito mais incerta (RODELLA, 2015).

Rosolem (1984) ressalva que a utilização de sais solúveis de NPK, somente deve ser feita em baixa concentração, sendo necessárias várias aplicações para atingir a adequada quantidade de nutrientes nas plantas, capaz de afetar significativamente a produtividade, deste modo, inviabilizando a aplicação de macronutrientes. Assim, a adubação foliar é mais útil para micronutrientes, pois são exigidos em menor quantidade do que comparado aos macronutrientes, possibilitando que em alguns casos toda a demanda da planta seja suprida pela aplicação foliar.

De toda a forma, pode-se inferir que para aqueles nutrientes imóveis no floema (Cálcio e Boro), a aplicação foliar pode não ser a medida mais satisfatória de fornecimento do nutriente à planta, sendo a aplicação no solo, a mais vantajosa. Entretanto, em algumas situações, devido à baixa transpiração de frutos, a absorção radicular pode não ser suficiente para suprir estes frutos, assim aplicações localizadas têm sido recomendadas, a exemplo do Ca em tomateiro (fruto) para prevenir podridão apical, e também em maçã (bitter pit) (XU et al., 2005).

Os estudos para absorção radicular são semelhantes aos estudos de absorção foliar onde o material é colocado em contato com a solução onde são

submetidas a condições desejadas e depois do período de experimento procede-se as avaliações (MALAVOLTA, 1980).

## **2. OBJETIVOS**

### Objetivo geral

Esclarecer através de revisão bibliográfica, o efeito da aplicação de fertilizantes foliares, e recomendações de uso, levando em consideração análise de solo, períodos de estresse, exigência nutricional das culturas e o efeito esperado nas diferentes fases do desenvolvimento, e assim, informar a melhor forma, época e condições climáticas para a máxima eficiência dos adubos foliares

### Objetivos específicos

Exemplificar os mecanismos de absorção via foliar

Relatar as condições que favorecem, ou não, a absorção foliar

### **3. JUSTIFICATIVA**

Com a busca pelo incremento de produtividade em culturas comerciais, adubos foliares vem sendo largamente utilizados, prometendo incremento de produtividade. Todavia, a adubação foliar é uma técnica com resultados inconsistentes. Por isso, é preciso compilar informações sobre o efeito da adubação foliar de modo a garantir a utilização da técnica no momento adequado, aumentando o efeito positivo e viabilizando a aplicação.

#### **4. METODOLOGIA**

O trabalho foi desenvolvido em escritório, com pesquisa literária sendo utilizado apostilas do curso de pós graduação em fertilidade do solo e nutrição de plantas da UFPR, livros da biblioteca da mesma instituição, busca por artigos e livros disponíveis na internet, através de site de busca como Google, e Google acadêmico.

Palavras chaves: Adubação, Fertilizante, Mecanismo de Absorção, Foliar, Nutrição de Plantas, Cultura.

## 5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A crescente produtividade das mais diversas culturas agrícolas brasileiras, está relacionado mais aos avanços científicos e à utilização de tecnologias do setor agrícola. Entre estas tecnologias está a aplicação de fertilizantes e bioestimulantes foliares (ROSOLEM, 2002), no entanto, a adubação foliar é uma técnica com resultados inconsistentes e questionados pela comunidade científica, mas apesar desta inconsistência, ela é amplamente utilizada nas culturas brasileiras.

Baseado nos estudos anteriores Justus von Liebig, um químico alemão, formulou a chamada Lei do Mínimo que pode ser enunciada da seguinte forma: “O crescimento é limitado não pelos recursos totais existentes, mas pelo recurso que existe em menor quantidade” (KING, 2011). Desta forma, se houver um déficit nutricional em algum momento do desenvolvimento, a planta terá sua capacidade produtiva limitada ao fornecimento do nutriente em falta, podendo ocasionar desordens nutricionais, sejam por excessos ou deficiência, desta forma causando uma diminuição na produção em qualquer cultura.

Desde o primeiro uso registrado, no início do século 19, a adubação foliar foi objeto de considerável volume de pesquisas (Tabela 1), em ambiente controlado e em campo, e amplamente adotada como prática rotineira para muitas culturas (RODELLA, 2015).

Tabela 1. Trabalhos sobre adubação foliar publicados em periódicos.

Cultura	Nutrientes	Referência
Soja	Enxofre	REZENDE et al., 2009
Soja	Fosforo	REZENDE et al., 2005
Soja	Boro	KAPPES et al., 2008
Soja	Calcio e Boro	MACEDO et al., 2002
Capim Mombaça	Nitrogênio	PIETROSKI et al., 2015
Milho (Fase inicial)	Nitrogênio	DEUNER et al., 2008
Milho	Silício	FREITAS et al., 2011
Milho	Boro, Zinco, Nitrogenio	MARÓSTICA et al., 2013
Feijão	Boro e Manganês	OLIANI et al., 2011
Feijão	Manganês e Zinco	TEIXEIRA et al., 2005

Feijão	Molibdênio e nitrogênio	CALONEGO et al., 2010
Amendoim	Boro	MANTOVANI et al., 2013
Algodão	Nitrogênio e Potássio	CARVALHO et al., 2001
Cana-de-açúcar	Nitrogênio	TRIVELIN et al., 1988
Abacaxi	Nitrogênio, Potássio, boro	COELHO et. al., 2007

Os trabalhos apresentados na tabela 01, são alguns trabalhos que se mostraram relevantes, porém, representam uma pequena parte das pesquisas realizadas, sendo que, todos os anos, novos trabalhos são elaborados, buscando esclarecer dúvidas e produzir novos trabalhos e hipóteses.

