

FUNDAÇÃO CARGILL

ADUBAÇÃO FOLIAR

VOLUME I

COORDENADORES

Antonio Enedi Boaretto

Ciro Antonio Rosolem

2º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ADUBAÇÃO FOLIAR  
BOTUCATU, 28 de setembro a 1º de novembro  
1987

## ADUBAÇÃO FOLIAR

VOLUME I

### COORDENADORES

ANTONIO ENEDI BOARETTO

Eng.Agr., M.S., Dr., Livre Docente e Adjunto; Prof. Titular ,  
Dept. de Ciências do Solo, da FCA/UNESP, Botucatu, SP; Prof. As  
sociado, Seção de Nutrição Mineral de Plantas, CENA/USP, Pi -  
racicaba.

CIRO ANTÔNIO ROSOLEM

Eng.Agr., M.S., Dr. e Livre Docente; Prof. Titular, Departa -  
mento de Agricultura, FCA/UNESP, Botucatu, SP.

FUNDAÇÃO CARGILL  
CAMPINAS, SP, BRASIL

1989

1a. tiragem de 900 exemplares  
Nº 159, dois volumes, abril de 1989

FUNDAÇÃO CARGILL

SEDE : São Paulo, SP, BRASIL

ESCRITÓRIO : rua Álvaro Müller 370 VILA ITAPURA

13 023 CAMPINAS SP BRASIL

Boaretto, Antônio Ene<sup>di</sup>, coord.

Adubação foliar, coordenado por An-  
tônio Ene<sup>di</sup> Boaretto e Ciro Antônio Ro-  
solem. Campinas, Fundação Cargill, 1989

x (vol. I) e vii (vol. II), 669p., ilus-  
trado, 21 cm.

Rosolem, Ciro Antônio, coord.

CDU 631.8  
633

## APRESENTAÇÃO <sup>(1)</sup>

O mercado de adubo foliar no Brasil tem experimentado um vigoroso crescimento, criando divergências entre Pesquisadores e Técnicos que atuam nos setores de produção, comercialização e utilização dos fertilizantes para adubação foliar.

Realizou-se em Botucatu-SP, na Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP, no período de 28/09 a 01/10/1987 o **2º Simpósio Brasileiro de Adubação Foliar**. Na oportunidade discutiu-se de maneira aprofundada a técnica da adubação foliar, estabelecendo-se parâmetros para a sua utilização. Durante o simpósio foram ministradas, por Técnicos de reconhecidos méritos, palestras sobre diferentes aspectos da técnica e são aqui apresentados "in totum". Além destes são publicados outros artigos pertinentes ao assunto e nesta publicação estão arranjos de forma a obter uma sequência coerente.

Os coordenadores esperam que a presente publicação seja útil aos que militam no setor ao mesmo tempo agradecem a colaboração prestada pelos autores dos diferentes artigos.

Botucatu, junho de 1988.

**Antonio Enedi Boaretto**  
**Ciro Antonio Rosolem**

---

<sup>(1)</sup> Parcialmente foram publicados 200 exemplares pela FEPAF, Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais.

# SUMÁRIO

PÁGINA

## VOLUME I

### A PLANTA

- 1) ESTRUTURA DO SISTEMA VASCULAR EM PLANTAS CULTIVADAS: RODELA, R.A. .... 1
- 2) ABSORÇÃO DE ÍONS VIA FOLIAR. PEDRAS, J. F.; RODRIGUES, J.D. & RODRIGUES, S.D. .. 13
- 3) TRANSPORTE DE NUTRIENTES NA PLANTA. RODRIGUES, J.D.; RODRIGUES, S.D. & PEDRAS, J. F. .... 61
- 4) AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DAS PLANTAS CULTIVADAS. ROSOLEM, C.A. & BOARETTO, A.E. .... 117

### ADUBO FOLIAR

- 5) CONSUMO E LEGISLAÇÃO DE ADUBOS FOLIARES. LOPES, A.S. & GUIDOLIN, J.A. .... 145
- 6) TECNOLOGIA DE FORMULAÇÃO DE ADUBO FOLIAR FERNANDES, C.G.P. .... 165
- 7) UTILIZAÇÃO DE QUELATOS EM ADUBAÇÃO FOLIAR. ALVAREZ, C. .... 177
- 8) BIOESTIMULANTES E HORMÔNIOS AP APLICADOS VIA FOLIAR. CASTRO, P.R.de C. e & MELOTTO, E. .... 191

## EQUIPAMENTO E A TÉCNICA DE APLICAÇÃO

- 9) EQUIPAMENTOS E TÉCNICAS PARA APLICAÇÃO DO  
ADUBO FOLIAR. MATUO T. .... 237

VOLUME II

## A ADUBAÇÃO FOLIAR DAS CULTURAS

- 10) ADUBAÇÃO FOLIAR : CONCEITUAÇÃO E PRÁTICA  
BOARETTO, A.E. & ROSOLEM, C.A. .... 301
- 11) USO DE ISÓTOPOS EM ESTUDOS DE ADUBAÇÃO .  
MURAOKA, T. BOARETTO; A.E. .... 321
- 12) ADUBAÇÃO FOLIAR EM CAFÉ. HIROCE, R. &  
DECHEN, A.R. .... 335
- 13) ADUBAÇÃO FOLIAR EM CITROS. MELARE, J.R. . 367
- 14) ADUBAÇÃO FOLIAR EM FRUTÍFERAS DE CLIMA  
TEMPERADO. BASSO, C. & WILMS, F.W.W. ... 371
- 15) DEFICIÊNCIAS NUTRICIONAIS E ADUBAÇÃO FO-  
LIAR DA VIDEIRA NIAGARA ROSADA. BRAGA, F.C. 393
- 16) ADUBAÇÃO FOLIAR EM CANA-DE-AÇÚCAR. COLE-  
TI, J.T. .... 401
- 17) ADUBAÇÃO FOLIAR EM ALGODÃO. LACA-BUENDIA,  
J.P. .... 417
- 18) ADUBAÇÃO FOLIAR DO FEIJOEIRO. ROSOLEM, C.  
A. & BOARETTO, A.E. .... 499
- 19) ADUBAÇÃO FOLIAR EM SOJA. ROSOLEM, C.A. &  
BOARETTO, A.E. .... 513
- 20) ADUBAÇÃO FOLIAR EM MANDIOCA. DANTAS, J.P. 547

	Página
21) ADUBAÇÃO FOLIAR DE CULTURAS TUBEROSAS. <u>NA</u> KACAWA, J. & BRINHOLL, O. ....	557
22) ADUBAÇÃO FOLIAR EM TRIGO. SIQUEIRA, O. J. E de .....	587
23) ADUBAÇÃO FOLIAR EM HORTALIÇAS. BOARETTO, A. E. & ROSOLEM, C. A. ....	617
24) CULTURA DO MORANGUEIRO ( <i>Fragaria x ananás</i> <i>sa</i> DUTCH): NUTRIÇÃO MINERAL, CORREÇÃO DO SOLO E ADUBAÇÃO FOLIAR. CASTELLANE, P. D. .	651

# SUMÁRIO DO VOLUME I

PAGINA

## A PLANTA

1) ESTRUTURA DO SISTEMA VASCULAR EM PLANTAS CULTIVADAS. RODELLA, R.A. ....	1
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. ESTRUTURA BÁSICA DO XILEMA E DO FLOEMA .....	2
3. ORGANIZAÇÃO INTERNA DA RAIZ .....	4
4. ORGANIZAÇÃO INTERNA DO CAULE .....	6
5. ORGANIZAÇÃO INTERNA DA FOLHA .....	8
6. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA .....	11
2) ABSORÇÃO DE ÍONS VIA FOLIAR. PEDRAS, J.F.: RODRIGUES, J.D. & RODRIGUES, S.D. ....	13
1. INTRODUÇÃO .....	13
2. BARREIRAS À PENETRAÇÃO .....	15
3. DINÂMICA E ESPAÇOS DE CAMINHAMENTO .....	21
4. MECANISMOS DE ABSORÇÃO .....	24
5. FATORES QUE AFETAM A ABSORÇÃO de ÍONS .....	41
6. BIBLIOGRAFIA .....	55
3) TRANSPORTE DE NUTRIENTES NA PLANTA. RODRIGUES, J.D.; RODRIGUES, S.D. & PEDRAS, J.F. .	61
1. INTRODUÇÃO .....	61
2. TRANSPORTE DE NUTRIENTES MINERAIS ATÉ O XILEMA .....	63
3. MECANISMOS DE TRANSPORTE DE ÍONS NO XILEMA .	68

	Página
4. MOVIMENTO IÔNICO NO XILEMA .....	71
5. MOVIMENTO NAS FOLHAS .....	75
6. ENTRADA E SAÍDA DE NUTRIENTES NO FLOEMA ..	77
7. DIREÇÃO DO TRANSPORTE NO FLOEMA .....	78
8. MODELOS DE MOVIMENTO NO FLOEMA .....	82
9. MECANISMO DO TRANSPORTE NO FLOEMA .....	83
10. TRANSPORTE DE NUTRIENTES NO FLOEMA .....	98
11. MOVIMENTO BIDIRECIONAL NO FLOEMA .....	100
12. MOVIMENTO LATERAL E TANGENCIAL .....	100
13. FATORES QUE AFETAM A TRANSLOCAÇÃO DE NUTRI- ENTES.....	102
14. OBSERVAÇÕES FINAIS .....	107
BIBLIOGRAFIA .....	109.
4) AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DAS PLAN - TAS CULTIVADAS. ROSOLEM, C.A. & BOARETTO, A, E. ....	117
1. INTRODUÇÃO .....	117
2. DIAGNOSE DA DESORDEM NUTRICIONAL ATRAVÉS DOS SINTOMAS VISÍVEIS .....	118
3. DIACNOSE DA DESORDEM NUTRICIONAL ATRAVÉS . DE ANÁLISE QUÍMICA .....	124
4. BIBLIOGRAFIA .....	143
5) CONSUMO E LEGISLAÇÃO DE ADUBOS FOLIARES NO BRASIL. LOPES, A.S. & GUIDOLIN, J.A. ..	145
1. INTRODUÇÃO .....	145
2. CONSUMO .....	146

	Página
3. LEGISLAÇÃO .....	149
6) TECNOLOGIA DE FORMULAÇÃO DE ADUBO FOLIAR. FERNANDES, C.G.P. ....	165
1. INTRODUÇÃO .....	165
2. MÉTODOS PARA FABRICAÇÃO E FORMULAÇÃO DE ADUBOS FOLIARES N-P-K (FLUÍDOS) .....	166
3. MÉTODOS PARA FABRICAÇÃO E FORMULAÇÃO DE MACRONUTRIENTES SECUNDÁRIOS E MICRONUTRI- ENTES QUELATIZADOS .....	167
4. FILTRAGEM .....	171
5. CONTROLE DE QUALIDADE .....	173
6. FÓRMULAS COMERCIAIS DISPONÍVEIS NO MERCA- DO .....	173
BIBLIOGRAFIA .....	174
7) UTILIZAÇÃO DE QUELATOS EM ADUBAÇÃO FOLIAR, ALVAREZ, C. ....	177
1. INTRODUÇÃO .....	177
2. COMENTÁRIOS FINAIS .....	187
BIBLIOGRAFIA .....	188
8) BIOESTIMULANTES E HORMÔNIOS APLICADOS VIA FOLIAR. CASTRO, P.R. de C e & MELOTTO, E. .	191
1. ABSORÇÃO FOLIAR .....	191
2. ADJUVANTES E REGULADORES VEGETAIS .....	196
3. TRANSLOCAÇÃO DO ÁCIDO INDOLILACÉTICO ....	203
4. TRANSLOCAÇÃO DE GIBERELINAS E CITOCININAS	207
5. TRANSLOCAÇÃO HORMONAL NO FLOEMA .....	210

	Página
6. REGULADORES VEGETAIS E NUTRIÇÃO MINERAL .....	213
7. AÇÃO HORMONAL NO TRANSPORTE IÔNICO .....	230
8. LITERATURA CITADA .....	233
9) EQUIPAMENTOS E TÉCNICAS PARA APLICAÇÃO DE ADU BOS FOLIARES. MATUO, T. ....	237
1. INTRODUÇÃO .....	237
2. NOÇÕES BÁSICAS .....	237
3. EQUIPAMENTOS .....	249
4. CALIBRAÇÃO DE PULVERIZADORES DE BARRA .....	290
5. LITERATURA CITADA .....	296

## ESTRUTURA DO SISTEMA VASCULAR EM PLANTAS CULTIVADAS

*Roberto Antonio Rodella*<sup>1</sup>

### 1. INTRODUÇÃO

A maioria das plantas cultivadas pertence ao sub-reino Embryophyta e à divisão Magnoliophyta (=Angiospermas), a qual compreende: a classe Magnoliopsida (=Dicotiledôneas), destacando-se principalmente as subclasses Magnoliidae, Hamamelidae, Dilleniidae, Rosidae e Asteroideae; e a classe Liliopsida (=Monocotiledôneas), destacando-se as subclasses Liliidae e Commelinidae. As subclasses tanto das dicotiledôneas como das monocotiledôneas, apresentam diversas famílias cujos representantes são de interesse agrícola.

A raiz, o caule e as folhas constituem os órgãos vegetativos destas plantas, sendo a sua organização interna composta principalmente por 3 sistemas de tecidos: sistema dérmico (epiderme e periderme), sistema vascular (xilema e floema) e sistema fundamental (parênquima, colênquima e esclerênquima).

A conquista do meio terrestre pelas plantas foi propiciada, entre outras causas, pelo desenvolvimento dos tecidos condutores, constituindo o sistema vascular, que se estendem por toda a planta, desde as raízes até as extremidades dos ramos (caules) e das folhas, sendo esse

---

<sup>1</sup> Departamento de Botânica - IBBMA - UNESP - Campus de Botucatu.

sistema formado pelo xilema (vasos lenhosos) e pelo floema (tubos liberianos). Assim, através das raízes a planta absorve do solo a solução de água e sais minerais (seiva inorgânica ou mineral), a qual atravessa os diversos tecidos da raiz até chegar nos vasos do xilema, sendo conduzida principalmente para as folhas onde se processa a fotossíntese, resultando na elaboração de compostos orgânicos (solução de açúcares ou seiva orgânica) que são transportados pelo floema até os centros de consumo e de armazenamento.

## 2. ESTRUTURA BÁSICA DO XILEMA E DO FLOEMA

O sistema vascular das plantas cultivadas (superiores) é composto de xilema (lenho), principal tecido condutor de água e floema (líber), principal tecido condutor de alimentos. Ambos os tecidos formam um sistema vascular contínuo que percorre a planta inteira e sob o aspecto do desenvolvimento distinguem-se o tecido vascular primário e o secundário. Os tecidos primários diferenciam-se durante a formação do corpo primário da planta e são elaborados pela atividade do procâmbio (tecido provascular - meristema primário). Os tecidos vasculares secundários são produzidos durante o maior estágio de desenvolvimento da planta e resultam da atividade de câmbio vascular (meristema lateral), causando aumento em espessura do corpo primário do vegetal.

O xilema secundário é constituído principalmente por células providas de grossas paredes secundárias e lignificadas, como os elementos traqueais (elementos de vaso e traqueídeos) e as fibras ou células esclerenquimáticas (fibras libriformes e fibrotraqueídeos), formando o sistema axial (longitudinal). Os elementos de vasos ocorrem em séries longitudinais, com os elementos unidos e formando longos tubos, sendo a comunicação entre eles feita através de perfurações (aberturas) simples ou múltiplas. Os traqueídeos são unicelulares e não apresentam perfurações, comunicando-se através de pontuações principalmente, pontuações areoladas. As fibras libriformes são mais alongadas e têm paredes mais espessas

que os fibrotraqueídeos. Encontram-se também na constituição do xilema, as células do parênquima xilemático, que podem apresentar paredes secundárias e pontuações, formando o sistema parenquimático axial (longitudinal), enquanto as células dos raios xilemáticos formam o sistema parenquimático radial (transversal), o qual pode apresentar traqueídeos radiais, além das células parenquimáticas.

O xilema primário é constituído pelo mesmo tipo básico de células do xilema secundário, ou seja, apresenta elementos traqueais, fibras e células parenquimáticas; entretanto, não está organizado com a combinação de sistema axial e radial, por não conter raios. No xilema primário distinguem-se uma parte precoce, o protoxilema e uma tardia, o metaxilema, o qual perde a função após a formação do xilema secundário ou mantém-se funcional em plantas sem crescimento secundário.

O floema secundário, menos esclerificado e menos persistente que o xilema, é constituído principalmente pelos elementos crivados (células crivadas e elementos de tubos crivados) e as células de esclerênquima (fibras e esclereídeos), formando o sistema axial, bem como as células de parênquima, organizadas nos sistemas axial e radial. Os elementos crivados são as células mais especializadas do floema e apresentam áreas crivadas (pontuações modificadas) em suas paredes, sendo desprovidos de núcleos quando adultos. As células crivadas são comumente longas e delgadas, possuindo áreas crivadas pouco especializadas. Os elementos de tubos crivados possuem áreas crivadas mais especializadas, apresentando as placas crivadas, geralmente situadas nas extremidades das células; esses elementos estão dispostos em séries verticais, formando os tubos crivados; são acompanhados por células parenquimáticas altamente especializadas, denominadas células companheiras, que conservam o núcleo. As fibras são células longas com paredes espessas, podendo ser septadas ou não septadas. Os esclereídeos podem ocorrer em combinação com as fibras ou isolados. As células de parênquima armazenam várias substâncias e são classificadas em células do parênquima axial e radial.