Os processos pelos quais uma solução nutritiva aplicada às folhas é posteriormente utilizada pela planta incluem: adsorção foliar, penetração cuticular e absorção no interior dos compartimentos celulares metabolicamente ativos na folha e posterior translocação e utilização do nutriente absorvido pela planta.

Para Fernández et al. (2015), a superfície aérea da planta é caracterizada por um conjunto complexo e diversificado de adaptações químicas e físicas especializadas que aumentam a tolerância da mesma a uma extensa lista de fatores, incluindo: irradiação desfavorável, temperaturas, déficit de pressão de vapor, vento, herbívoros, danos físicos, poeira, chuva, poluentes, produtos químicos antropogênicos, insetos e patógenos.

As superfícies aéreas das plantas geralmente são cobertas por uma cutícula hidrofóbica e muitas vezes possuem células epidérmicas modificadas, como tricomas e estômatos. A superfície externa da cutícula é coberta por ceras que podem lhe conferir um caráter hidrofóbico. Esta hidrofobicidade e polaridade da superfície da planta é determinado pela espécie, natureza química e topografia, as quais também são influenciadas pela estrutura das células epidérmicas. Como as folhas, os frutos também são protegidos por uma cutícula e podem conter estruturas epidérmicas, como estômatos e tricomas que influenciam a transpiração e contribuem para a condução da água e nutrientes (FERNÁNDEZ et al., 2015).

Para uma melhor compreensão, pode-se dividir os fatores que influenciam a absorção em dois: fatores internos, que envolve a bioquímica e a célula da planta, e fatores externos, como por exemplo, umidade do ar, pH da solução aplicada, temperatura, entre outros.

### 5.1. Fatores Internos

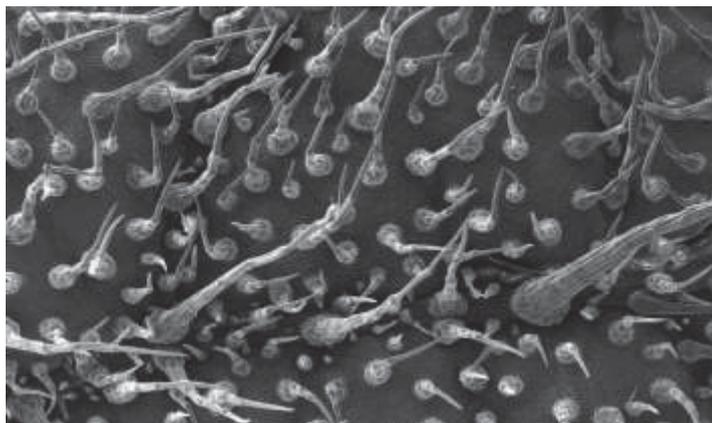
Entre os fatores internos, ou seja, aqueles ligados à planta, são considerados a umidade da cutícula, a superfície da folha, a idade e o estado iônico interno. A epiderme e a cutícula revestem a página superior e inferior das folhas, sendo que a cutícula (parte mais externa) é de natureza química complexa, formada por ceras, cutina, pectina e celulose. A epiderme é permeável a água, conferindo propriedade de molhamento e hidrofília. A absorção foliar, tal como a radicular, compreende uma fase passiva (penetração cuticular) e uma ativa (absorção celular) (SILVA, 2016).

Absorção passiva se dá quando não há gasto de energia das células, ocorrendo normalmente pela diferença do gradiente de concentração e corresponde a entrada de substâncias na parede celular, absorção ativa, há o gasto de energia celular, sendo possível a absorção ser contra o gradiente de concentração, Além disso, a entrada e o acúmulo dos nutrientes se dão através do citoplasma ou no interior do vacúolo.

A cutícula que cobre a parte aérea das plantas é uma camada extracelular composta por uma matriz de biopolímero com ceras incorporadas (intracuticular) ou depositadas na superfície (cera epicuticular) (HEREDIA, 2003). No lado interno, uma substância cerosa chamada cutina é misturada ao material polissacarídeo da parede celular da epiderme, composto principalmente de celulose, hemicelulose e pectina, em proporção semelhante à encontrada nas paredes celulares das plantas. Por conseguinte, a própria cutícula pode ser considerada como uma parede celular “cutinizada”, o que enfatiza a natureza constitucional e heterogênea desta camada e sua interação fisiologicamente importante com a parede da célula subjacente (DOMINGUEZ et al., 2011).

Os tricomas (Figura-1) são apêndices epidérmicos de formas variadas, com aspecto de pelos ou escamas, podem crescer em todas as partes da planta e são classificados basicamente como glandulares ou não glandulares. Enquanto os tricomas não-glandulares se distinguem pela morfologia, os diferentes tipos de tricomas glandulares são definidos pelos materiais que excretam, acumulam ou absorvem (WAGNER et al., 2004). Os tricomas não-glandulares apresentam grande variabilidade de tamanho, morfologia e função, e sua presença é mais proeminente nas plantas que se desenvolvem em ambientes secos e geralmente em órgãos jovens (KARABOURNIOTIS; LIAKOPOULOS, 2005).

Figura-1: Imagem obtida por microscópio de varedura de tricomas da superfície do kiwi



Fonte: Xurxo Gago Mariño. Dpt. Biología Vegetal y Ciencias del Suelo, Facultad de Biología, Universidad de Vigo.

Os estômatos (Figura - 2) são células epidérmicas modificadas que controlam as trocas gasosas e as perdas de água por transpiração nas folhas. Estão geralmente presentes no lado inferior da folha, mas em algumas espécies de plantas como milho e soja, conhecidas como anfiestomáticas, ocorrem também no lado superior (EICHERT; FERNÁNDEZ, 2011). Os estômatos também ocorrem na epiderme de muitas frutas, como pêssigo, nectarina, ameixa ou cereja, embora em densidades mais baixas, em comparação com as folhas.

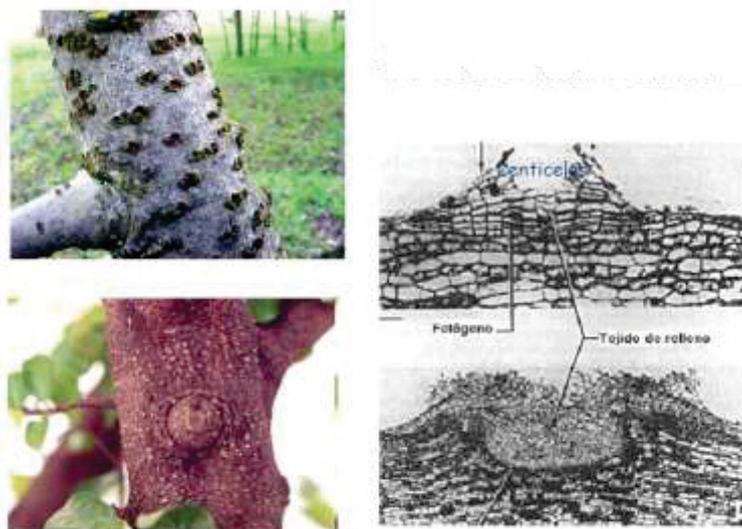
Figura – 2: Imagem de microscópio ótico, ao centro o estômato com cloroplastos visíveis



Fonte: Joaquim Vicente(2006) ESMTG

Outro tipo de estrutura epidérmica que ocorre na superfície das plantas são as lenticelas (figura – 3), que são estruturas macroscópicas que podem ocorrer em caules, pedicelos ou superfícies de frutas (por exemplo, maçã, pera ou manga), sendo que sua função evolutiva está associada aos estômatos.

Figura - 3: Imagem de Lenticela em troncos de arvores



Fonte: autor desconhecido, Disponível em:

<https://slideplayer.com.br/slide/1640675/>

Segundo Fernández et al. (2015), ocorreram algumas tentativas de avaliar a contribuição de tricomas ou lenticelas na absorção de nutrientes aplicados na superfície das frutas. E outros sugeriram que as lenticelas em maçãs maduras eram os locais preferenciais para a absorção de soluções de Ca através da superfície do fruto, embora esta possibilidade não tenha sido avaliada em detalhes até o momento.

A superfície da folha é considerada um fator interno importante à medida que a face superior e inferior da folha se apresenta com alguns aspectos anatômicos distintos. Na literatura, tem sido indicado que a absorção foliar de nutrientes ocorre preferencialmente na face superior da folha, onde a cutícula é mais fina (a exemplo da face inferior ou folha sombreada) e também a região que predomina maior quantidade de estômatos. Nesta face com maior quantidade de estômatos, tem muitas células guardas, que por sua vez, tem alta quantidade de poros e associado a isto, a composição da cera cuticular das células-guarda oferece menor resistência a passagem de solutos (KARABOURNIOTIS et al., 2001). Ao passo que a entrada de íons pela cavidade estomatal é pouco provável, pois a entrada de líquidos é insignificante devido a sua arquitetura (ZIEGLER, 1987) e a presença do revestimento da cutícula, embora de espessura fina, e de gases (pressão positiva) que também impedem a passagem da solução.

A umidade da cutícula apresenta-se como fator importante para o caminhamento do elemento químico na fase passiva da absorção. Considerando que o processo de difusão dos elementos faz parte dessa dinâmica, um nível mínimo de umidade é indispensável para a sua ocorrência. Assim, as cutículas desidratadas, em folhas murchas, são consideradas praticamente impermeáveis (SILVA, 2016).

A idade da folha é considerada importante na medida em que, com o amadurecimento e envelhecimento da folha, há um maior desenvolvimento da cutícula o que aumenta a resistência da solução à penetração e, conseqüentemente, o processo de absorção se torna mais difícil.