O floema primário é constituído pelo mesmo tipo básico de células do floema secundário, ou seja, apresenta elementos crivados, células de esclerênquima e de parênquima, porém não está organizado nos sistemas axial e radial, pois não tem raios. No floema primário distinguem-se uma parte precoce, o protofloema e uma tardia, o metafloema, que mantém-se funcional, em plantas sem crescimento secundário.

### 3. ORGANIZAÇÃO INTERNA DA RAIZ

A organização interna da raiz é relativamente simples quando se compara com a do caule, exibindo a estrutura primária na região próxima ao ápice e a estrutura secundária na região mais distante do ápice radicular.

A estrutura primária da raiz apresenta uma nítida delimitação entre a epiderme, o córtex e o cilindro vascular ou central.

A epiderme é formada por células de paredes delgadas, às vezes cutinizadas, sendo especializadas para a função de absorção, apresentando-se geralmente provida de pêlos absorventes. Entretanto, a função de absorção não está restrita aos pêlos, uma vez que outras células epidérmicas também realizam tal função. Tipicamente, a epiderme é unisseriada, porém, às vezes, pode apresentar-se multisseriada (epiderme múltipla), constituindo o velame.

O córtex geralmente é formado de células parenquimáticas (parênquima cortical), podendo desenvolver esclerênquima ou colênquima. A ocorrência de espaços intercelulares caracteriza o córtex da raiz, podendo às vezes apresentar grandes lacunas, com conseqüente formação do aerênquima. Algumas raízes apresentam a exoderme, constituída por uma ou mais camadas de células que ocorrem abaixo da epiderme, ou seja, na periferia do córtex; as células da exoderme podem ser suberificadas. A camada mais interna do córtex é a endoderme, formada por uma única fileira de células com reforços de lignina ou sube

rina, ou ambos, nas paredes. As raízes de dicotiledôneas apresentam, nas células da endoderme, as estrias de Caspary, isto é, fitas de suberina e/ou lignina que percorrem as paredes anticlinais (transversais e radiais) das células, constituindo-se em uma barreira para a penetração da solução do solo através das paredes celulares (caminhamento pelo apoplasto), restringindo a passagem da solução pelo protoplasma das células endodérmicas, que assim podem regular a entrada de substâncias. Nas monocotiledôneas, além das estrias de Caspary que aparecem no estágio inicial do desenvolvimento, ocorrem posteriormente os reforços em "U" (espessamento de celulose e lignina) nas paredes anticlinais e periclinais (tangencial interna) das células da endoderme. Entretanto, algumas células podem não apresentar o reforço em "U", possuindo apenas as estrias de Caspary, sendo denominadas células de passagem por permitir a penetração de substâncias, uma vez que as células com reforços impedem a passagem de substâncias através do protoplasma. Assim sendo, nas dicotiledôneas a água passa através de qualquer célula da endoderme e nas monocotiledôneas, apenas pelas células de passagem. Deve-se ressaltar que o caminhamento da água desde a epiderme, passando pelo córtex, até ao xilema, é feito simultaneamente pelo apoplasto (através das paredes celulares) e pelo simplasto (através do protoplasma), sendo que na endoderme a água sempre passa através do protoplasma de suas células.

O cilindro vascular compreende uma ou mais camadas de células não vasculares, o periciclo, e os tecidos vasculares. O periciclo pode ser constituído apenas de células parenquimáticas, mas às vezes pode conter esclerênquima ou elementos do protoxilema; as raízes laterais originam-se do periciclo. Os tecidos vasculares são constituídos pelo xilema e pelo floema, apresentando o xilema disposição radial e os elementos do floema localizam-se entre os raios formados pelo xilema. Portanto, os tecidos vasculares apresentam distribuição radialmente alternada. Em dicotiledôneas, frequentemente, o xilema forma no centro do cilindro vascular uma porção sólida com várias arestas (braços radiais) que se dirigem ao periciclo, havendo variação no número dessas arestas (diar

cas, triarcas ou tetrarcas). Em monocotiledôneas, frequentemente, ocorrem diversas arestas de xilema (poliarcas), principalmente nas gramíneas. Se no centro da raiz o xilema não se diferencia, este é ocupado pela medula constituída de parênquima ou esclerênquima. Entre o xilema e o floema, que se alternam, encontram-se células parenquimáticas. O protoxilema e o protofloema ocupam posição mais externa, respectivamente, ao metaxilema e ao metafloema. O xilema primário e o floema primário exibem maturação centrípeta, diferenciando-se primeiro os elementos mais externos e posteriormente, os mais internos.

A estrutura secundária da raiz consiste na formação dos tecidos vasculares secundários, a partir do câmbio vascular, e da periderme, originária do felogênio. O crescimento secundário é característico das dicotiledôneas, podendo algumas delas apresentar apenas a estrutura primária; as raízes de monocotiledôneas geralmente não apresentam crescimento secundário. No córtex surge a periderme, devido à atividade do felogênio (meristema lateral) que produz o súber para a periferia e a feloderme, em direção ao interior; a epiderme, o parênquima cortical e a endoderme são eliminados e substituídos pela periderme. No cilindro vascular ocorre o aparecimento do câmbio vascular (meristema lateral), que se apresenta inicialmente com a forma sinuosa, localizando-se externamente ao xilema e internamente ao floema. Posteriormente, o câmbio vascular adquire a forma circular, produzindo externamente um anel de floema e internamente um anel de xilema. A partir daí a estrutura da raiz fica parecida com a do caule.

#### 4. ORGANIZAÇÃO INTERNA DO CAULE

A organização interna do caule mostra a estrutura primária na região próxima ao ápice e a estrutura secundária, na região mais distante do ápice caulinar, apresentando os tecidos vasculares associados, formando os feixes vasculares.

O caule das monocotiledôneas geralmente apresenta apenas estrutura primária, com organização praticamente idêntica em toda a sua extensão. Caracteriza-se pela presença de uma epiderme e de feixes vasculares dispersos no parênquima; esses feixes (em disposição colateral) apresentam o floema voltado para o exterior e o xilema para o interior, podendo ser circundados por uma bainha de células esclerenquimáticas ou parenquimáticas. Algumas monocotiledôneas apresentam estrutura secundária no caule, com a formação de feixes vasculares colaterais ou concêntricos (anfivasais) a partir do câmbio vascular, caracterizando um tipo especial de crescimento secundário.

A estrutura primária do caule das dicotiledôneas apresenta uma epiderme revestindo um parênquima (cortical), podendo conter colênquima e esclerênquima (especialmente as gramíneas). A endoderme e o periciclo não são morfologicamente diferenciados. O cilindro vascular é bem diferenciado, encontrando-se os feixes vasculares (colaterais, bicolaterais ou concêntricos) dispostos em forma circular. Geralmente, os feixes vasculares apresentam disposição colateral, com o floema localizado externamente ao xilema, situando-se entre estes o procâmbio. O xilema primário exibe maturação centrífuga, ocupando o metaxilema posição mais externa que o protoxilema, enquanto o floema primário exibe maturação centrípeta, ocupando o protofloema posição mais externa que o metafloema. No interior, o cilindro vascular é oco ou apresenta medula constituída de parênquima (medular).

Na estrutura secundária do caule das dicotiledôneas, ocorre a formação da periderme, a partir do felogênio, que produz súber e feloderme, podendo o parênquima cortical persistir ou ser eliminado junto com a epiderme. Ocorre também a formação dos tecidos vasculares secundários, a partir do câmbio vascular, o qual aparece no interior dos feixes vasculares primários, originário do procâmbio, sendo denominado câmbio intrafascicular ou fascicular, e entre esses feixes, originário de células

do parênquima interfascicular, sendo denominado câmbio interfascicular. A união do câmbio fascicular com o interfascicular forma um anel completo e contínuo de câmbio vascular, que produz o xilema secundário (para o interior) e o floema secundário (para o exterior). No interior do cilindro vascular, pode-se encontrar a medula constituída de células parenquimáticas.

## 5. ORGANIZAÇÃO INTERNA DA FOLHA

A organização interna da folha apresenta 3 tipos de sistemas de tecidos: epiderme, mesófilo e tecidos vasculares. Como a folha, geralmente, não apresenta crescimento secundário, algumas vezes apenas um limitado crescimento no pecíolo e nas nervuras de maior porte, a epiderme persiste como tecido de revestimento.

A epiderme é constituída de células tabulares, geralmente destituídas de cloroplastos, que revestem as superfícies (adaxial e abaxial) da lâmina foliar. Na maioria das folhas, a epiderme é composta por uma única camada de células (unisseriada), podendo apresentar também mais de uma camada (plurisseriada); às vezes, pode-se encontrar a hipoderme, logo abaixo da epiderme. As células epidérmicas podem variar quanto à forma, tamanho e disposição, mas sempre formam uma estrutura compacta sem espaços intercelulares. A epiderme é revestida externamente pela cutícula, sendo a mesma, geralmente, mais espessa na face adaxial que na abaxial. A cutícula é uma membrana secretada através das paredes externas das células epidérmicas, constituindo-se de quatro componentes essenciais: cutina, ceras, pectinas e celulose. A formação da cutícula inicia-se com a síntese da procutina (precursor da cutina) no protoplasma das células epidérmicas, a qual migra através das paredes externas dessas células, na forma de gotículas diminutas que extravasam na superfície. A cutícula é formada centripetamente, sendo primeiro formada a sua parte externa, onde o material cuticular endurece gradualmente devido ao contínuo processo de polimerização e oxidação, em presença do oxigênio atmosférico. A estrutura da cutícula apresenta uma

matriz de cutina, contendo plaquetas de cera e lamelas de celulose. Na parte externa a cutina é mais consistente e na parte interna, em contato com as paredes epidérmicas, predomina a pectina, que embebe as paredes celulares e forma uma camada subcuticular esponjosa, onde os espaços vazios são preenchidos com cera. Na parte externa da cutícula há cera amorfa e emergindo da superfície cuticular encontram-se as microprojeções de cera, com aspecto bastante variado (bastonetes, grânulos, fitas ramificadas, etc.). A estrutura e a quantidade de cera presentes na superfície foliar são de grande interesse, quando se consideram as pulverizações de substâncias, pois influem na molhabilidade da referida superfície. Camadas finas de cutícula revestem as paredes das células do mesofilo que estão em contato com os espaços intercelulares, constituindo a cutícula interna. Esses espaços intercelulares formam um sistema contínuo conectado com os estômatos, sendo, portanto, a cutícula interna uma continuação da cutícula externa, a qual penetra através dos ostíolos. Assim, a cutícula constitui uma primeira barreira à penetração de soluções provenientes de aplicações foliares, devendo essas soluções atravessar a cutícula, penetrando no apoplasto e, posteriormente, atravessar a plasmalema, que é a segunda barreira, para então atingirem o simplasto e serem utilizadas. O simplasto foliar compreende o conjunto dos protoplastos conectados pelos plasmodesmas, que atravessam as paredes celulares. Nas células epidérmicas, aparecem cavidades alongadas (conjuntos de espaços interfibrilares específicos) denominados ectodesmas, que começam na superfície da plasmalema e atravessam as paredes externas, terminando na cutícula, porém não chegam a atingir o exterior da folha (não perfuram a cutícula). Os ectodesmas constituem vias de acesso ao simplasto, para as substâncias que penetram nas folhas através da cutícula, estando relacionados com a absorção de nutrientes aplicados sobre as folhas e também com a eliminação de substâncias pela excreção cuticular ou lixiviação foliar.

A epiderme apresenta também: tricomas (pêlos glandulares e não glandulares, escamas e papilas, frequentemente ativos na absorção foliar, assim como na saída

de água ou soluções, e interferem na molhabilidade da superfície da folha); células buliformes (típicas de gramíneas e outras monocotiledôneas, ocorrendo na superfície adaxial); células silicosas e suberosas (em gramíneas); estômatos (compreendendo as células guarda, o ostíolo e as células subsidiárias). Os estômatos podem ocorrer em ambas as epidermes (folha anfistomática), ou apenas na epiderme adaxial (folha epistomática) ou na abaxial (folha hipostomática). As dicotiledôneas apresentam quatro tipos principais de estômatos: anomocítico, anisocítico, paracítico e diacítico. As gramíneas apresentam um tipo especial de estômatos, em que as células guarda têm a região mediana estreita e as extremidades alargadas ou bulbosas.

O mesofilo compreende os tecidos parenquimáticos localizados entre as epidermes da folha, normalmente providos de cloroplastos (tecido fotossintético) e de um sistema de espaços intercelulares, constituindo o clorênquima. As dicotiledôneas, principalmente, apresentam o mesofilo diferenciado em parênquima paliçádico e lacunoso. As monocotiledôneas, normalmente, apresentam o mesofilo homogêneo, isto é, não diferenciado em parênquima paliçádico e lacunoso. Em algumas gramíneas, a parte média da lâmina foliar apresenta uma quilha ("costela"), devido à diferenciação de um parênquima incolor (sem cloroplastos) no lado adaxial do mesófilo.

O sistema vascular é formado pelos feixes vasculares (nervuras) e seu padrão de disposição é denominado venação. Existem dois padrões básicos de venação: reticulada (comum nas dicotiledôneas) e paralela ou estriada (comum nas monocotiledôneas). Quando os feixes vasculares são colaterais, o xilema ocorre voltado para a face adaxial da folha e o floema para a face abaxial. Nas dicotiledôneas, os feixes vasculares menores apresentam-se envolvidos por uma ou mais camadas de células dispostas compactamente, semelhantes às do mesofilo (parenquimáticas), com muitos ou poucos cloroplastos, constituindo a bainha do feixe vascular. Às vezes, a bainha do feixe está ligada à epiderme por conjuntos de células semelhantes, estruturalmente, às células da bainha; es-

tes conjuntos são chamados de extensões da bainha do feixe. Como tecidos de sustentação podem ocorrer colênquima ou esclerênquima. Nas monocotiledôneas, também ocorrem as bainhas dos feixes vasculares e as extensões das bainhas dos feixes. Nas gramíneas, distinguem-se dois tipos de bainha dos feixes vasculares: bainha simples (células parenquimáticas com ou sem cloroplastos) e bainha dupla (a externa, formada por células parenquimáticas com ou sem cloroplastos, e a interna, formada por células de paredes espessas, constituindo a bainha do mesotoma). Muitas gramíneas são plantas  $C_4$ , apresentando a Estrutura Kranz, que se caracteriza pela presença da bainha dos feixes vasculares provida de cloroplastos e a coroa de células mesofílicas, também com cloroplastos, organizada concentricamente ao redor dos feixes vasculares.

#### 6. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- CAMARGO, P.N. **Princípios de nutrição foliar**. São Paulo, Ceres, 1970. 118p.
- CAMARGO, P.N. & SILVA, O. **Manual de Adubação Foliar**. São Paulo, Herba, 1975. 258p.
- EAMES, A.J. & MacDANIELS, L.H. **An introduction to plant anatomy**. 2.ed. Tokyo, Kogakusha, 1953. 427p.
- EPSTEIN, E. **Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas**. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, São Paulo, Editora da USP, 1975. 341p.
- ESAU, K. **Anatomia vegetal**. 2.ed. Barcelona, Ediciones Omega, 1972. 779p.
- ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes**. São Paulo, Edgard Blücher, Editora da USP, 1974. 293p.
- FAHN, A. **Anatomia vegetal**. Madrid, H. Blume Ediciones, 1978. 643p.
- LANZARA, P. **El mundo de las plantas**. Madrid, Espasa-Calpe, 1977. 251p.

- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas.** São Paulo, Ceres, 1980. 251p.
- SPORNE, K.R. **The morphology of angiosperms: the structure and evolution of flowering plants.** London, Hutchinson University Library, 1974. 207p.

## ABSORÇÃO DE ÍONS VIA FOLIAR

*José Figueiredo Pedras*<sup>1</sup>  
*João Domingos Rodrigues*<sup>1</sup>  
*Selma Dzimidas Rodrigues*<sup>1</sup>

### 1. INTRODUÇÃO

As plantas de interesse agrícola, na sua maioria, vegetais vasculares fanerogâmicos, apresentam-se divididos em três regiões distintas, com adaptações específicas que possibilitam as suas funções características. As folhas, de aspecto laminar, intensamente vascularizadas e com proteção cuticular sobre a epiderme, mas com presença de estômatos que possibilitam a comunicação com o meio exterior, tem por função as trocas gasosas e recepção de luz para a fotossíntese e transpiração. Os caules, de aspecto colunar e de resistência variável, tem por função a produção de órgãos aéreos e sua sustentação no meio aéreo, bem como de ligação e transporte. As raízes, de aspecto tubular ou filamentoso, intensamente ramificadas e sem cutina, tem por função básica a absorção de água e sais minerais, além da fixação do vegetal ao substrato.

Esta divisão funcional manifestou-se, à medida que os vegetais migraram do meio aquático, onde todas as células exerciam tanto as funções de fotossíntese como de

---

<sup>1</sup> Professor Assistente Doutor, Depto. de Botânica, Instituto Básico de Biologia Médica e Agrícola - UNESP.  
18.600 - Botucatu, SP.

absorção, para o meio terrestre, onde, para se adaptarem à nova situação, se diferenciaram em órgãos específicos para poderem sobreviver.