## 5.2. Fatores Externos

A absorção foliar é também influenciada por diversos fatores externos (ambiente), tais como: o ângulo de contato da solução e a folha, que refere-se ao maior ou menor molhamento da folha pela solução; a temperatura e umidade, que determinam a velocidade de secamento da solução aplicada, a concentração e composição da solução; e a luz, que pode fazer a degradação de algumas moléculas (SILVA, 2016).

Há diferenças na absorção foliar em função da natureza química do íon (cátions ou ânions) e mesmo pelo íon acompanhante. Desta forma, devemos observar que os poros da cutícula contêm cargas negativas (ácidos poligalacturônicos), e isto implica em maior absorção de cátions em relação aos ânions que sofre uma repulsão. Desta forma, por exemplo, a taxa de absorção de  $\text{NH}_4^+$  é maior do que a de  $\text{NO}_3^-$  (ALLEN, 1960).

Na tabela 2 observamos o tempo médio de absorção via folia de alguns nutrientes.

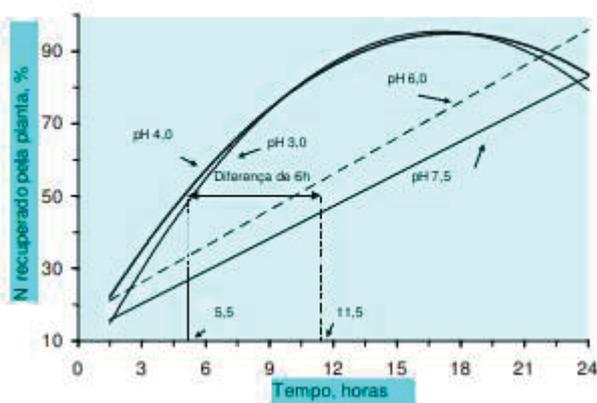
Tabela 2. Velocidade de absorção de nutrientes aplicados as folhas (MALAVOLTA, 1980).

Nutriente	Tempo para 50% da absorção total
<b>N</b> -Ureia ( $\text{CO-NH}_2$ ) <sub>2</sub>	0,5 a 36 horas
<b>P</b> – $\text{H}_2\text{PO}_4^-$	1 a 15 dias
<b>K</b> – $\text{K}^+$	1 a 4 dias
<b>Ca</b> – $\text{Ca}^{2+}$	10 a 96 horas
<b>Mg</b> – $\text{Mg}^{2+}$	10 a 24 h
<b>S</b> – $\text{SO}_4^{2+}$	5 a 10 dias
<b>Cl</b> – $\text{Cl}^-$	1 a 4 dias
<b>Fe</b> – FE-EDTA	10 a 20 dias
<b>Mn</b> – $\text{Mn}^{2+}$	1 a 2 dias
<b>Mo</b> – $\text{MoO}_4^{2-}$	10 a 20 dias
<b>Zn</b> – $\text{ZN}^{2+}$	1 a 2 dias

A tabela 2 exemplifica com clareza as taxas de absorção dos diferentes nutrientes aplicados as folhas, o seu tempo de absorção está diretamente ligado ao manejo da aplicação, o nitrogênio por exemplo, é rapidamente assimilado pela planta, sendo assim, uma dose um pouco mais elevada deste elemento pode desenvolver uma requeima nas folhas, por outro lado, elementos com taxa de absorção mais lenta, ficando expostos por mais tempo aos fatores climáticos, como por exemplo, o ferro EDTA que leva até 20 dias para ser assimilado em 50%, a ocorrência de pancadas de chuva neste período, leva a lixiviação e a perda do Fe EDTA.

A solução pode modificar o pH da superfície foliar, alterando a permeabilidade da cutícula, aumentando a velocidade de absorção logo no início do processo. Neste sentido, Rosolem et al. (1990), verificaram que o N das soluções de pH baixo (3,0 a 4,0), foi absorvido mais rapidamente que o de soluções com pH mais alto (6,0 a 7,0), atingindo 50% do N aplicado após 5,5 e 11,5 horas, respectivamente (Figura 4).

Figura 4. Taxa do N recuperado na planta de algodão, em função do pH da solução e do tempo de absorção (Adaptado de ROSOLEM et al.,1990).



Swanson e Whitney (1953), ao trabalharem com fontes de fosfato de pH variável, observaram maior absorção de fósforo por folhas de feijoeiro a partir de soluções que apresentaram menor valor de pH. Resultados semelhantes foram obtidos por Oliveira et al. (1995), que observaram maior absorção de Enxofre (S) pelo feijoeiro a partir de fontes com menor valor pH.

A luz é outro fator a ser considerado tendo em vista a sua participação no processo fotossintético e produção de energia indispensável para a fase ativa da absorção. Assim, no escuro, inexistente esta fonte de energia e ocorre menor velocidade

de absorção. Embora o efeito positivo da luz sobre a absorção foliar de nutrientes seja frequentemente relatado, existem muitos exemplos em que luz, inibidores metabólicos ou temperaturas reduzidas não tiveram efeito algum sobre a absorção ou transporte de nutrientes (RATHORE et al., 1970; ZHANG; BROWN, 1999).

Diferenças relatadas sobre o efeito da luz na absorção de nutrientes foliares em curto prazo são provavelmente resultado da interação entre vários fatores. No nível celular, o transporte transmembrana e a regulação e assimilação da maior parte dos nutrientes é direta ou indiretamente influenciada pelo estado metabólico da célula, de modo que a privação de luz provavelmente reduzirá a absorção. A única exceção entre os elementos essenciais às plantas pode ser o boro que, por não ter carga em pH usual, é suficientemente permeável, tanto através da cutícula foliar como das membranas celulares, para ser absorvido e assimilado espontaneamente nas moléculas de importância biológica e metabólica (FERNÁNDEZ et al., 2015).

A temperatura pode influenciar a absorção foliar através de seu efeito sobre a velocidade de secagem do pulverizado, as propriedades físico-químicas da solução de nutrientes, bem como pelo impacto sobre as cutículas e o metabolismo das plantas, absorção e assimilação de íons. O efeito mais imediato da elevação da temperatura é o aumento da velocidade de secagem das gotículas pulverizadas, reduzindo diretamente a absorção (FERNÁNDEZ et al., 2015).

A temperatura elevada durante o desenvolvimento da folha pode afetar a quantidade e a composição de ceras sintetizadas e a disposição sobre a superfície, influenciando dessa forma a absorção (BAKER, 1974; REED; TUKEY, 1978). Reed e Tukey (1982) afirmaram que, sob períodos contínuos de temperatura elevada, os componentes da cera superficial adotam uma configuração vertical e, conseqüentemente, as superfícies de cobertura da folha diminuem e permitem aumento da absorção de nutrientes. Segundo Lurie et al. (1996) para períodos curtos, a temperatura predominante durante e imediatamente após a aplicação foliar mostrou efeitos variados, dependendo da espécie e do nutriente aplicado.

Tal como acontece com a luz e a temperatura, a umidade pode afetar vários processos que, em última análise, influenciam a velocidade da absorção foliar de nutrientes. Os processos-chave afetados pela umidade estão relacionados ao comportamento da solução de pulverização durante o transporte aéreo e quando depositada na superfície da planta, sendo estes, o efeito da umidade da estrutura da cutícula foliar em função dos estômatos e o efeito da umidade sobre o metabolismo

da folha e os processos de transporte. Vários estudos demonstraram o efeito da umidade sobre as propriedades físico-químicas de diferentes soluções de pulverização e suas interações com as superfícies das plantas, a umidade elevada do ar faz com que o intumescimento da membrana cuticular favoreça a absorção de compostos hidrofílicos, (SCHÖNHERR; SCHREIBER, 2004).

Estima-se que a umidade do ar deve ficar em torno dos 50% e a temperatura na casados 28°, possibilitando assim uma rápida descida da gota pulverizada, temperaturas baixas e umidade alta, (menor que 20°, e UR maior que 80%) as gotas pulverizadas tende a ficar suspensas no ar, e ao contraria, Temperaturas maiores de 33° e umidade próximas dos 20% tende fazer com que as gotas percam densidade pela evaporação da agua, diminuindo o contato com a planta e aumentando deriva dos produtos aplicados.(ANTUNIASSI, 2008)

Antes da aplicação de uma formulação foliar é importante que os compostos que ela contém estejam apropriadamente dissolvidos ou suspensos. Fertilizantes foliares são geralmente dissolvidos ou suspensos em água e contém, como ingredientes ativos, compostos químicos como sais, quelatos ou complexos de nutrientes minerais.

A solubilidade de um composto químico em um solvente específico (usualmente água), a uma dada temperatura, é uma propriedade física que pode ser alterada pela utilização de aditivos. A solubilidade em água da substância aplicada é um fator essencial para a absorção foliar, uma vez que a absorção irá ocorrer apenas quando o composto utilizado estiver dissolvido em uma fase líquida na superfície da planta, a qual irá se difundir posteriormente para os órgãos da planta (FERNÁNDEZ et al., 2015).

O tamanho da molécula na solução nutritiva irá afetar a velocidade de penetração do fertilizante foliar, como consequência do mecanismo de absorção cuticular. Os raios dos poros aquosos cuticulares foram estimados entre 0,3 e 0,5 nm em folhas e de 0,7 a 1,2 nm em frutos de várias espécies. Vários experimentos ( tabela 2) com diferentes solutos e membranas cuticulares mostraram que o processo de permeabilidade cuticular é seletivo em tamanho, sendo que compostos de alta massa molar (maior tamanho) são discriminados em relação a moléculas de baixo peso molecular (SCHREIBER; SCHÖNHERR, 2009).

Outro ponto importante é a carga elétrica de uma solução de pulverização, sais em geral desassociam-se em água produzindo uma solução eletricamente neutra.

Esta desassociação também ocorre aos nutrientes fornecidos como quelatos ou complexos, que por sua vez, nem sempre são neutros, como por exemplo o quelato de Fe disponíveis no mercado, que são carregados negativamente. Em pH superior a 3, as cutículas das plantas estão carregadas negativamente (SCHÖNHERR E HUBER, 1977) e as paredes celulares têm cargas correspondentes a de ácidos fracos dissociados (GRIGNON; SENTENAC, 1991). Consequentemente, compostos neutros e ânions podem penetrar na folha e se translocar no apoplasto mais facilmente do que complexos ou cátions carregados positivamente.