No entanto, a capacidade potencial das células realizarem todas as funções, mormente a absorção, permanece na maioria das células aéreas, como pode ser verificado em plantas aquáticas, epífitas e plantas agrícolas.

A principal dificuldade para a absorção pelas regiões aéreas, prende-se a existência de estruturas anatómicas, destinadas a impedir o dessecamento da planta, que impedem a livre movimentação de gases e soluções, fato que não ocorre a nível de raiz, onde a parede é permeável e a solução do solo pode penetrar até a endoderme, banhando todas as células corticais. Estas estruturas anatómicas são, nas regiões velhas, o aparecimento de tecido suberificado, produzido pelo felogenio; nos caules jovens e folhas, a deposição de cutina, formando a cutícula; ambas as substâncias impermeabilizantes, impedindo a movimentação de água e soluções de modo total ou parcial. Todavia, ao ser superada a barreira externa, mais difícil na parte aérea do que nas raízes, o processo de absorção de íons ou outras substâncias, fica condicionada pela presença da membrana plasmática (plasmalema). A circulação intracelular e acumulação no vacúolo, ficam condicionadas pelas resistências das membranas das organelas e/ou do vacuolo (tonoplasto). Em qualquer das situações anteriores, parece não haver diferenças significativas, quando se analisam as células radiculares, em confronto com as caulinares ou foliares, no tocante à absorção a nível de plasmalema ou tonoplasto.

A evidência de que a epiderme foliar pode funcionar como região de absorção de água ou substâncias nela dissolvidas, principalmente íons, tem sido pouco considerado nos livros de fisiologia; com referências pouco consistentes até mesmo em tratados de nutrição mineral. No entanto, FRANKE (1986) afirma que a problemática da absorção de água pelas folhas, já foi referida em 1676, por Mariote e em 1877 Bohm reporta que sais minerais dissol-

vidos, como por exemplo o cálcio, são absorvidos pela su perfície foliar e usados no metabolismo.

MALAVOLTA (1980), faz referências ao uso da aduba-  
ção foliar na Europa durante o século XIX, não só com a  
utilização do líquido das esterqueiras, como também de  
superfosfato diluído em água, bem como da correção de  
carências nutricionais, principalmente microelementos. I  
númeras referências sobre a utilização prática da aduba  
ção foliar durante o século passado, para correções nu-  
tricionais, são apresentadas por FRANKE (1967 e 1986). CA  
MARGO & SILVA (1975), citam não só aplicação foliar, mas  
também aplicações caulinares de soluções com fertilizan-  
tes, como forma de adubação ou correção nutricionais em  
plantas jovens. Outros autores, como BIDDULPH (1959);  
BOULD & MEWITT (1959); GAUCH (1972); SUTCLIFFE & BAKER  
(1974); HEWITT & SMITH (1974); MAZLIAK (1976); ALEXAN-  
DER (1986) fazem referência ao assunto.

No entanto, a despeito da utilização prática da  
adubação foliar no século passado, só a partir da utili-  
zação de sulfato de ferro por Johnson no Hawaii em 1915,  
para resolver problemas de deficiência em abacaxi, é que  
levou, nos anos 20, a popularização da medida nos EUA,  
e que foi incrementado depois, com a utilização conjunta  
de defensivos a partir de 1940 (FRANKE, 1986).

Na atualidade, a prática da adubação foliar já este  
disseminada, merecendo atenção os aspectos fisiolô-  
gicos de sua aplicação, destacando-se as Barreiras à Pe-  
netração, Espaços de Caminhamento, Mecanismos de Absor-  
ção e Fatores que Afetam.

## 2. BARREIRAS A PENETRAÇÃO

Para que os nutrientes possam ser metabolizados, é  
necessário que as várias formas iônicas seja absorvi-  
das a nível de membrana, mas para chegar até a superfí-  
cie externa do plasmalema, as soluções devem deslocar-se  
através dos envoltórios externos das células, ou seja ao

longo da parede celular e das suas inclusões, como a cutina. Neste aspecto verificam-se diferenças marcantes entre as absorções radiculares e foliares, já que na raiz inexistem cutícula nas jovens células absorventes, ou a quantidade de cutina é muito pequena, em contraste com os órgãos aéreos, onde a impermeabilização é muito acentuada. Em qualquer dos casos, teremos, até que o íon chegue ao plasmalema, um caminhar por regiões não metabolicamente ativas (APOPLASTO) e posterior penetração na região protoplasmática (SIMPLASTO).

O Apoplasto é constituído pelas paredes celulares, espaços intercelulares e interior dos vasos. Nas raízes, apresenta-se contínuo, desde a região pelífera até ao cilindro central, com exceção das Estrias de Caspary, e deste até as partes aéreas, continuando nas folhas até a cutícula. Nesta região, a movimentação de água e íons é livre, sofrendo restrições apenas nas partes total ou parcialmente impermeáveis, por deposição de compostos como a cutina, suberina, lignina e ceras, que ocorrem nas paredes celulares das partes externas dos órgãos aéreos, nos vasos de xilema e na endoderme da raiz (formando as Estrias de Caspary).

O Simplasto do mesmo modo, é contínuo pois as células se interligam pelos plasmodesmos, formando um todo desde as células externas da raiz até as folhas. No entanto, apesar da água poder penetrar livremente, os íons são bloqueados pela presença das membranas.

Como já referido, o caminhar dos nutrientes ocorre livremente no córtex radicular banhando todas as células, até encontrar a camada impermeável da endoderme, onde deverá necessariamente entrar no simplasto. Já nas folhas, o caminhar é mais difícil, pois existe uma região impermeável nas células da epiderme, formada pela cutícula. FRANKE (1967 e 1986) e CAMARGO & SILVA (1975), discorrem com detalhes sobre os problemas relativos a penetração da água ou soluções nas folhas.

Para a perfeita compreensão das dificuldades de penetração foliar, devemos levar em conta a constituição da cutícula e impregnações das paredes celulares da epider-

me, pelas quais a solução tem que percorrer até chegar ao protoplasma, ou seja à superfície do plasmalema.

As células da epiderme foliar apresentam a parede externa muito espessada, sendo formada por celulose, hemicelulose, ceras e outros compostos, estando estruturada por fibrilas de celulose (que são cadeias longas formadas pela condensação de glucose) interligadas, que dependendo da textura, permitem a formação de espaços de tamanhos variáveis. Estes espaços, com diâmetros em torno de  $0,01 \mu\text{m}$ , formam um sistema microcapilar, denominado sistema intermicelar, onde se depositam as inclusões das paredes que, juntamente com o material básico, são capazes de desenvolver cargas elétricas negativas, responsáveis pela capacidade de retenção e troca de íons, mas ao mesmo tempo, permeáveis a água e solutos.

As paredes celulares da epiderme, tem a face externa da parede recoberta por uma camada uniforme, aparentemente impermeável denominada cutícula, que pela sua natureza físico-química é hidrorrepelente, e portanto constitui-se em uma dificuldade adicional ao movimento de soluções. A cutícula é formada basicamente por uma matriz de pectatos, onde se deposita a cutina e outros materiais como ceras e óleos. A cutina é um composto de forma estrutural bastante complexa, mas derivada de ácidos graxos, que se polimerizam em contato com o oxigênio do ar, o que confere uma estabilidade maior na parte externa da cutícula do que na interna. Através desta matriz pectica com cutina, emerge de pequenos poros, uma cera amorfa que recobre a cutícula e que apresenta maior hidrorrepelência que a própria cutícula; o que aumenta a dificuldade de as soluções pulverizadas aderirem as superfícies, ou esta de se embeber.

Devemos lembrar no entanto, que a folha apresenta na sua epiderme os estômatos, perfurações que aparecem em grande número, na ordem de 150 a 3000 por  $\text{cm}^2$ , o que poderia constituir-se no local ideal para a entrada de soluções no mesófilo foliar, especialmente se na pulverização formar-se gotas menores que a abertura estomática. Todavia, não pode ser esquecido, que as paredes do âtrio, espaço central do estômato, são recobertas por uma con-

sistente e perceptível cutícula, e, segundo alguns autores, as paredes das células adjacentes às camadas estomáticas são cobertas com uma camada lipídica, que juntamente com a cutícula, desenvolve uma grande tensão superficial, impedindo o molhamento. Outra dificuldade prende-se ao fato das câmaras estomáticas estarem chelas de gás, impedindo o rápido movimento das gotas para o interior das folhas. De modo geral, devemos ter as mesmas preocupações em relação a penetração de substâncias, quer diretamente sobre a cutícula, ou se a solução penetrasse pelos estômatos, isto é, a solução deve conter uma substância capaz de baixar a tensão superficial, para facilitar o "molhamento" das paredes celulares.

Podemos então acreditar que a superfície foliar ou o interior da câmara estomática é de difícil penetração pelas soluções; no entanto, por essas mesmas superfícies, ocorre a saída de íons por lavagem e água por transpiração, o que nos permite aceitar que esse mesmo caminho pode ser utilizado em sentido inverso, além de demonstrar que a cutícula em algumas partes é permeável. Esta permeabilidade parcial, é decorrência da falta de continuidade da deposição de cutina e ceras, por onde se infiltra a matriz pectinácea, altamente hidrofílica.

CAMARGO & SILVA (1975) apontam algumas propriedades das cutículas, devido a sua natureza e estrutura, que são muito importantes para elucidar o caminhamento dos materiais que entram ou saem das folhas, que são:

- Hidrorrepelência: que é a característica de uma superfície não se molhar. Esta propriedade depende da afinidade entre o líquido e a superfície (adesão), em relação a afinidade entre as moléculas do líquido (coesão) e da tensão superficial do líquido. A hidrorrepelência da cutícula, varia em função da quantidade e tipo de cera existente.

- Hidrofilia e Trocas iônicas: estas propriedades são derivadas da matriz de pectatos, altamente coloidal e dos resíduos de carga provenientes da dissociação de

grupos -OH e -COOH que existem nos pectatos, cutina e ce  
ras.

- Polaridade: a cutícula apresenta na sua estrutura, compostos de polaridade variável, o que permite que ela possa dar passagem à substâncias polares e hidrossolúveis (celulose e pectatos), bem como apolares e lipossolúveis (cutina e ceras).

A última e mais importante barreira à movimentação dos íons para o interior das células, é constituída pelas membranas que recobrem não só o citoplasma, como individualizam todas as organelas e os vacuolos, locais onde normalmente se vão localizar os íons.

Mesmo existindo algumas dúvidas a respeito da sua estrutura e constituição, muito já foi elucidado a respeito das membranas, para podermos visualizá-las na sua função de isolante funcional da célula em relação ao meio. Ela realiza a vital função de regular a entrada e saída de compostos das células, além disso, ela não permite a passagem de todas as substâncias, e a velocidade de penetração daquelas que o fazem, não é constante nem igual, pois dependem da sua composição química; em outras palavras, as membranas apresentam permeabilidade se  
letiva.

Desta propriedade depende a vida das células, pois a membrana atua impedindo a entrada de certas substâncias, como por exemplo elementos tóxicos que em altos níveis podem prejudicar o metabolismo, ou facilitar a entrada de outras que devem ser acumuladas à concentrações mais altas que o meio, mesmo consumindo energia. Se levarmos em conta que as organelas celulares constituem sistemas diferenciados envoltos por membranas, pode-se imaginar esses locais (mitocôndrios, cloroplastos, etc) como compartimentos físicos, onde as reações metabólicas se realizam sem a interferência de metabolitos de outros compartimentos; esta compartimentalização é uma maneira de regular o metabolismo, característica dos organismos vivos mais evoluídos.

A partir do modelo clássico proposto por Danielli

e Davson em 1935 (EPSTEIN, 1975), a estrutura da membrana tem sofrido modificações em função dos novos conhecimentos de ultraestrutura e funcionamento, como a proposta por BENSON (1968) e por SINGER & NICOLSON (1972). Estes últimos autores consideram que a membrana é constituída por fosfolipídios e proteínas, como Danielli, porém com uma estrutura mais fluídica, onde as moléculas lipídicas, seriam dotadas de movimento, podendo soltar-se lateralmente ou transversalmente ao plano da bicamada lipídica; as proteínas estariam incluídas no seio da membrana ou emergindo à superfície, em grupos dispostos ao acaso e rodeadas de lipídios imóveis (figura 1). CLARKSON (1984) faz excelente revisão sobre as propriedades das membranas ligadas à absorção iônica.

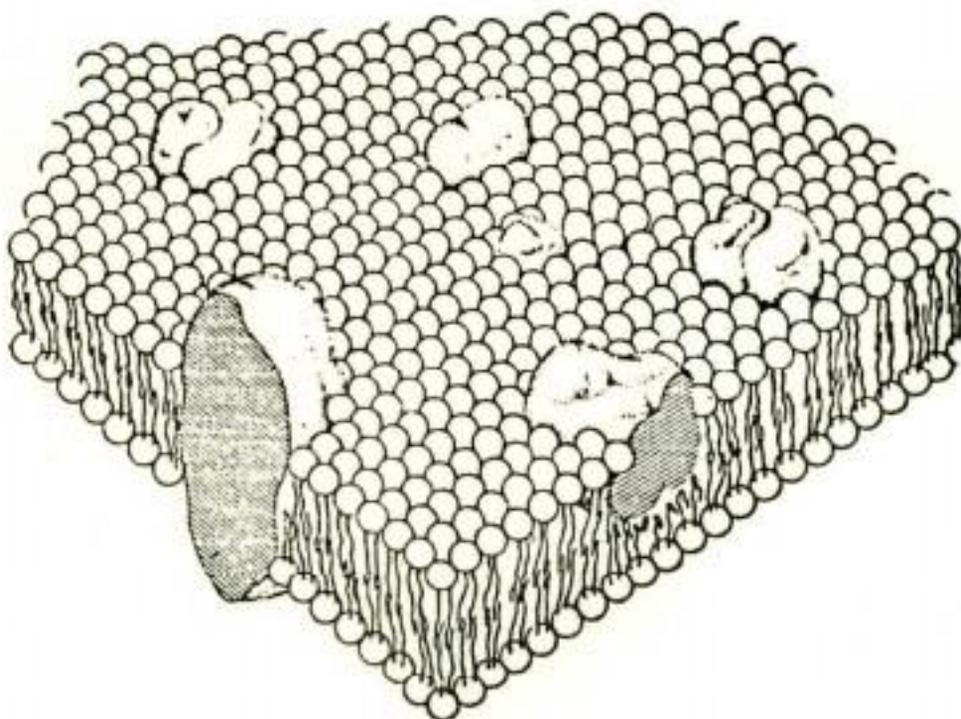


Figura 1. Desenho esquemático tridimensional do modelo de membrana, denominado Mosaico Fluido (SINGER & NICOLSON, Science, 175, 1972).

Esta membrana recobre não só o citoplasma e suas inclusões, como também os plasmodesmos e ectodesmos. Estes últimos são expansões citoplasmáticas (como os plasmodesmos), que se projetam na parede externa das células epidérmicas expostas à atmosfera, constituindo-se em pequenos filamentos, cheios de substâncias redutoras e que ficam cobertos pela cutícula. Sua quantidade varia durante o dia, e como são prolongamentos do protoplasma, permitem a conexão entre este e o meio externo, possibilitando que as substâncias depositadas sobre as folhas (fertilizantes, reguladores, defensivos, etc) possam ser incorporados ao metabolismo (MONTALDI & CASO, 1980; FRANK, 1967; CAMARGO & SILVA, 1975).

### 3. DINÂMICA E ESPAÇOS DE CAMINHAMENTO

Considerando-se as barreiras ao caminhamento dos nutrientes através do Apoplasto - Simplast, constata-se que os íons em solução, devem deslocar-se por regiões que apresentam controle metabólico e por regiões onde o processo é físico-químico. Deste modo, ao se considerar um fragmento de tecido, ou ainda, uma porção de raiz ou de folha, verifica-se que os íons apresentam diferentes velocidades e controles a seu movimento, até chegar ao protoplasma. Quando o deslocamento ocorre nos espaços intercelulares ou nas paredes celulares, o movimento é relativamente rápido e não sofre controle metabólico, completando-se o equilíbrio com o meio num tempo relativamente rápido; este movimento é seguido de um segundo tipo, onde o equilíbrio é obtido num tempo mais demorado. A partir deste ponto, o íon deve atravessar a membrana plasmática, onde ocorre controle metabólico.

Baseado nos trabalhos de HOPE & STEVENS (1952); BRIGGS & ROBERTSON (1957); BRIGGS (1957), BERNSTEIN & NIEMAN (1960); CROWDY & TANTON (1970) e numa série de outros autores, GAUCH (1972); HEWITT & SMITH (1974); SUTCLIFFE & BAKER (1974); DEVLIN (1975); EPSTEIN (1975) discutem as diferentes fases de absorção, baseados nos

conceitos de espaços de absorção, associando a eles diferentes mecanismos.

DEVLIN (1975) simplifica o assunto, estabelecendo três fases. O **espaço externo**, que consiste naquela "porção" de tecido, onde o movimento iônico ocorre por livre difusão, sem interferência de temperatura ou inibidores metabólicos e que entra em equilíbrio com a solução externa muito rapidamente; estes íons, são passíveis de se movimentarem para fora do tecido; a favor de um gradiente de concentração, quando for colocado em contato com uma solução "fria". Se o tecido, for agora colocado em uma solução de concentração maior, verifica-se que o volume de tecido envolvido na retenção de íons, também aumentava, e tendo em vista que o metabolismo estava inibido, pode-se admitir que houve uma acumulação passiva contra gradiente, envolvendo o plasmalema ou parte do citoplasma; ao espaço envolvido neste acúmulo denominou-se **Espaço Aparentemente Livre (ELA)**, e estariam envolvidos mecanismos tipo Intercâmbio Iônico e Equilíbrio de Donnan, ou ainda outros tipos de absorção.

Ao espaço de tecido onde ocorre acúmulo contra gradiente de concentração, usando energia metabólica, denominou-se **Espaço Interno**; este espaço deve ser localizado a nível de citoplasma e vacuolo, havendo portanto necessidade de vencer a barreira das membranas.

HEWITT & SMITH (1974), abordam o problema, afirmando que o **Espaço Livre** foi desenvolvido para explicar as duas fases de absorção que ocorrem em tecidos externos à camada endodérmica radicular, e portanto, fora da camada impermeável das Estrias de Caspary. Foi notada uma absorção inicial muito rápida, não dependente metabolicamente, e uma outra mais significativa e lenta, metabolicamente dependente que acumula contra um gradiente de concentração. A primeira fase é de mecanismos físicos e ocorre no **Espaço Livre**, em contraste com o volume de íons que não entra em equilíbrio com a solução externa. Este espaço não é obtido experimentalmente e o termo **Espaço Livre Aparente** foi sugerido por Briggs e usado por Hope & Stevens, para denominá-lo. Briggs & Robertson definiram o ELA, como a quantidade de solutos no **Espaço**

**Livre**, dividido pela concentração de solutos na solução externa, ao tempo do equilíbrio não metabólico. Íons no ELA podem ser facilmente removidos por lavagem em água deionizada.

Os mesmos autores, definem ainda como Espaço Livre de Donnan(ELD), o espaço livre definido acima, onde se localizam os íons não difusíveis. O local do ELA e ELD é assunto de muita controvérsia, mas julga-se que possam estar nas paredes celulares e até mesmo além do plasmalema, no citoplasma (e até mesmo no tonoplasto, mas não no vacuolo) ainda que o ELA também compreenda os espaços intercelulares.

Autores como GAUCH (1972) e SUTCLIFFE & BAKER (1974) abordam o assunto a partir da saída de íons, embora procurando dar o mesmo sentido. Assim, propõem que um tecido previamente lavado e posteriormente imerso em uma solução, apresentaria uma rápida tomada de íons, a qual ocorre usualmente em 10-20 minutos, seguida por uma absorção que pode continuar por várias horas ou dias. Se o tecido for transferido de volta para água, uma grande quantidade dos íons absorvidos pode ser levada para fora, sendo esta porção denominada de Fração Extraível por Água. Uma fração adicional poderá ser extraída se o tecido for colocado em uma solução salina, por mecanismos de troca e será denominada de Fração Trocável, o que é mais facilmente visualizado se usarmos radioisótopos na solução original. Estes íons estão associados à rápida absorção inicial, onde eles se movimentam no espaço preenchido por solução, nas paredes celulares, ou seja no **Espaço Livre**; a fração extraível por água consiste nos íons móveis na fase aquosa ou Espaço Livre de Água, e a fração trocável consiste nos íons absorvidos na dupla camada elétrica ou Espaço Livre de Donnan. Como a recuperação dos íons não é total, foi sugerido o termo **Espaço Livre Aparente** para denominar o volume celular envolvido na tomada passiva de íons, que estariam localizados na porção "Livre" do tecido foliar.

Estes modos de visualizar os espaços Exterior ou Livre, propostos por Briggs, Briggs & Robertson e Hope & Stevens, são rediscutidos por EPSTEIN (1975), baseando -

-se em trabalhos de vários autores, que não apoiam a ideia do Espaço Livre envolver porções do citoplasma, e concluíram que o espaço acessível por difusão ou troca, está na parede celular e na película de umidade que reveste os espaços intercelulares. Em relação as folhas afirma: "A prova mais direta da localização extracelular do espaço exterior ou "livre" da folha, vem de experimentos em que o chumbo em solução (complexado por EDTA), foi fornecido a nascediças de trigo. Doze horas depois, as folhas foram colocadas em uma atmosfera de ácido sulfídrico, durante um minuto. Isso fez com que houvesse precipitação de sulfato de chumbo nas folhas, o exame microscópico revelou que o precipitado se confinava à parede celular". Para o autor, a diferença mais significativa entre os espaços exteriores das raízes e das folhas é a cutícula que recobre as últimas e que reduz significativamente a velocidade de penetração até às células localizadas no interior da folha.

#### 4. MECANISMOS DE ABSORÇÃO

Estabelecidos os caminhos de movimentação e locais de acúmulo iônico, deve-se estabelecer os mecanismos envolvidos na absorção de íons através dos diferentes estágios, envolvendo ou não o uso de energia metabólica.

Da aplicação da cinética ao estudo da absorção, onde se representa a velocidade em função do tempo ou da concentração do meio externo, podem-se obter curvas que demonstram que a absorção ocorre em duas fases distintas.

**a. Fase Passiva:** onde a absorção ocorre sem gasto de energia metabólica, devendo os íons se movimentar nos Espaços Externos e Livre Aparente, indo da parede celular até a superfície do plasmalema, ou como querem alguns, até parte do citoplasma. Estes processos, segundo MALAVOLTA (1980) devem apresentar algumas características como: 1- processos físico-químicos ligados ou não a sistemas vivos; 2- atuam na ausência de respiração ou

fosforilação, portanto não necessitando de energia; 3- são espontâneos e obedecem a segunda lei da termodinâmica; 4- não sofrem ação de temperaturas, oxigênio ou inibidores metabólicos.

Vários mecanismos tem sido propostos para explicar esta absorção, que deve ocorrer nos já mencionados Espaço Externo e Espaço Livre Aparente (DEVLIN, 1975) ou como querem outros (GAUCH, 1972; HEIWITT & SMITH, 1974; SUTCLIFFE & BAKER, 1974) no Espaço Livre Aparente (Espaço Livre de Água e Espaço Livre de Donnan). Os mais citados são:

a. **Difusão:** este mecanismo é proposto para absorção no Espaço Externo, consistindo no movimento orientado de íons dentro de uma fase aquosa, a partir de uma região com maior concentração iônica, para outra de menor concentração, obedecendo a lei de Fick, onde a velocidade de absorção é proporcional ao gradiente de potencial, sendo descrita por:

$$ds/dt = -D \cdot dc/dx, \text{ onde:}$$

$ds/dt$  é a taxa de difusão por unidade de área num tempo  $t$ ;

$D$  é o coeficiente de difusão e

$dc/dx$  é o gradiente de concentração.

Quando uma membrana permeável, mas com restrições físicas, é interposta entre duas fases ou soluções a lei pode ser modificada para

$$ds/dt = P(C_i - C_e), \text{ onde:}$$

$P$  é a constante de permeabilidade da membrana;

$C_i - C_e$  é a diferença de concentração entre o meio interno e externo.

As células ou tecidos só podem absorver íons através deste mecanismo, quando tiverem um potencial químico

(concentração) dos referidos íons, menor que o potencial do meio externo. Estes íons ficariam localizados basicamente no apoplasto, já que não teriam energia para atravessar a membrana, e seria correspondente a quantidade iônica rapidamente movimentada, coincidindo com o Espaço Externo ou Espaço Livre de Água.

Os íons absorvidos pelos mecanismos seguintes, são também passivos, mas preconiza-se que eles seriam capazes de acumular íons contra um gradiente de concentração quer no Apoplasto como em parte do simplasto, como já referido. No entanto, MALAVOLTA (1979), sugere que estes mecanismos, com exceção feita ao Equilíbrio de Donnan, só colocariam o íon no apoplasto, e a concentração atingida no interior da célula não seria maior que a do meio. Os mecanismos propostos são:

**b. Fluxo de Massa:** esta idéia é defendida por alguns autores, que admitem a possibilidade dos íons serem carregados com o movimento de água, ao penetrar nos tecidos. Deste modo os íons seriam movimentados no fluxo de massa de água, provocando um acúmulo na absorção, sem se definir se por efeito direto ou indireto. Lopreshinsky em 1964, citado por DEVLIN (1975), trabalhando com plantas de tomate sem a parte aérea, apoia indiretamente a suposição da transpiração aumentar a absorção de sais; mediante a aplicação de diferentes pressões hidrostáticas ao sistema radicular, com  $P^{32}$  e  $Ca^{45}$ , obtendo maiores valores dos elementos nos exsudatos das plantas com maiores pressões. Este mecanismo é considerado por alguns autores, como capaz de colocar os íons apenas no apoplasto.

**c. Troca Iônica:** os íons adsorvidos na superfície das paredes ou membranas celulares, podem ser trocados por íons presentes no meio externo. Este mecanismo é semelhante ao encontrado entre a solução do solo e as partículas coloidais do solo, assim o íon ao se adsorver na superfície torna-se osmoticamente inativo, não estando envolvido no estabelecimento do equilíbrio osmótico. Deste modo, um  $H^+$  absorvido à estas superfícies, pode ser trocado por um  $K^+$ , que se torna assim, osmoticamente inativo. Da mesma maneira, poderá haver troca entre anions

e  $\text{OH}^-$ . Estabelecido este mecanismo, de trocas e absorções, com conseqüente inativação da capacidade osmótica, cria-se lugar para entrada de mais íons do meio externo do que seria possível por difusão livre.

d. **Equilíbrio de Donnan:** segundo HEWITT & SMITH (1974), o mecanismo foi proposto por Donnan em trabalhos entre 1911 e 1914. Este sugeria que, quando a membrana é permeável a alguns íons e não a outros, o movimento difusivo de íons pode ser contrário ao gradiente de concentração. MALAVOLTA (1980), cita três condições para que o equilíbrio possa ser estabelecido: 1- presença da fase DONNAN onde existam íons não difusíveis; 2- presença da fase aquosa onde existam íons difusíveis; 3- presença de uma membrana semi-permeável, separando as duas fases; nestas condições, é originada uma diferença de potencial elétrico (potencial de DONNAN), que pode ser considerado como um potencial de difusão. Este potencial eletroquímico é expresso pela equação de Nernst, que para cada íon é:

$$E = \frac{RT}{z_j F} \ln \frac{C_{j,i}}{C_{j,e}}$$

ou depois de transformado para logaritmo na base dez, e dependendo da temperatura (20° ou 25°C) é:

$$E = \frac{59}{z_j} \log \frac{C_{j,i}}{C_{j,e}} \quad \text{ou} \quad E = \frac{58}{z_j} \log \frac{C_{j,i}}{C_{j,e}} \quad \text{onde:}$$

$C_{j,i}$  é a concentração do íon j no meio interno

$C_{j,e}$  é a concentração do íon j no meio externo

$z_j$  é a valência do íon em valor numérico.

O sistema, constitui-se assim, em um caso de permeabilidade seletiva de uma membrana, que separa dois compartimentos e onde determinados íons não são difusíveis de um compartimento a outro, e em decorrência das cargas difusíveis, se produz uma diferença de potencial

de difusão permanente. Como consequência do equilíbrio de Donnan, destaca-se que a concentração molar total de íons difusíveis é mais elevada e o potencial osmótico mais negativo, no compartimento onde se localizam os íons não difusíveis.

Suponhamos o caso dos íons  $K^+$  e  $Cl^-$  difusíveis para o interior de uma membrana (figura 2) onde existem íons não difusíveis (ânions). No equilíbrio devemos ter:

$$\frac{(\text{íons positivos})_i}{(\text{íons positivos})_e} = \frac{(\text{íons negativos})_e}{(\text{íons negativos})_i} \text{ ou}$$

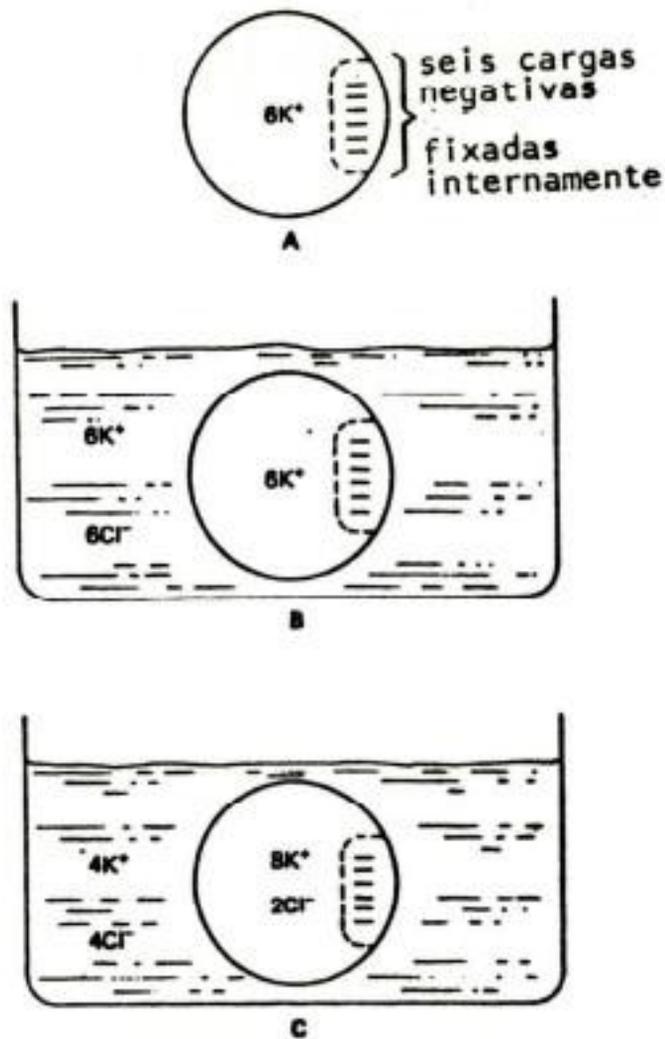
$$\text{ou } (K^+)_i (Cl^-)_e = (K^+)_e (Cl^-)_i$$

como:

$(K^+)_i = (Cl^-)_i + (A^-)_i$  e  $(K^+)_e = (Cl^-)_e$ , o que comprova uma entrada líquida de  $K^+$  contra um gradiente de concentração, induzido pelo potencial eletroquímico (BIDWELL, 1979; COLL et alii, 1980).

**B. Fase Ativa:** onde a absorção está necessariamente ligada a transposição de membranas do citoplasma, do vacuolo e de organelas como o mitocôndria e cloroplasto, que usualmente contêm concentrações de vários íons, a nível superior daquele encontrado nas soluções circundantes, sejam elas internas ou externas; mesmo assim cada espécie iônica continua a entrar nos vacuolos e organelas, contra um gradiente de concentração. Este movimento e acumulação requer considerável fornecimento de energia metabólica, proveniente em geral, da respiração e em alguns casos fotossíntese. Inúmeros experimentos mostraram que a diminuição na taxa respiratória, devida a fatores como temperatura, teor de oxigênio ou inibidores metabólicos da respiração, resultaram na diminuição concomitante da absorção iônica.

Levitt, citado por BIDWELL (1979), estabeleceu quatro critérios para caracterizar a absorção ativa:



A - Célula com cargas negativas, fixadas e neutralizadas por íons K<sup>+</sup>;

B - Célula é colocada em solução de KCl;

C - Equilíbrio Donnan é estabelecido com movimento de íons K<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> onde:

$$\frac{[K^+]_i}{[K^+]_e} = \frac{[Cl^-]_e}{[Cl^-]_i} \quad \text{ou} \quad \frac{8}{4} = \frac{4}{2}$$

Figura 2. Esquema demonstrativo do equilíbrio de Donnan. (BIDWELL, 1979. Plant Physiology, 726 p.).

- A taxa de absorção excede aquelas previstas pela permeabilidade e gradiente eletroquímico.

- O equilíbrio dinâmico final do potencial eletroquímico, não é um equilíbrio ao longo da região de absorção.

- O relacionamento estequiométrico, existente entre a quantidade de íons absorvidos e a energia utilizada.

- O mecanismo de absorção depende da atividade celular.

Tem-se tornado, a cada dia, mais defensável a idéia da existência de um bombeamento de íons, por meio de transportadores, situados nas membranas celulares (plasmalema, tonoplasto e das organelas), o que permite, de uma forma unidirecional, o movimento de nutrientes do exterior para o interior celular. Muitos experimentos evidenciam o conceito do carreador, sendo objeto de investigações intensas, a natureza e maneira específica de atuação dos carreadores.

A taxa de absorção ativa de íons específicos, aumenta com a sua concentração externa, até o ponto em que o processo torna-se saturado. Pode-se esperar este resultado, desde que exista um número limitado de carreadores, os quais tornam-se saturados, da mesma forma como um substrato pode saturar as enzimas. A teoria dos carreadores está também de acordo, com o fato de que diferentes espécies de íons, são ativamente absorvidos a taxas diferentes e em proporções diferentes, daquelas existentes no meio circundante. Aceita-se a existência de diferentes sistemas de carreadores ou diferentes locais de ligação em carreadores específicos, para diferentes íons. Esta suposição é suportada pela evidência de estudos, como os de EPSTEIN & HAGEN (1952), onde aplicando os conceitos de cinética enzimática de Michaelis e Menten, bem como as transformações de Lineweaver e Burk, encontraram que certos íons, como  $K^+$ ,  $Cs^+$  e  $Rb^+$  interferem uns com os outros, no mesmo lugar de ligação e no mesmo carreador, enquanto que  $Na^+$  e  $Li^+$  não interferem

com a absorção desses três íons e são, evidentemente, transportados por carreadores ou sítios de ligação diferentes.