Em termos simples, em pH baixos os compostos em solução ficam carregados com íons positivos, em contrapartida, a planta possui cargas elétricas negativas, sendo assim, possuem afinidade entre folha e compostos.

Em pH elevados, ocorre hidrólise alcalina dos compostos, e os mesmos passam a possuir carga elétrica negativa, perdendo sua afinidade com a superfície da folha.

## 6. CONCLUSÃO

Muitas questões referentes a eficiência dos adubos foliares devem ser estudados, entretanto devemos ter em mente que nem toda a aplicação nutricional via folha terá seu efeito positivo sobre uma cultura, não podendo ser calendarizada, pois, as condições edafoclimáticas podem variar anualmente, ou regionalmente, alterando a fenologia das plantas, alterando assim a eficiência de absorção e fenologia da cultura.

O estudo e a pesquisa com os nutrientes são cada vez mais frequentes, com principal finalidade de quantificar a resposta de cada um, nas mais diferentes culturas, principalmente naquelas com maior interesse econômico de ciclo anual, tais como, soja, milho, feijão, arroz, devido sua resposta ser mais rápida a aplicação, e seu retorno financeiro mais expressivo

Mais estudos são demandados com relação a taxa de absorção de nutrientes aplicados via folha em relação a idade das mesmas, podendo esta, uma oportunidade para futuros estudos.

Para uma eficiente adubação foliar, devemos levar em conta os fatores ambientais, e principalmente a cultura em vista, uma vez, que nem toda a aplicação foliar terá efeito e acréscimo na produção, pois uma planta bem nutrida, dificultará a permeabilidade de um elemento para dentro da célula da planta.

As condições climáticas afetam a absorção foliar por meio das características da solução pulverizada antes da absorção foliar (tecnologia de aplicação), e sobre os processos de desenvolvimento da folha (fatores internos), alterando a fotossíntese, abertura estomática, respiração, expansão foliar e as relação fonte-dreno, os quais, conseqüentemente, alteram a energia e a disponibilidade dos metabólitos envolvidos na absorção.

Dentre as vantagens da adubação foliar podemos citar, por exemplo, que esse tipo de adubação evita os fatores de restrição de absorção que ocorrem quando aplicados no solo (lixiviação, absorção, imobilização entre outros), proporciona rápida correção da deficiência, utiliza menor dose do nutriente em relação aplicada no solo, e tem baixo custo, além da possibilidade da aplicação ser realizada em mistura com outros produtos.

No mercado, hoje existe uma grande variedade de produtos, com diferentes formulações e compostos, de modo geral todos devem seguir as recomendações do fabricante, sendo coerentes com a tecnologia de aplicação, buscando realizar a aplicação com umidade em torno dos 50% e a temperatura na casa dos 28°C

## 7. REFERÊNCIAS

ALLEN, M.; **The uptake of metallic ions by leaves of apples trees. II. The influence of certain anions on uptake from magnesium salts.** Journal of Horticultural Science, v.35, p.127-135,1960.

ANTUNIIASSI, U, R; **Tecnologia de aplicação de defensivos**, apresentação de aula da FCA/UNESP 2008.Disponível em; <[www.dpaviacao.com.br/unesp2.pdf](http://www.dpaviacao.com.br/unesp2.pdf)>

BAKER, E. A. **Influence of environment on leaf wax development in Brassica oleracea var. gemmifera.** New Phytologist, v. 73, p. 955-&966, 1974.

CALONEGO, J. C.; JUNIOR, E. U. R.; BARBOSA, R. D.; LEITE, G. H. P.; FILHO, H. G.; **Adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro com suplementação de molibdênio via foliar**, Rev. Ciênc. Agron., v. 41, n. 3, p. 334-340, jul-set, 2010.

CARVALHO, M. A. C; et al. **Uso Da Adubação Foliar Nitrogenada E Potássica No Algodoeiro.** Bragantia, Campinas, v. 60, n. 3, p. 239-244, 2001. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0006-87052001000300011&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052001000300011&lng=en&nrm=iso)> Acessado em 29/03/2020

COELHO, R. I. et al. **Resposta à adubação com uréia, cloreto de potássio e ácido bórico em mudas abacaxizeiro'Smooth Cayenne'.** Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 161-165, Apr. 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-29452007000100033&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452007000100033&lng=en&nrm=iso)>. Acessado em 23/03/2020.

DEUNER, S.; NASCIMENTO, R.; FERREIRA, L. S.; BADINELLI, P. G.; KERBER, R. S.; **Adubação foliar e via solo de nitrogênio em plantas de milho em fase inicial de desenvolvimento**, Ciências e agrotecnologia, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1359-1365, set./out., 2008.

DOMINGUEZ, E.; CUARTERO, J.; HEREDIA, A. **An overview on plant cuticle biomechanics.** Plant Science, v. 181, p. 77-84, 2011.

EICHERT, T.; BURKHARDT, J.; **Quantification of stomatal uptake of ionic solutes using a new model system.** Journal of Experimental Botany, v. 52, p. 771-781, 2001.

EICHERT, T.; FERNÁNDEZ, V.; **Uptake and release of elements by leaves and other aerial plant parts.** In: Marschner, P. (Ed.). **Marschners' mineral nutrition of higher plants.** Oxford: Academic Press, 2011. p. 71-84.