Muitas propostas tem sido feitas no sentido da determinação da natureza do carreador, sempre levando em consideração a necessidade de energia metabólica. Uma delas considera que sejam enzimas denominadas permeases, outra, de que o carreador deve ser constituinte da membrana. Existem, no momento, várias hipóteses que tentam explicar a atuação e identificação dos carreadores; no entanto, nem todas as membranas contêm as enzimas carreadoras, que são bem conhecidas nas mitocôndrias e cloroplastos, mas não tem sido encontradas no plasmalema ou tonoplasto, dificultando a compreensão de como essas membranas realizam a absorção ativa.

#### a. Hipótese de Lundegardh:

A primeira interpretação de um mecanismo de transporte ativo, acoplado ao metabolismo energético celular foi o proposto por Lundegardh, introduzida inicialmente em 1933, e sucessivamente reelaborada por seu autor para adaptá-la aos novos conhecimentos. De acordo com a hipótese, a absorção ativa de íons está acoplada à transferência de elétrons, ao longo da cadeia respiratória, ou um sistema transportador de elétrons. Esta conclusão foi tirada, devido à observação de que os tecidos vegetais aumentavam sua respiração quando eram introduzidos numa solução salina; concluiu-se sobre a existência de uma respiração necessária para os processos gerais da planta e de uma respiração salina ou aniônica, que fornecia a energia necessária para a absorção dos nutrientes (ânions). Experimentos demonstraram a existência de estequiometria, entre o número de ânions absorvidos e a respiração salina. Para cada molécula de  $O_2$ , podem ser transferidos quatro elétrons na cadeia respiratória, pelo que é de se esperar, segundo Lundegardh, que sejam absorvidos um máximo de quatro ânions por molécula de  $O_2$ . A existência de um gradiente de oxidação permite a absorção, por cada citocromo em estado oxidado, de um equivalente aniônico do exterior para o interior. O gra

diente elétrico, produzido por esta entrada de anions, de termina a absorção de cations (figura 3).

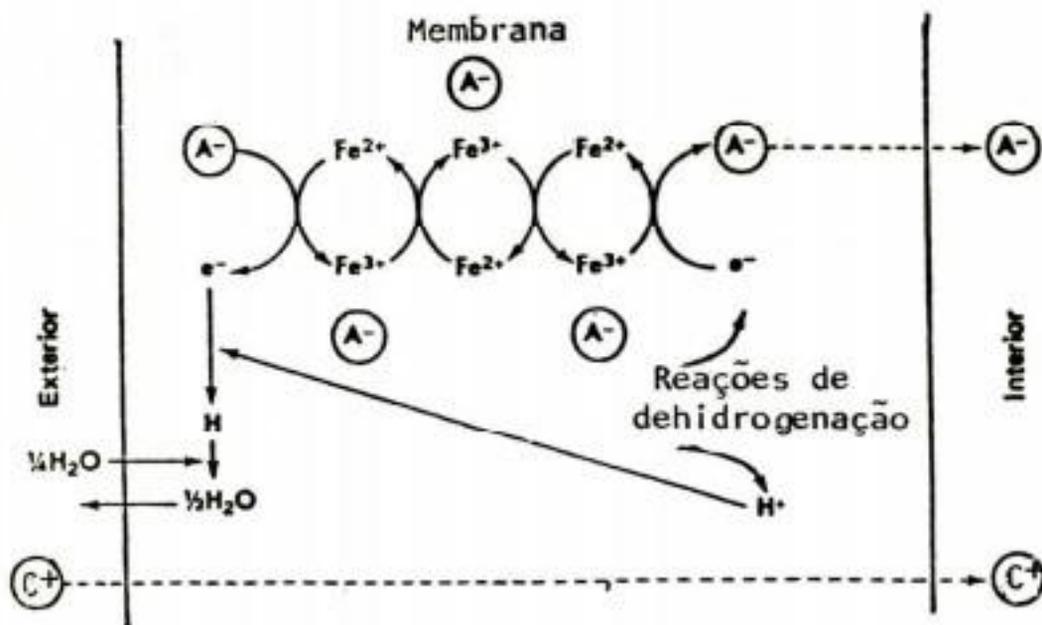


Figura 3. Representação esquemática da hipótese de Lunde gardh, da absorção iônica com citocromos. Os anions (A⁻) são absorvidos ativamente, pelos citocromos e os cations (C⁺) são absorvidos de modo passivo. (DEVLIN, 1975. Fisiologia Vegetal, Omega, 468 p.).

Existem várias objeções a esta teoria, das quais destacamos as mais importantes:

- A cadeia respiratória não se localiza no plasmalema, mas nas membranas das cristas mitocondriais.

- A respiração não é estimulada somente por anions, mas também por cations.

- Não se observa competição específica entre os anions pelo carreador.

- Os desacopladores da fosforilação oxidativa, como o 2,4 Dinitrofenol, que não impede o transporte eletrônico da cadeia respiratória, evitando apenas a formação de ATP, inibe a absorção ativa, contrariamente ao esperado.

- Observa-se valores reais, em desacordo com a hipótese do transporte pelo citocromo, relativamente à proporção de anions absorvidos, por molécula de  $O_2$  consumido. Assim, mais de quatro anions por molécula de  $O_2$  ou nenhuma respiração salina, na absorção de sais por alguns tecidos vegetais.

- Nem todos os anions são absorvidos, à mesma velocidade.

Mesmo submetida a reelaborações sucessivas, atualmente esta hipótese apresenta apenas valor histórico tendo em vista o fato de ter sido a contribuição inicial ao conceito do carreador e sua conexão com o metabolismo energético.

#### **b. Hipótese da bomba redox:**

Uma variação no acoplamento direto, entre o transporte de íons e a cadeia de transporte de elétrons deve-se, independentemente, a Conway & Robertson, citados por COLL et alii (1980) e Robertson & Willians, citado por GAUCH (1972). Segundo esses autores, o transportador é reduzido no lado interno da membrana, pelos elétrons cedidos pelos transportadores eletrônicos (figura 4). O carreador é oxidado na parte externa da membrana, e como consequência, ocorre uma queda de potencial redox, sendo a interpretação teórica deste mecanismo, a um máximo de quatro transportadores por molécula de  $O_2$ , visto que cada carreador funciona com um elétron.

#### **c. Hipótese de Bennet-Clark:**

Uma das teorias mais plausíveis sobre a absorção iônica, e que supera as objeções sobre as teorias anteriores é a proposta por BENNET-CLARK (1956). Ele propõe uma interconversão cíclica de Colina, Acetilcolina, Lecitina e Ácido Fosfatídico que forma um sistema de carrea-

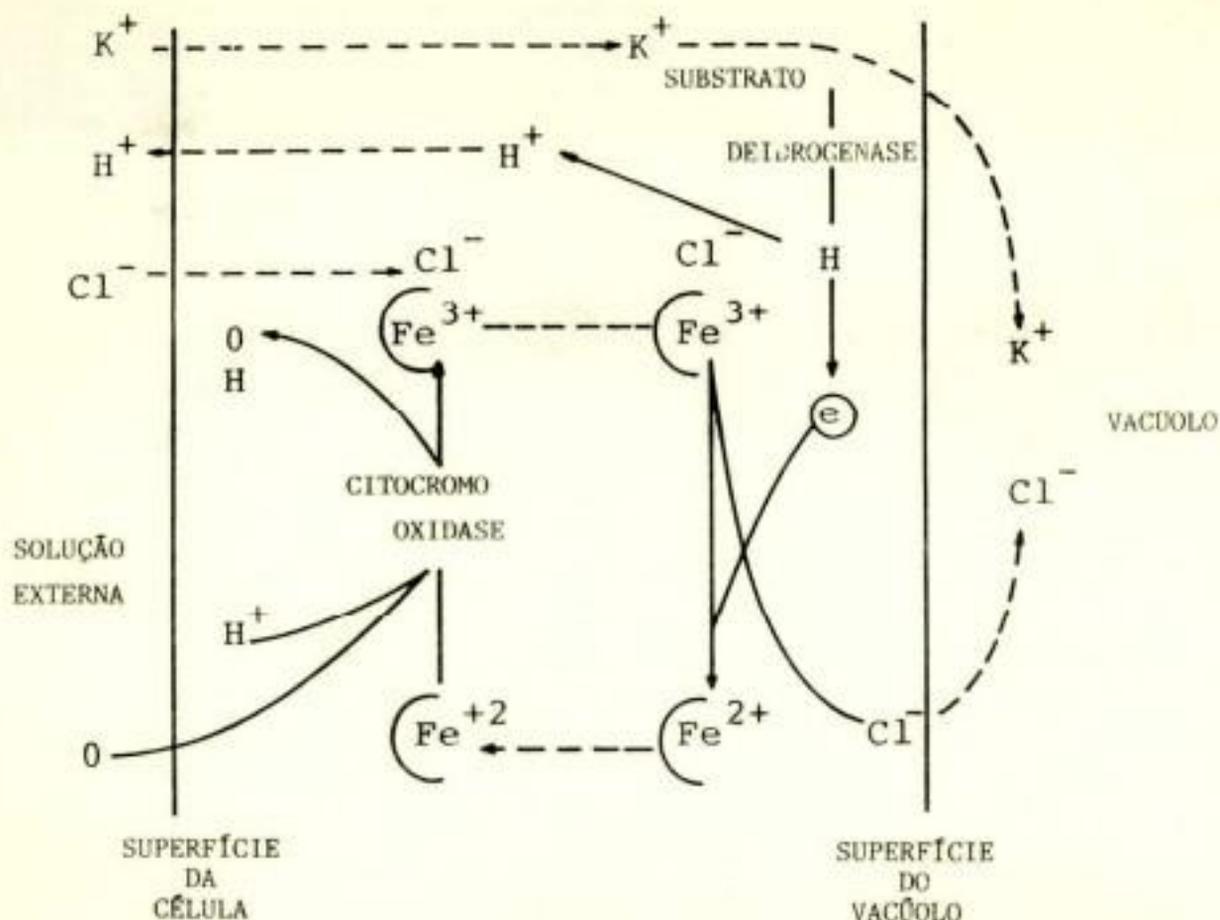


Figura 4. Representação esquemática do sistema de transporte de elétrons e ânions proposto por Robertson e Williams (GAUCH, 1972; Inorganic Plant Nutrition).

dores para cations e anions (figura 5). A reação requer ATP e os fosfolipídeos envolvidos são conhecidos constituintes das membranas. É provável que existam muitos outros sistemas diferentes de carreadores, sendo que o sistema proposto por Bennet-Clark pode ou não ser um deles; no entanto, parece um sistema razoável de como um sistema de carreadores poderia operar. Nesta hipótese, o grupo fosfato é considerado como centro ativo da fixação de cations e o grupo básico como centro fixador de anions.

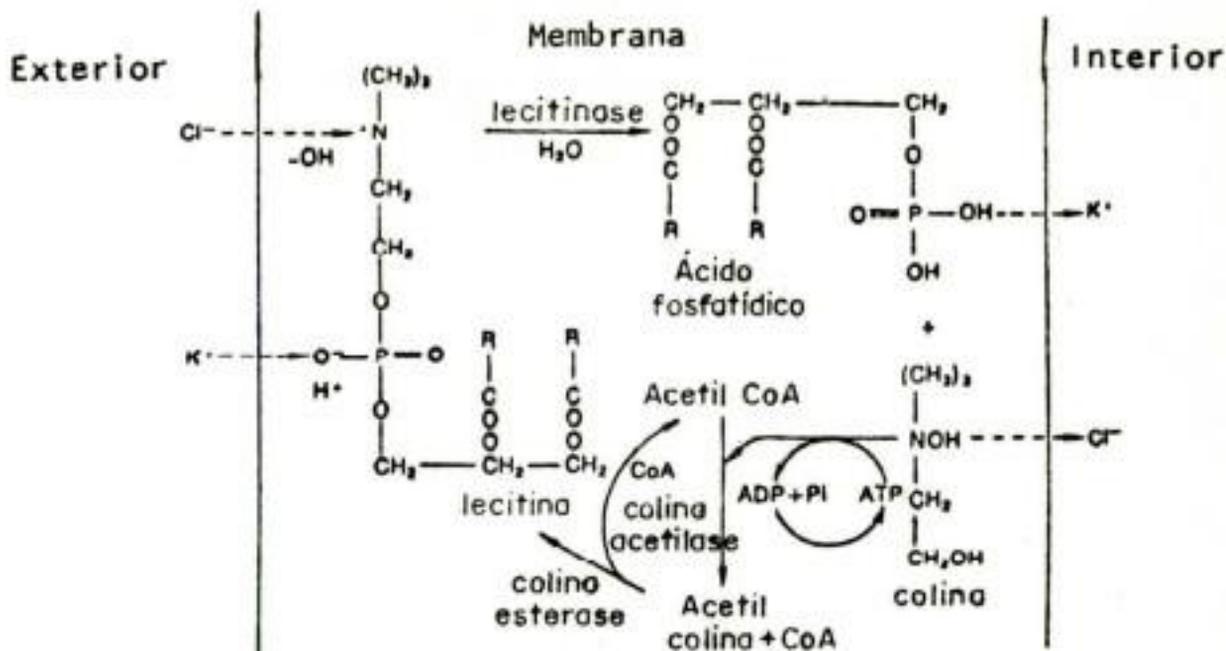


Figura 5. Representação esquemática da hipótese do ciclo fosfatídico proposto por Bennet-Clark, para transporte ativo. (GREULACH, 1973. Plant Function and Structure, 575 p.).

#### d. Outras hipóteses

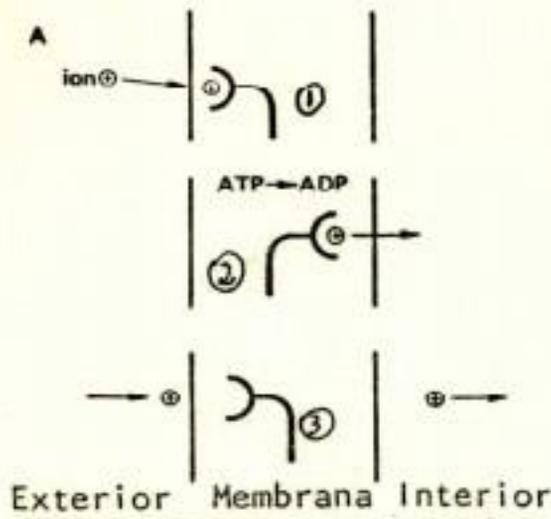
Atualmente as hipóteses mais relevantes são:

- Transporte por uma proteína carreadora, possivelmente depende de ATPase.

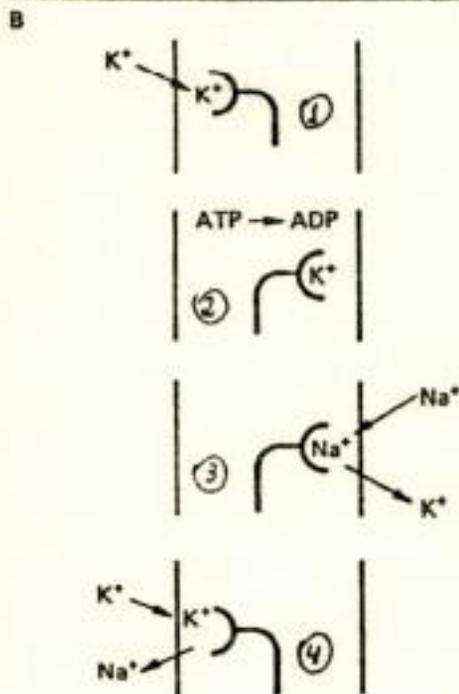
- Transporte a favor de um gradiente eletroquímico, gerado por um transporte eletrônico;

- Transporte a favor de um gradiente de pH, gerado por um sistema de transporte eletrônico ou ATPase.

O primeiro, transporte por uma molécula carreadora é mostrado na figura 6.



- A. Transportador iônico ativado por ATP respiratório
1. Os ions se difundem para a parte externa da membrana e se ligam à carreadores.
  2. O carreador se modifica por atuação da ATPase e ocorre a Entrada de ions.
  3. O carreador torna - se novamente funcional.



- B. Transporte no sistema K<sup>+</sup>Na<sup>+</sup> ATPase
1. O K<sup>+</sup> se liga ao carreador.
  2. O carreador transfere K<sup>+</sup> para o interior com gasto de energia.
  3. O K<sup>+</sup> é liberado e substituído pelo Na<sup>+</sup> que é mais fortemente ligado a nova conformação do carreador.
  4. O carreador transfere Na<sup>+</sup> para fora e nova conformação permite a liberação do K<sup>+</sup>.

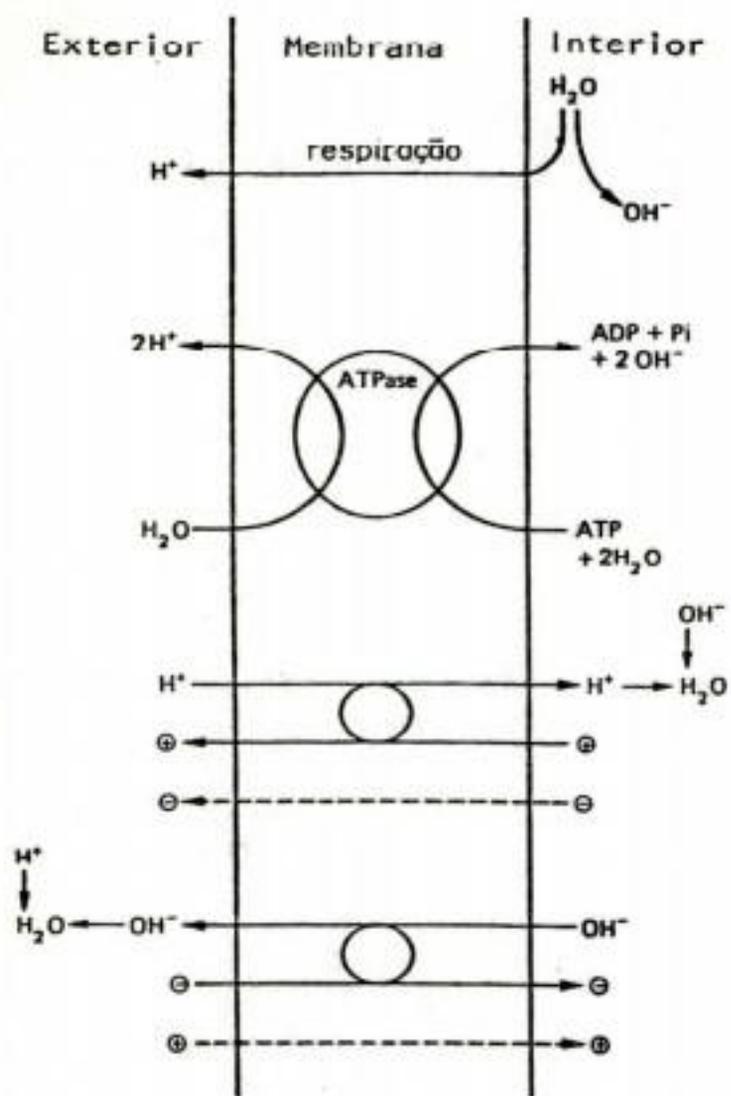
Figura 6. Modelos de sistemas de Transporte eletrônico. (BIDWELL, 1979. Plant Physiology, 726p.).

A energia de hidrólise de ATP é usada para mudar a configuração do carreador, o qual poderia ser a própria ATPase, de tal maneira que um íon pode ser captado de um lado da membrana e descarregado no outro. A alternância da captura ou descarga, está relacionada com a força de ligação íons-carreador ou, alternativamente, pelo efeito das trocas nos sítios da superfície das membranas, através do qual o íon deve ser absorvido. Como há boa evidência que o plasmalema e o tonoplasto contêm ATPase, que pode mediar a absorção, este parece ser o mecanismo pelo qual os íons são ativamente absorvidos para dentro das células.

O segundo e terceiro são dependentes da hipótese quimiosmótica de MITCHELL (1966), a qual descreve como este esquema pode estar ligado à absorção iônica, como verificado na figura 7. O sistema de transporte eletrônico poderia ser usado para gerar um gradiente de protons, o qual poderia direcionar a absorção de cations ou anions como mostrado em A da figura 7. Este sistema pode operar em mitocôndrias, onde se conhece a localização do sistema de transporte eletrônico nas membranas que rodeiam a organela. Entretanto, não parece ocorrer em outras membranas celulares por falta de enzima carreadora.

O sistema esboçado na figura 7 B mostra como a ATPase poderia gerar um gradiente positivo de protons, pelo qual os íons mover-se-iam. Este sistema funcionaria em mitocôndrias e cloroplastos, bem como em outras membranas que apresentassem a necessária organização espacial da ATPase. Uma outra possibilidade é que a absorção ativa de íons  $K^+$  pela ATPase poderia ser usada por um sistema de trocas para gerar um gradiente de protons, o qual permitiria a absorção de outros íons, usando a força motriz gerada pelo transporte de  $K^+$  pela ATPase.

Pode-se notar que quando  $(H^+)$  ou hidroxilas  $(OH^-)$  são transportados através da membrana, eles imediatamente formam água; conseqüentemente, quando cations são transportados através da membrana, em sentido contrário aos íons  $H^+$ , anions podem difundir-se passivamente, para satisfazer o equilíbrio elétrico. Do mesmo modo, transporte ativo de anions pela troca com  $OH^-$ , requer o movi-



A. Gradiente de prótons gerado por transporte eletrônico.

B. Gradiente de prótons gerado por ATPase operante

C. Transporte de cátions trocados por prótons; os ânions movimentam-se passivamente.

Figura 7. Esquema para o transporte de íons, acoplado ao transporte de elétrons por ATPase. (BIDWELL, 1979. Plant Physiology, 726p.).

mento simultâneo de cations. Então, pelo acoplamento do gradiente de protons a cada cation ou anion transportado diretamente, estabelece-se um movimento líquido de cation e anion, para fora ou para dentro da célula ou organela, conforme mostra a figura 7C.

O fato de que o sistema de absorção ativa para certos íons pode ser independentemente saturado, sugere a existência de carreadores específicos ou pontos de ligação específica para certos íons. Entretanto, muitos íons interagem e parecem competir com o mesmo lugar de ligação, no mesmo carreador, como demonstraram de forma inequívoca os trabalhos de EPSTEIN & HAGEN (1952). Deve-se notar que a competição iônica, para a absorção ativa é um fenômeno diferente do antagonismo, visto que para a competição são necessários grandes concentrações de íons inteiramente diferentes.

Há evidências da existência de dois mecanismos para a absorção de certos íons, bem discutido por EPSTEIN (1975), baseados em trabalhos de Epstein e colaboradores, na década de 60, e denominado Padrão Duplo de Absorção, como exemplificado na figura 8, onde se verificam duas velocidades para concentrações diferentes.

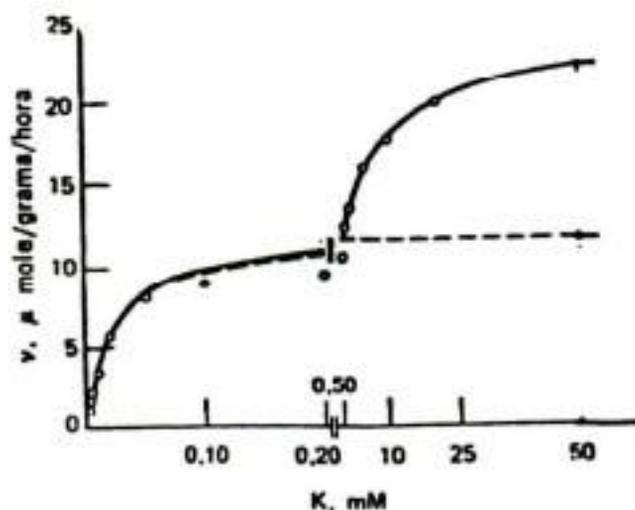


Figura 8. Velocidade de absorção de K em raízes de cevada em função da concentração de KCl na solução (EPSTEIN, 1975. 341 p.).

O primeiro, denominado Sistema I, localizado aparentemente no plasmalema, absorvendo íons de soluções diluídas. A localização do Sistema II ainda é incerta, mas provavelmente no plasmalema (EPSTEIN *et alii*, 1963) ou no tonoplasto (Laties e colaboradores, citado por EPSTEIN, 1975), como visto na figura 9 absorvendo íons de soluções muito concentradas. Alguns fisiologistas sugeriram a presença de apenas um sistema, o qual é afetado por trocas de fases nas membranas, causadas por diferentes concentrações iônicas.

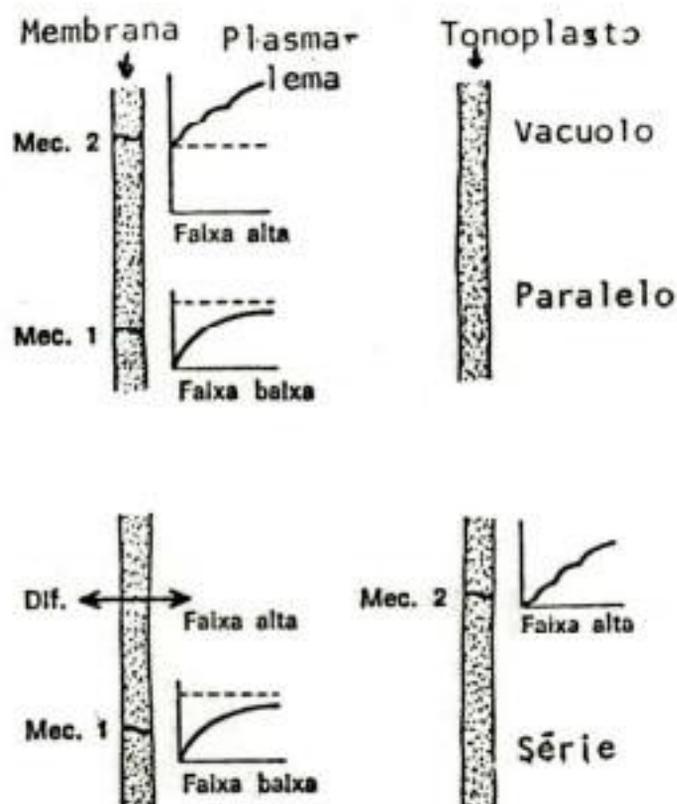


Figura 9. Representação esquemática dos modelos em paralelo e em série da operação dos dois sistemas de transporte iônico (EPSTEIN, 1975. 341p).

Os solutos podem também mover-se através da membrana por outros processos, como a formação de bolhas ou vesículas (COLL *et alii*, 1980; SUTCLIFFE & BAKER, 1974),

num lado da membrana e descarregamento do seu conteúdo do outro lado (figura 10). Este processo é chamado de Pinocitose e é essencialmente o esvaziamento de pequenos vacuolos através da membrana, onde a invaginação de plasma forma vesículas internas. A Pinocitose é um processo de absorção iônica não seletiva, porque os solutos movem-se como parte de uma solução de maneira independente; por outro lado, o transporte ativo é altamente seletivo.

## 5. FATORES QUE AFETAM A ABSORÇÃO DE ÍONS

A atividade física e bioquímica dos organismos vivos, está submetida à influência de fatores do meio interno e externo e a absorção de íons não foge à regra.

### A. Fatores externos

#### a. Disponibilidade

A disponibilidade dos elementos no meio, ou seja, a quantidade do elemento em forma passível de absorção, depende de vários fatores que regulam a passagem daquele, da fase sólida para a líquida. Esse fenômeno é afetado por variáveis como: teor total, pH, arejamento, umidade, matéria orgânica, temperatura e presença de outros elementos. Dentro de limites, o aumento na disponibilidade, medido pelo crescimento na concentração do elemento na solução, leva a aumentos na quantidade absorvida por unidade de tempo.

#### b. Concentração da solução

Admitindo-se que uma solução aplicada sobre uma folha seque muito rapidamente, pode-se supor que em algum lugar da folha encontram-se concentrações de 100%. A velocidade de absorção e o transporte, entretanto, devem

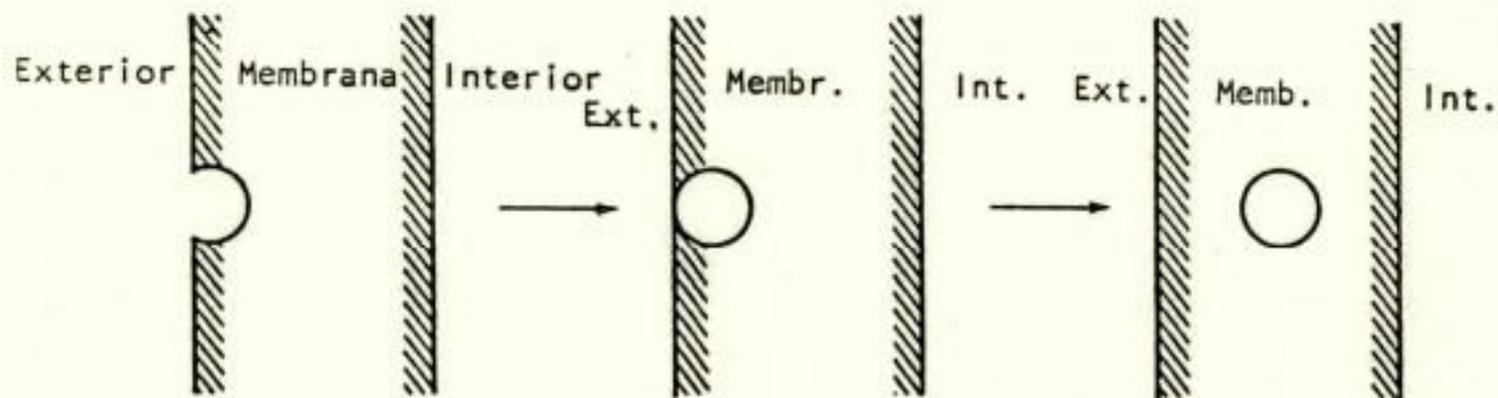


Figura 10. Representação esquemática da hipótese de transporte por pinocitose (COLL et alii, 1970. Fisiologia Vegetal, 750p.).

impedir que essa concentração seja atingida. A concentração do elemento em solução pode aumentar na prática agrícola, desde que o volume aplicado seja reduzido.

#### c. Aeração ou concentração de oxigênio

A absorção iônica, como se sabe, depende do fornecimento de energia metabólica - a fonte de energia estranha ao sistema. Essa energia vem da respiração e por isso, aumentando até certo limite a tensão do oxigênio, aumenta a absorção. Os manejos que aumentam a aeração, como aração, gradagem, subsolagem - tendem a aumentar a absorção de elementos.

#### d. Temperatura

Novamente, considerando-se a atuação da energia metabólica sobre a absorção, percebe-se a importância da temperatura. Em geral, qualquer aumento de temperatura, leva a uma aceleração da absorção de sais. Sem dúvida, a influência da temperatura sobre a absorção, é de limites relativamente pequeno, sendo que aumentos acima de um máximo, em vez de acelerar, acaba retardando a absorção. Acredita-se que o efeito inibidor de altas temperaturas, prende-se à desnaturação de enzimas e proteínas, que se refletirá direta ou indiretamente na absorção.

Na verdade, também os processos de absorção passiva, dependem das mudanças de temperatura; assim, a intensidade de difusão livre depende da energia cinética das moléculas ou íons difusíveis, que por sua vez, depende da temperatura. Dessa forma, qualquer diminuição da temperatura, retardará os processos de difusão livre, bem como as reações bioquímicas que intervêm na absorção ativa.

Os valores do coeficiente de temperatura  $Q_{10}$ , para a absorção foliar de alguns nutrientes, mostram pequenas variações entre eles. Para a uréia  $Q_{10}$  é aproximadamente igual a 1, indicando absorção não metabólica; para absorção de P, K, Rb e Mg, o  $Q_{10}$  é aproximadamente igual a 2, indicando absorção metabólica.

As temperaturas elevadas favorecem a absorção e também a evaporação de solução na superfície das folhas, aumentando a concentração dos sais aplicados, o que favorece a penetração de maior quantidade de íons no apoplasto; para a absorção de P, por exemplo, a temperatura ótima é 21°C.

Em condições de altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar, a evaporação da água pode ser excessiva elevando a concentração dos sais a níveis tóxicos na superfície foliar, a ponto de queimar as folhas. Em condições de alta umidade relativa do ar, as temperaturas baixas podem concentrar o orvalho e formar neblina, mantendo as folhas molhadas por muito tempo, favorecendo a lavagem de nutrientes das folhas.

#### e. Umidade relativa e disponibilidade de água no solo

Além de influenciar a disponibilidade de elementos, a umidade afeta também o processo de absorção, visto ser a água o veículo natural daqueles. Não existe, porém, uma relação muito estreita, entre velocidade de absorção da água e dos íons, como por exemplo,  $K^+$  e  $NO_3^-$ , que são absorvidos muito mais rapidamente que a água, porém a absorção de  $Ca^{2+}$ , por outro lado, parece ser mais lenta. Além disso, a umidade do ar e a temperatura afetam a velocidade de secamento da solução aplicada e, portanto, a possibilidade de estabelecimento de uma película líquida na superfície da folha; quando essas duas variáveis se combinam, diminuindo o gradiente na pressão de vapor na dita superfície, pode-se esperar mais absorção. Deve-se ter presente, porém, que a absorção prossegue durante consideráveis períodos de tempo, quando a superfície parece estar seca, provavelmente devido a películas de umidade, formadas às custas da água transpirada, que poderão ser mais importantes para o processo, do que a água da própria solução aplicada. De qualquer modo, em condições de plantas no campo, a aplicação foliar de elementos é em geral feita quando a umidade atmosférica é mais alta, como ocorre na manhã devido à presença do orvalho; no calor do meio dia e com sol quente, as folhas secas poderiam ficar queimadas. Tanto

gotas grandes de solução (aplicação destas a alto volume), como gotas pequenas (baixo volume) secam rapidamente, a menos que a umidade atmosférica ou o orvalho retardem o secamento.

Além disso, a planta com boa disponibilidade de água no solo, mantém túrgidas as suas células e boa hidratação na cutícula, favorecendo a penetração foliar dos nutrientes.

Quando a planta começa a murchar, a absorção foliar diminui drasticamente. Por essa razão, não se deve fazer as pulverizações foliares nas horas quentes do dia, quando a planta entra no período diário de murchamento incipiente, resultante do excesso de perda de água, devido ao predomínio da transpiração sobre a absorção de água do solo.