EICHERT, T.; GOLDBACH, H. E.; BURKHARDT, J.; **Evidence for the uptake of large anions through stomatal pores.** *Botanica Acta*, v. 111, p. 461-466, 1998.

EICHERT, T.; GOLDBACH, H. E.; **Equivalent pore radii of hydrophilic foliar uptake routes in stomatous and astomatous leaf surfaces - further evidence for a stomatal pathway.** *Physiologia Plantarum*, v. 132, p. 491-502, 2008

FERNANDEZ, V.; EICHERT, T.; **Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves: Current state of knowledge and perspectives of foliar fertilization.** *Critical Reviews in Plant Sciences*, v. 28, p. 36-68, 2009.

FERNÁNDEZ, V.; SOTIROPOULS, T.; BROWN, P.; **Foliar Fertilization: Scientific Principles and Field Practices,** International Fertilizer Industry Association, 2015.

FREITAS, L. B.; COELHO, E. M.; MAIA, S. C. M.; SILVA, T. R. B. **Adubação foliar com silício na cultura do milho.** *Revista Ceres*, 58 n2, pg 262-267 Viçosa Mar./Apr. 2011.

GRIGNON, C.; SENTENAC, H.; **pH and ionic conditions in the apoplast.** *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, v. 42, p. 103-128, 1991.

HEREDIA, A. **Biophysical and biochemical characteristics of cutin, a plant barrier biopolymer.** *Biochimica Et Biophysica Acta-General Subjects*, v. 1620, p. 1-7, 2003.

KAPPES, C.; GOLO, A. L.; CARVALHO, M. A. C.; **Doses e Épocas De Aplicação Foliar De Boro Nas Características Agronômicas E Na Qualidade De Sementes De Soja,** *Scientia Agraria, Curitiba*, v.9, n.3, p.291-297, 2008.

KARABOURNIOTIS, G.; LIAKOPOULOS, G. **Phenolic compounds in plant cuticles: Physiological and ecophysiological aspects.** *Advances in Plant Physiology*, v. 8, p. 33-47, 2005.

KARABOURNIOTIS, G.; TZOBANOGLU, D.; NIKOLOPOULOS, D.; LIAKOPOULOS, G.; **Epicuticular phenolics over guard cells: exploitation for in situ stomatal counting by fluorescence microscopy and combined image analysis.** Annals of Botany, v.87,p.631-639,2001.

KING, J. **Reaching for the Sun.** 2nd Edition, Cambridge University Press, UK, 2011.

LURIE, S.; FALLIK, E.; KLEIN, J. D.; **The effect of heat treatment on apple epicuticular wax and calcium uptake.** Postharvest Biology and Technology, v. 8, p. 271-277, 1996.

MACEDO, F.B.; TEIXEIRA, N.T.; LIMA, A. M.; BERNARDES, C.R.; FREITAS, D.J.B; OLIVEIRA R.F.; **boro no plantio e cálcio e boro em adubação foliar na produção da soja,** Revista ecossistemas vol. 27, n 1,2 jan.-dez. 2002.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas.** 1. ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1980.

MANTOVANI, J. P. M.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S.; **Adubação foliar de boro em diferentes estádios fenológicos da cultura do amendoim.** Rev. Ceres, Viçosa , v. 60, n. 2, p. 270-278, Apr. 2013.

MARÓSTICA, L.H.B.; FEIJÓ, S.; **Efeito da Adubação Foliar no Período Vegetativo da Cultura do Milho (Zea may),** UNICIÊNCIAS, v. 17, n. 1, p. 37-40, Dez. 2013.

MOCELLIN, R. S. P.; **Principios Da Adubação Foliar Coletanea De Dados E Revisoes Bibliograficas,** Canoas, 2004, Pg 8

NUNES, J. L.S.; **Fertilizantes - Conceitos Aplicados Via Foliar,** Disponível em: <[https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/fertilizantes---conceitos-aplicados-via-foliar\\_361463.html](https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/fertilizantes---conceitos-aplicados-via-foliar_361463.html)> Acessado em 20/03/2020, Publicado em 12/09/2016 às 14:57.

OLIANI, D.; TEIXEIRA, C. M.; BONILHA, M. A. F. M.; CASSIA, M. T; **ADUBAÇÃO FOLIAR COM BORO E MANGANÊS NA CULTURA DO FEIJÃO.** FAZU em Revista, Uberaba, n. 8, p. 9-14, 2011.

OLIVEIRA JUNIOR, J. A. de; RÊGO, I. C.; SCIVITTARO, W. B.; LIMA FILHO, O. F. de; STEFANUTTI, R.; GONZÁLES, G. R.; BOARETO, A. E. **Efeito de fontes e de**

**aditivos na absorção de 35S via foliar pelo feijoeiro.** Scientia Agricola, Piracicaba, v. 52, n. 3, p. 452-457, set./ dez. 1995.

PIETROSKI, M.; OLIVEIRA, R.; CAIONE, G.. **Adubação Foliar De Nitrogênio Em Capim Mombaça (Panicum maximum cv. Mombaça).** journal of neotropical agriculture. 2. 49-53. 2015.