A umidade relativa, enfim, favorece a absorção foliar, por impedir a evaporação da solução aplicada, conservando-a sobre a folha, por mais tempo, permitindo a sua melhor distribuição sobre a superfície da folha e mantendo a cutícula hidratada. Entretanto, se a temperatura descer ao ponto de formação de neblina ou orvalho, durante muito tempo, a absorção poderá ser bastante prejudicada, porque a água atmosférica depositada nas superfícies foliares, provocará a inversão do gradiente de concentração dos nutrientes que se acham no apoplasto, induzindo sua saída da folha. Este fenômeno de lavagem, pode retirar quantidades enormes de nutrientes e outros metabólicos das folhas e de outras partes aéreas das plantas.

A neblina constante, pode retirar quantidades de nutrientes suficientes, para provocar sintomas de carência nas plantas. A baixa umidade atmosférica é prejudicial à absorção foliar, favorecendo a evaporação rápida da solução, diminuindo o tempo de contato desta com a superfície das folhas e aumentando a concentração dos solutos a níveis tóxicos, favorecendo a queima das folhas. Além disso, há o favorecimento da transpiração, levando ao murchamento e diminuindo a permeabilidade da cutícula aos nutrientes.

#### f. Índice pH

Além do efeito direto do pH na absorção de alguns elementos, esse fator pode afetar a disponibilidade dos elementos, além de atuar no processo de absorção, embora esses efeitos na absorção de P não sejam muito consistentes e sejam acentuados na do Ca. A existência de determinados íons nas soluções, depende pois de íons  $H^+$ , sendo que a ionização de eletrólitos de um mesmo sal, está na dependência de mudanças de pH; por exemplo, o íon  $H_2PO_4^-$  é a forma mais facilmente absorvida pelas plantas, em relação aos íons  $HPO_4^{2-}$  e  $PO_4^{3-}$ , ocorre em pH ácido, enquanto os trivalentes formam-se melhor em pH básico.

Numerosos experimentos tem demonstrado que, o efeito do pH é muito pequeno sobre o crescimento, mas muito eficaz quando se inibe a disponibilidade de íons. Sem dúvida, se a concentração de um íon é suficientemente alta, será difícil que se apresente uma deficiência deste íon, dentro dos limites fisiológicos dos valores de pH.

CAMARGO & SILVA (1975), referem que a capacidade de absorção relativa de uma cutícula enzimaticamente isolada, para substâncias ácidas decresce de pH 1 a 7, aumentando de pH 3 a 9 para substâncias alcalinas. Este fato mostra notável semelhança, com o efeito do pH da solução, sobre velocidades relativas da absorção de  $K^+$  ou de  $Rb^+$ . A maior rapidez de absorção encontrada para o  $K^+$  foi em pH 3, quando a aplicação foi feita na forma de fosfatos ou citratos; para a uréia a maior intensidade de absorção ocorre entre pH 5 e 8 e a menor entre 6 e 9. O efeito do pH da solução sobre a absorção de sulfato é muito pequeno e, quanto ao seu efeito sobre a absorção de  $Ca^{2+}$ , quase nada se conhece.

#### g. Luz

Os efeitos da luz, sobre a abertura e fechamento dos estômatos e sobre a fotossíntese, afetam, de modo indireto a absorção de sais. Com os estômatos abertos, aumenta a circulação de massa de água, que afeta indiretamen-

te a absorção. A energia proporcionada pela fotossíntese, por sua vez, representa um suprimento energético para a absorção. Assim, foi demonstrado que aplicação foliar, antes do sol nascer, tem demonstrado conduzir a menor absorção do que aplicações posteriores. Além de atuar na absorção iônica, deve-se lembrar da ação desse fator sobre a translocação.

Dessa forma, quanto maior a intensidade luminosa, maior será a absorção de nutrientes pela folha, assim como a sua translocação simplástica, o que é de se esperar, por ser a absorção um processo metabólico. Por outro lado, a luz intensifica a produção da cera superficial da folha, aumentando a sua hidrorrepelência e dificultando a penetração das soluções aquosas.

#### h. Inibidores metabólicos

Como a respiração é a fonte de energia, para a absorção ativa, através do fornecimento do composto rico de energia, ATP, trifosfato de adenosina, segue-se que, se o processo respiratório for bloqueado de algum modo, deverá diminuir e mesmo ser paralizado o fenômeno. O íon  $F^-$  é inibidor da glicólise, a fase anaeróbica da respiração, por impedir a ação de enzimas ativadas pelo  $Mg^{2+}$  através, presumivelmente, da formação de fluorfosfato de magnésio insolúvel; o  $CN^-$  (cianeto), por sua vez, bloqueia o transporte eletrônico terminal, necessário para a síntese oxidativa do ATP; mesmo efeito tem o  $H_2S$  que pode se formar, em condições de anoxia. O 2,4-dinitrofenol, desacopla o transporte eletrônico da síntese de ATP, isto é, não permite que a energia disponível no processo de transferência de elétrons seja armazenada como composto rico energeticamente; em qualquer das situações supra citadas, resulta uma diminuição na absorção.

#### i. Fatores interiônicos

##### i.1. Seletividade

Essa seletividade de absorção, decorre do fato de um vegetal absorver sempre, em primeiro lugar, seja pela

raiz ou por outro tecido, cátions monovalentes ( $K^+$  por exemplo) para depois dessa aparente preferência ocorrer a absorção e acúmulo de íons divalentes ou polivalentes, como  $Ca^{2+}$  ou  $Mg^{2+}$ . Relações semelhantes ocorrem entre ânions  $Cl^-$ ,  $Br^-$ ,  $NO_3^-$ , em comparação a  $SO_4^{2-}$ , por exemplo.

### i.2. Absorção desigual de ânions e cátions

Além de discriminar entre ânions e entre cátions, as células podem escolher diferentes quantidades de ânions e cátions de um mesmo sal. Isto é particularmente observável, quando  $K^+$ , ou outro cátion facilmente assimilável aparece como parte de um sal de ânion divalente ou lentamente absorvido. Inversamente, se ânions do tipo do  $NO_3^-$  ou  $Cl^-$  compõem um sal com um cátion de absorção difícil como  $Ca^{2+}$  ou  $Mg^{2+}$ , a acumulação do ânion prevalece sobre a do cátion.

Naturalmente, é impossível a absorção de íons de uma só carga, deixando no meio íons de carga oposta, pois isto acarretaria o desenvolvimento de campos elétricos. É necessário preservar o balanço eletrônico de ânions e cátions, dentro e fora da célula. Uma absorção excessiva de cátions sobre ânions deve ser acompanhada de alterações da composição iônica da célula e nutrientes, de modo a manter a neutralidade elétrica. Um modo de conseguí-lo é a produção de novos íons orgânicos, pela célula, como ácidos orgânicos, de modo a efetuar a correção. Os ânions dos ácidos orgânicos permanecem na célula, servindo para balancear os cátions absorvidos enquanto íons  $H^+$  passam para o meio externo, compensando a absorção destes cátions, ou sua saída do meio externo.

No caso da excessiva absorção de ânions, estes mesmos ácidos orgânicos desaparecem na quantidade necessária à compensação. O balanço iônico no meio externo é mantido com íons carbonato e hidroxila. A planta dispõe de um mecanismo metabólico flexível, permitindo-lhe a adaptação às variações do meio.

### i.3. Antagonismo iônico

A composição iônica do meio nutriente afeta não só

a absorção e acúmulo de íons isolados, mas também a permeabilidade das membranas protoplasmáticas à água e solutos não ionizados. Se uma planta ou tecido é posta em solução de um único sal mineral, verifica-se que a permeabilidade do tecido a outros materiais, com frequência é profundamente alterada e a solução é dita não balanceada. Em uma solução contendo dois sais, cada um dos quais afetaria profundamente a permeabilidade se estivesse isolado, esta pode ser mantida em nível normal. Estes efeitos, devido às interações mútuas entre sais e seus íons sobre a permeabilidade, são conhecidas como antagonismo iônico.

O caso melhor estudado, é o que envolve os cátions monovalentes  $K^+$  e  $Na^+$  e o divalente  $Ca^{++}$ , através da perda de pigmentos, em fragmentos de raízes de beterraba. Estes pigmentos vermelhos, estão contidos nos vacúolos; quando os fragmentos são colocados em água destilada, os pigmentos passam para fora em níveis tão lentos, que são dificilmente detectados. Entretanto, se se empregar uma solução diluída de  $NaCl$ , ocorre uma rápida difusão dos pigmentos para a água (aumento de permeabilidade da membrana); ao se transferir os fragmentos para uma solução diluída de  $CaCl_2$  acrescentada à de  $NaCl$ , a saída dos pigmentos de novo é reduzida, sendo que os cátions  $Ca^{2+}$  antagonizam o efeito do aumento da permeabilidade da membrana causado por  $Na^+$ . Além desse, outro caso clássico é o verificado entre  $Ca^{2+}$  e  $Cu^{2+}$ .

O fenômeno tem várias manifestações. Células ou tecidos sobrevivem muito mais tempo em soluções balanceadas, contendo cátions mono e divalentes, do que em solução de cátions monovalentes só, ou divalentes só. Não se atinge o crescimento ótimo de plantas em soluções nutritivas qualitativamente completas, porém com preponderância de uma espécie de cátion, devido ao antagonismo. Provavelmente, estas manifestações são devidas aos distúrbios de permeabilidade das membranas.

Esta influência dos cátions sobre as membranas, sugere que elas sejam, em parte, composta por substâncias de caráter aniônico. Isto seria verdadeiro, se as mem-

branas fossem composta em parte de moléculas fosfolipídicas, que se ionizam para formar ânions orgânicos. Uma sugestão sobre como é o mecanismo pelo qual os íons agem, influenciando a permeabilidade das membranas, seria que os íons monovalentes, dispersam ou diminuem as forças de coesão entre moléculas adjacentes componentes das mesmas, enquanto cátions polivanetes teriam efeito oposto, ligando mais intimamente estas moléculas. O antagonismo iônico, pode ser considerado um caso particular de inibição.

#### i.4. Inibição competitiva e não competitiva

Trata-se da diminuição na quantidade de um elemento absorvido, devido à presença de outro; diz-se que é competitiva, quando os dois elementos, competem pelo mesmo sítio do carregador e não competitiva, quando a ligação se faz em sítios diferentes. Um exemplo tradicional da inibição competitiva, é dada por altas concentrações de potássio no meio e seu efeito na absorção de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , que pode causar deficiência dos últimos e queda na produção, como acontece em culturas mais exigentes em  $\text{K}^+$  na adubação (algodoeiro, batatinha, bananeira, cafeeiro, laranjeira); a inibição competitiva pode ser eliminada, mediante o aumento do íon cuja absorção está sendo prejudicada, em consonância com a equação de Michaelis-Menten. A interação entre íons, depende basicamente da disponibilidade e da especificidade dos pontos de união dos transportadores. Se existirem suficientes pontos de união, não chega a existir ou a se manifestar a interação e os íons compostos de união comum são absorvidos com a máxima eficiência. Assim, se um íon tiver um local altamente específico, sua absorção não será afetada pela presença de outros.

#### i.5. Velocidade diferencial de absorção

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:  $\text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$

além disso, a velocidade de um elemento cresce com sua absorção no meio externo.

### 1.6. Sinergismo iônico

Ao contrário do antagonismo iônico, a presença de um íon pode aumentar a absorção de outro, sendo exemplos dessa interação, o fato da presença de  $Mg^{2+}$ , acelerar a entrada de  $H_2PO_4$ , enquanto que  $Ca^{2+}$  em baixas concentrações, aumenta a absorção de  $K^+$ . Em plantas cítricas, aplicações foliares de Zn e Mn aumentam as concentrações desses nutrientes nas folhas novas, enquanto as de Zn, em qualquer combinação com N, aumentam significativamente as do micronutriente.

A literatura apresenta referências à toxidez de sais monovalentes e ao efeito benéfico do cálcio, que se dizia contrariar os efeitos prejudiciais, dos sais alcalinos.

Tecidos vegetais sadios e íntegros, em presença de cálcio absorvem íons de modo unidirecional, havendo pouco ou nenhum efluxo, sendo o plasmalema altamente impermeável à difusão de íons inorgânicos. Assim, a presença de  $Ca^{2+}$ , em baixas concentrações, estimula a absorção de outros íons; trata-se do chamado "efeito Viets". Além disso, o  $Ca^{2+}$ , contrabalança em parte, o efeito desfavorável da alta concentração de  $H^+$  no meio, que provoca diminuição na absorção de elementos e mesmo perda de outros, da planta para o meio. Esses efeitos podem ser explicados, admitindo-se que o  $Ca^{2+}$ , seja indispensável, para manter a estrutura e o funcionamento normais das membranas celulares, em especial o plasmalema. Dessa forma, aplicações com produtos contendo cálcio, garantem, em outras coisas, a absorção adequada dos elementos e através disso, a produção.

### 1.7. Mobilidade

Em 1957, BUKOVAC & WITWER, classificaram os íons em móveis (Rb, Na, K, P, Cl e S), parcialmente móveis (Zn, Al, Mn, Fe, Mo) e imóveis (Ca, Sr, Ba, Mg). As velocidades de absorção foliar de nutrientes, baseadas no tempo necessário para a absorção de 50% do total de nu-

triente, foram relatados por WITTWER (1964), ou seja:

NUTRIENTE	TEMPO ABSORÇÃO	NUTRIENTE	TEMPO ABSORÇÃO
Uréia	1/2 a 2 horas	Cl	1 a 4 dias
K	10 a 24 horas	P	5 a 10 dias
Mg	10 a 24 horas	S	5 a 10 dias
Ca	10 a 94 horas	Fe	10 a 20 dias
Mn	1 a 2 dias	Mo	10 a 20 dias
Zn	1 a 2 dias		

O diâmetro iônico e a capacidade de hidratação dos íons, influem também em sua mobilidade. Cada íon desenvolve ao seu redor, um campo de força proporcional à sua valência, capaz de adsorver uma capa de moléculas de água, hidratando-se. Assim, os cátions de maior valência hidratam-se mais, funcionando, na difusão, como partículas maiores. É o caso, por exemplo, de  $Ca^{2+}$  e  $Na^{+}$ . São ambos de igual diâmetro, mas  $Ca^{2+}$  hidrata-se muito mais que  $Na^{+}$  e assim caminha com menor velocidade. Para cátions de mesma valência, as intensidades dos campos de força, são inversamente proporcionais ao diâmetro, assim, os íons de menor diâmetro hidratam-se mais do que os de maior diâmetro. Estas propriedades, estão engajadas na classificação de Wittwer. Os nutrientes móveis são todos monovalentes, exceto P e S; os parcialmente móveis são divalentes e os imóveis também.

#### j. Modo de aplicação das pulverizações foliares

As pulverizações grosseiras, que produzem gotas muito grandes, que molham em excesso a folhagem, provocam o gotejamento excessivo e escorrimento da solução para o solo. Há má distribuição nas folhas e desperdício de nutrientes, que são aproveitados pelas folhas. Além disso, a lavagem, pela pulverização grosseira, retira nutrientes das folhas.

#### k. Ângulo de contato

Para que a penetração do elemento tenha lugar, é necessário que a superfície foliar seja molhada. A capacidade de uma solução para molhar a superfície, é fun-

ção do ângulo de contato, que depende da tensão superficial e da natureza da superfície em questão. Os agentes molhantes ou adesivos ou surfacantes, aumentam o contato desejado; por exemplo, a absorção de uréia pelas folhas de macieira é aumentada em mais de 100%, pela adição de um derivado de polioxiálquileno monooleato.

## B. Fatores internos

### a. Superfície foliar

Os tricomas ou pelos, formados de células com grande volume de citoplasma, podem em princípio, ajudar no processo de absorção, pois com sua presença, aumentam a superfície de contato da folha, com a solução.

Sabe-se que na superfície abaxial da folha, o revestimento cuticular é mais delgado, e aí, muitas vezes predominam as aberturas estomatais; por esse motivo, deve-se esperar maior absorção das soluções quando aplica-se nessas superfícies foliares. Se o período de contato da folha com a solução for, entretanto, suficientemente longo, a diferença na velocidade de absorção pelas duas superfícies tende a desaparecer.

Além disso, observa-se que a absorção foliar é maior nas regiões da nervura principal e nas margens das folhas, sendo menos intensa no ápice e base.

### b. Cutículas

#### b.1. Composição química

As ceras e a cutina são substâncias lipídicas, embora possuam em certo grau, propriedades polares em virtude dos grupos  $-OH$  e  $-COOH$  de suas moléculas. Por isso, a penetração foliar de nutrientes em solução aquosa é tanto mais dificultada, quanto maior a quantidade de ceras e de cutina presentes na cutícula.

A composição química das ceras também influi consideravelmente na absorção, as ceras ricas em compostos

triterpenóides, como o ácido ursólico, são altamente hidrorrepelentes, ao passo que as ricas em ésteres são mais hidroafins, permitindo a mobilidade da cutícula e a conseqüente penetração de íons.