RATHORE, V. S.; WITTEWER, S. H.; JYUNG, W. H.; BAJAJ, Y. P. S.; ADAMS, M. W.; **Mechanism of zinc uptake in bean (Phaseolus vulgaris) tissues.** Physiologia Plantarum, v. 23, p. 908919, 1970.

REED, D. W.; TUKEY, H. B.; **Effect of pH on foliar absorption of rubidium compounds by chrysanthemum.** Journal of the American Society for Horticultural Science, v. 103, p. 815-817, 1978.

REED, D. W.; TUKEY, H. B.; **Light-intensity and temperature effects on epicuticular wax morphology and internal cuticle ultrastructure of carnation and brussels-sprouts leaf cuticles.** Journal of the American Society for Horticultural Science, v. 107, p. 417-420, 1982.

REZENDE, P. M.; CARVALHO, E. R.; SANTOS, J. P.; ANDRADE, M. J. B.; ALCANTARA, H. P.; **Enxofre aplicado via foliar na cultura da soja [Glycine max (L.) Merrill],** Ciência e agrotecnologia. vol.33 no.5 Lavras Sept./Oct. 2009.

REZENDE, P. M.; GRIS, C. F.; CARVALHO, J. G.; GOMES, L. L.; BOTTINO L.; **Adubação foliar. I. Épocas de aplicação de fósforo na cultura da soja,** Ciência e agrotecnologia. vol.29 no.6 Lavras Nov./Dec. 2005.

RODELLA, A. A., **adubação foliar fundamentos científicos e técnicos,** Abisolo, São Paulo Sp, 2015 pg 13-14.

ROSOLEM, C. A. **Adubação Foliar:** Simpósio Sobre Fertilizantes Na agricultura Brasileira, 1984, Brasília, Df. Anais... Brasília, Df: Embrapa, 1984. P. 419- 449

ROSOLEM, C. A. **RECOMENDAÇÃO E APLICAÇÃO DE NUTRIENTES VIA FOLIAR.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2002.

ROSOLEM, C.A.; BOARETTO, A.E.; TRIVELIN, P.C.O.; VICTORIA, R.L. **Absorção de uréia via foliar pelo algodoeiro em função do pH da solução.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.25, p.491-497,1990.

SÁ, M.E.; BUZZETI, S. (ED.). **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas.** São Paulo: Ícone, 1994. P.65-98.

SANTOS, B. A.; **Revisão: Adubação Foliar Nitrogênada E Potássica Na Cultura Da Soja,** Fundação Educacional Miguel Mofarrej Faculdades Integradas de Ourinhos Agronomia, Ourinhos -Sp, Ano 2017.

SCHÖNHERR, J.; BUKOVAC, M. J.; **Penetration of stomata by liquids - dependence on surfacetension, wettability, and stomatal morphology.** Plant Physiology, v. 49, p. 813-819, 1972.

SCHÖNHERR, J.; HUBER, R.; **Plant cuticles are polyelectrolytes with isoelectric points around 3.** Plant Physiology, v. 59, p. 145-150, 1977.

SCHÖNHERR, J.; SCHREIBER, L. **Size selectivity of aqueous pores in astomatous cuticular membranes isolated from Populus canescens (aiton) Sm.** leaves. Planta, v. 219, p. 405411, 2004.

SCHREIBER, L.; SCHÖNHERR, J.; **Water and solute permeability of plant cuticles: Measurement and data analysis.** Berlin: Springer Verlag, 2009.

SILVA, E. B.; **apostila de nutrição da UFVJM,** 2016.

SWANSON, C.A.; WHITNEY, J.G. Jr.; **Studies on the trans location of foliar applied P-32 and other radioisotopes in beam plants.** Amer. Journ. Bot. 40: 816-823. 1953.

TEIXEIRA, I. R.; BORÉM, A.; ARAÚJO, G. A. A.; ANDRADE, M. J. B.; **Teores de nutrientes e qualidade fisiológica de sementes de feijão em resposta à adubação foliar com manganês e zinco,** Bragantia, Campinas, v.64, n.1, p.83-88, 2005.

TRIVELIN, P. C. O.; CARVALHO, J. G.; SILVA, A. Q.; PRIMAVESI, A. C. P. A.; CAMACHO, E.; EIMORE, I. E.;GUILHERME, M. R.; **Adubação foliar de cana-de-açúcar (saccharum spp) absorção e translocação de uréia-N.** Energia Nuclear Agrícola.,Piracicaba, v.9, p.52-65, 1988.

WAGNER, G. J.; WANG, E.; SHEPHERD, R.W. **New approaches for studying and exploiting an old protuberance, the plant trichome.** *Annals of Botany*, v. 93, p. 3-11, 2004.

XU, Z.; YU, Z.W.; WANG, D.; ZHANG, Y.L. **Nitrogen accumulation and translocation for winter wheat under different irrigation regimes.** *Journal of Agronomy and Crop Science*, v. 191, p.439-449, 2005.

ZHANG, Q. L.; BROWN, P. H.; **Distribution and transport of foliar applied zinc in pistachio.** *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v. 124, p. 433-436, 1999

ZIEGLER, H.; **The evolution of stomata. Stomatal function.** Stanford University Press, Stanford, 1987