#### b.2. Hidratação da cutícula

O estado da hidratação da folha tem grande importância para a absorção de nutrientes, pois as cutículas bem hidratadas são bastante permeáveis à água e aos hidrossolutos, ao passo que diminuindo a hidratação da cutícula, diminui a sua hidropermeabilidade. As cutículas desidratadas, de folhas murchas são quase impermeáveis e as das folhas mortas, praticamente desidratadas, são impermeáveis à penetração de soluções aquosas. A água, por outro lado, é indispensável para que as células guardas se abram, o que oferece a cavidade estomática para o processo de absorção, desde que seja relativamente baixa a tensão superficial da solução.

#### c. Idade

Muitos dados existentes na literatura mostram que, aumentando a idade da folha, diminui a absorção. A resistência oferecida pelas folhas, à penetração da solução, parece resultado do desenvolvimento muito grande da cutícula. Além disso, a folha velha pode diferir da nova em aspectos tanto morfológicos quanto metabólicos, os quais, por sua vez, podem influenciar a absorção, a intensidade fotossintética ou respiratória ou a maior síntese de proteína que poderia funcionar como depósito para o N contido na solução.

As folhas mais novas estão em alta atividade metabólica, consumindo nutrientes nos seus processos de síntese. A penetração dos nutrientes no apoplasto é também mais facilitada, porque nestas folhas a cutícula é mais fina e possui menor quantidade de ceras e cutina, em contraste com uma quantidade relativamente grande de pectinas, que são altamente hidrófilas.

#### d. Estado iônico interno

Tal como acontece na absorção pelas raízes, a capacidade de absorção foliar, em igualdade de condições, pode ser limitada pela quantidade do elemento já contido nas folhas. Assim, sabe-se que as plantas deficientes em fósforo, absorvem o elemento mais rapidamente do que as cultivadas em meio rico em fósforo. É verdadeiro que altas intensidades de nutrientes e altos níveis de fosfato no meio radicular, diminuem a porcentagem de fosfato nas raízes e nos frutos, oriunda da aplicação foliar. Entretanto, as quantidades absolutas de fosfato absorvido são muitas vezes maiores, devido a uma superfície foliar maior. Um alto nível de fósforo, no sistema vascular, pode também retardar o transporte a partir das folhas, em vez de influenciar a absorção propriamente dita.

#### e. Crescimento

Sem dúvida, o crescimento pode influenciar profundamente sobre a absorção de sais. O crescimento de um tecido ou planta, pode aumentar a superfície, o número de células, assim como, o número de moléculas transportadas; fatores como esse estimulam a absorção. Por outro lado, o volume de água contido em uma célula, à medida que esta cresce, pode diluir uma maior concentração de sais e incrementar a absorção.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- ALEXANDER, A. **Foliar fertilization.** Dordrecht, Martinus Nijhoff, 1986. 426p.
- BAKER, D.A. **Fenômenos de transporte en las plantas.** Barcelona, Omega, 1980. p.4-20.

- BENNETT-CLARK, T.A. Salt accumulation and mode of action of auxin: a preliminary hypothesis. In: WAIN, R.L. & WIGHTMAN, F. **Chemistry and mode of action of plant growth substances**. London, Butterworths, 1956. p.284-91.
- BENSON, A.A. The cell membrane: a lipoprotein monolayer. In: BOLIS, L. & PETHICA, B.A. **Membrane models and the formation of biological membranes**. Amsterdam, North-Holland, 1968. p.190-202.
- BERNSTEIN, L. & NIEMAN, R.H. Apparent free spaces of plant roots. **Pl. Physiol.**, 35: 589-98. 1960.
- BIDDULPH, O. Translocation of inorganic solutes. In: STEWARD, F.C. **Plant physiology, a treatise**. New York, Academic, 1959. p.553-605.
- BIDWELL, R.G.S. **Plant physiology**. New York, Macmillan & Collier Macmillan, 1979. p.287-303.
- BOULD, C. & HEWITT, E.J. Mineral nutrition of plants in soils and in culture media. In: STEWARD, F.C. **Plant physiology, a treatise**. New York, Academic, 1959. p.15-137.
- BRIGGS, G.E. Some aspects of free space in plant tissues. **New Phytol.**, 56: 305-24, 1957.
- BRIGGS, G.E. & ROBERTON, R.N. Apparent free space. **Ann. Rev. Pl. Physiol.**, 8: 11-30, 1957.
- BUKOVAC, M.J. & WITWER, S.H. Absorption and mobility of foliar applied nutrients. **Pl. physiol.**, 32: 428-35, 1957.
- CAMARGO, P.N. & SILVA, O. **Manual de adubação foliar**. S. Paulo, Herba, 1975. 258p.
- CLARKSON, D.T. Ionic relations. In: WILKINS, M.B. **Advanced plant physiology**. London, Pitman, 1984. p.277-97.

- COLL, J.B.; RODRIGO, G.N.; GARCIA, B.S.; TAMES, R.S. **Fisiologia vegetal**. Madrid, Piramide, 1980. p.152-209.
- CROWDY, S.H. & TANTON, T.W. Water pathways in higher plants. I. Free space in wheat leaves. **J. exptl. Bot.**, 21: 102-11, 1970.
- DEVLIN, R.M. **Fisiologia vegetal**. Barcelona, Omega, 1975. p.256-80.
- EPSTEIN, E. **Nutrição mineral das plantas**. São Paulo, Licros Técnicos e Científicos, 1975. 341p.
- EPSTEIN, E. & HAGEN, C.E. A kinetic study of the absorption of alkali cations by barley roots. **Pl. Physiol.** 27: 457-74, 1952.
- EPSTEIN, E.; RAINS, D.W.; ELXAM, C.E. Resolution of dual mechanisms of potassium absorption by barley roots. **Proc. Nat. Acad. Sci.**, 49: 684-92, 1963.
- FRANKE, W. Mechanisms of foliar penetration of solutions. **Ann. Rev. Pl. Physiol.**, 18: 281-301, 1967.
- FRANKE, W. The basis of foliar absorption of fertilizers with special regard to the mechanisms. In: ALEXANDER, A. **Foliar fertilization**. Dordrecht, Martinus Nijhoff, 1986. p.17-26.
- GAUCH, H.G. **Inorganic plant nutrition**. Stroudsburg, Dowdon, Hutchinson & Ross, 1972.
- GREULACH, V.A. **Plant Function and Structure**. New York, Mcmillan & Collier Macmillan, 1979. p.173-197.
- HEWITT, E.J. & SMITH, T.A. **Plant mineral nutrition**. London, English Universities, 1974. p.29-81.
- HOPE, A.B. & STEVENS, P.G. Electric potential differences in bean roots and their relation to salt uptake. **Aust. J. sci. Res.**, 3: 335-43, 1952.

- MALAVOLTA, E. Absorção e transporte de ions e nutrição mineral. In: FERRI, M.G. (Coord.). **Fisiologia vegetal**. São Paulo, EPU/EDUSP, 1979. p.77-97.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Ceres, 1980. p.44-95.
- MARODER, H.L. Traslado de substâncias organicas. In: SIVORI, E.M.; MONTALDI, E.R.; TASO, O.H. **Fisiologia vegetal**. Buenos Aires, Hemisferio Sur, 1980. p.373 - 91.
- MAZLAK, P. **Fisiologia vegetal: nutrición y metabolismo**. Barcelona. Omega, 1976. p.311-47.
- MONTALDI, E.R. Metabolismo energético. In: SIVORI, E. M.; MONTALDI, E.R.; CASO, O.H. **Fisiologia vegetal**. Buenos aires, Hemisfério Sur, 1980. p.57-117.
- MONTALDI, E.R. & CASO, O.H. Estructura y funcion de la celula vegetal. In: SIVORI, E.M.; MONTALDI, E. R.; CASO, O.H. **Fisiologia vegetal**. Buenos Aires, Hemisferio Sur, 1980. p.17-39.
- MITCHEL, P. Chemi-osmotic coupling in oxidative and photosinthetic phosphrylation. **Biol. Rev.**, 44: 445-502. 1966.
- RESNIK, M.E. Nutricion mineral. In: SIVORI, E.M.; MONTALDI, E.R.; CASO, O.H. **Fisiologia vegetal**. Buenos Aires, Hemisferio Sur, 1980. p.245-85.
- SINGER, S.J. & NICOLSON, G.L. The fluid mosaic model of cell membranes. **Science**, 175: 720-31, 1972.
- SORIANO, A. & MONTALDI, E.R. Relaciones hidricas. In: SIVORI, E.M.; MONTALDI, E.R.; CASO, O.H. **Fisiologia vegetal**. Buenos Aires, Hemisferio Sur, 1980. p.319-73.

SUTCLIFFE, J.F. & BAKER, D.A. **Plant and mineral salts.**  
London, Edward Arnold, 1974. 59p.

## TRANSPORTE DE NUTRIENTES NA PLANTA

*João Domingos Rodrigues*<sup>1</sup>  
*Selma Dzimidas Rodrigues*<sup>1</sup>  
*José Figueiredo Pedras*<sup>1</sup>

### I. INTRODUÇÃO

As plantas, além de desempenhar o papel de sintetizadores primários de compostos orgânicos, evoluíram como acumuladores seletivos de íons minerais, estando normalmente a região de acúmulo separada espacialmente das partes fotossintéticas, havendo a necessidade de transporte dos solutos inorgânicos às folhas ou então, a cessão desses diretamente aos órgãos fotossintetizadores.

Plantas em crescimento exigem intensa circulação de grande variedade de substâncias, para a manutenção de suas atividades metabólicas. Assim, os solutos, bem como a água, são translocados à longa distância através dos sistemas condutores das plantas sendo, no entanto, a movimentação de nutrientes menos conhecida do que a da água. Existem dois principais caminhos para o transporte de solutos em plantas vasculares, um dos quais compreende um citoplasma contínuo (simplasto), incluindo aqui o transporte célula a célula, em pequenas distâncias, via plasmodesmos e o transporte a longas distâncias, através do floema, sendo a direção predominante do fluxo, dentro deste último sistema, das regiões fotossinteticamente

---

<sup>1</sup> Prof.(a) Dr (a) do Departamento de Botânica - IBBMA - UNESP - Campus de Botucatu.

ativas ou de altas concentrações de carboidratos, no crescimento ou no estabelecimento de novas reservas. O segundo caminho é constituído de compartimentos extra-protoplasâmicos da planta (apoplasto), constituído particularmente do fluxo de água, íons e certas substâncias orgânicas, no sentido ascendente, via xilema, ligando a raiz à superfície transpirante da parte aérea.

É óbvia a necessidade de troca contínua de solutos entre esses dois tipos de tecidos. Entretanto, em certas regiões da planta, essa espécie de intercâmbio ocorre mais intensamente, sendo fundamental no transporte à longa distância, via floema ou xilema, e assim na nutrição dos órgãos aos quais esses tecidos condutores servem.

No passado, existia uma tendência em considerar a translocação nas plantas, meramente como um movimento ascendente de água e sais minerais no xilema e movimento descendente de assimilados fotossintéticos no floema. Hoje, sabemos ser essa afirmação, uma simplificação do processo, visto análises de seiva do xilema mostrarem a presença de compostos orgânicos, enquanto que íons inorgânicos podem mover-se no floema. Além de descer até as raízes pelo floema, alguns açúcares produzidos em folhas fotossintetizantes, podem também moverem-se acima dessas folhas, na direção de folhas jovens, ápices em desenvolvimento ou tecidos reprodutores, por vasos de floema.

O quadro se complica mais ainda, pelo fato de que os minerais e produtos orgânicos, não se submetem a movimentos em uma simples direção, estando sujeitos à circulação e redistribuição. Assim, quando o fornecimento original de minerais que ascendem no caule pelo xilema é adequado ao suprimento das folhas e parte aérea, o excesso é translocado novamente até as raízes.

A necessidade de uma compreensão clara dos mecanismos de translocação, dentro das plantas, tem base econômica, tendo em vista o interesse corrente na aplicação foliar de fertilizantes, herbicidas e reguladores de crescimento, substâncias que são comumente usados na agricultura, dependendo do seu efeito na translocação.

A tabela 1 apresenta algumas das complexidades da translocação em uma planta, onde fica claro que muitos elementos são translocados numa forma química, diferente da que são comumente produzidas ou absorvidas (RICHARDSON, 1976).

Dentro da filosofia do entendimento dos processos de translocação é necessário reconhecer que o xilema, câmbio e floema estão associados intimamente, ocorrendo frequentemente, transporte lateral de solutos do xilema ao floema e vice-versa. Os dois principais problemas da translocação, que atraem a atenção dos pesquisadores é reconhecer primeiro o caminho de substâncias específicas e segundo, o mecanismo de forças motrizes, responsáveis pelo movimento. Portanto, como o nosso conhecimento na área de transporte de nutrientes é limitado, tendo em vista a complexidade dos sistemas estudados, nem sempre podem dar-se respostas satisfatórias, no momento presente, a todos os problemas existentes.

## II. TRANSPORTE DE NUTRIENTES MINERAIS ATÉ O XILEMA

Os íons absorvidos no córtex da raiz, movimentam-se preferencialmente no sentido do cilindro central. Aqueles que não ficam retidos por nenhuma célula, ao longo desse trajeto, chegam ao xilema, translocando-se para o ápice da raiz. Existem duas idéias, sobre qual caminho seguem os íons absorvidos pela córtex, na sua rota até o xilema. De acordo com modelos, os íons seriam absorvidos no citoplasma das células exteriores do córtex, transportados de célula a célula pelo simplasto, e liberado no interior do tecido condutor. Segundo a outra teoria, os íons moveriam-se livremente pelas paredes celulares da epiderme e da córtex (apoplasto), até a endoderme, onde seriam absorvidos e então, via simplasto, translocado até o xilema.

Existe ainda discrepância de opiniões, sobre o movimento simplástico, se os íons absorvidos pelas células do córtex seguem a rota do tonoplasto ao vacúolo ou

Tabela 1. Algumas substâncias translocadas na planta.

Substância	Lugar de entrada ou produção	Forma na qual a substância é translocada	Regiões da planta na qual a substância é necessária
Água	Raízes caules folhas	Água	Planta toda
Nitrogênio	raízes (como $\text{NO}_3^-$ ou $\text{NH}_4^+$ )	Aminoácidos, amidas, outros compostos nitrogenados, raramente como peptídeos e alcalóides, raramente como nitrato.	planta toda
Fósforo	Raízes ( $\text{PO}_4^{3-}$ )	Fosfato inorgânico e fosforilcolina no xilema e fosfatos inorgânicos e açúcares fosfatados no floema.	Tecidos jovens, saída de células velhas, metabolicamente ativas.

Continua.

Tabela 1. Continuação.

Substância	Lugar de entrada ou produção	Forma na qual a substância é translocada	Regiões da planta na qual a substância é necessária
Enxofre	Raízes ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	Sulfatos inorgânicos, metionina e glutation.	Caule, raízes, folhas jovens remobilizado durante a senescência (quebra protéica)
Ferro	Raízes ( $\text{Fe}^{2+}$ ou $\text{Fe}^{3+}$ )	Possivelmente na forma quelada	Planta toda, absorvida ao longo dos vasos da folha.
Cálcio	Raízes	$\text{Ca}^{2+}$ íon (relativamente imóvel no floema)	Tecidos meristemáticos e diferenciados, acumulado em folhas velhas
Magnésio	Raízes	$\text{Mg}^{2+}$ íon	Folhas. Saída de folhas velhas em direção às sementes.
Potássio	Raízes	$\text{K}^+$ íon	Tecidos meristemáticos, botões, folhas e raízes.

Tabela 1. Continuação.

Substância	Lugar de entrada ou produção	Forma na qual a substância é translocada	Regiões da planta na qual a substância é necessária
Cobre Zinco Molibdênio	Raízes	Cu <sup>++</sup> íon Zn <sup>2+</sup> íon Mo <sup>6+</sup> ou Mo <sup>3+</sup>	Planta toda. Metabolismo, particularmente em raízes
Manganês Boro	Raízes	Mo <sup>2+</sup> íon B <sub>3</sub> <sup>3-</sup> ou B <sub>4</sub> O <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Folhas e sementes
Açúcares	Folhas e outros órgãos verdes	Principalmente como sacarose. Ocasionalmente como rafinose, estaquiose e verbascose. Hexoses não são translocadas.	Raízes, tecidos, em diferenciação e meristemáticos; frutos, tecidos de reservas.

dentro do citoplasma, através dos plasmodesmos. No primeiro caso, esses íons ficariam acumulados nos vacúolos das células do córtex, antes de sua transferência ao xilema. Atualmente, predomina a idéia desta incorporação nos vacúolos não ser necessária, além de tornar os íons menos aptos na sua movimentação em direção ao xilema, pois haveria competição entre os citoplasmas e os vacúolos pelos quais os íons se movimentam. Por outro lado, o fato do íon se acumular no vacúolo não é irreversível, pois em condições de deficiência, ao diminuir sua concentração no citoplasma, este íon pode ser liberado, chegando depois à parte aérea.

Uma vez no cilindro central, os íons deixam o simplasto entrando nos vasos não vivos do xilema. O lugar de saída do simplasto é o plasmalema das células do cilindro central, não se sabendo se esta liberação do íon do simplasto ocorre de maneira uniforme no cilindro central ou se é restrita a certas regiões do mesmo. Saído do simplasto, os íons se movem através das paredes das células do cilindro central até o xilema e aí para cima, até a parte aérea, seguindo principalmente a corrente transpiratória.

Existem duas hipóteses para explicar a transferência de sais do simplasto do cilindro central ao xilema, uma espécie de espaço externo ou espaço livre. Uma delas propõe a existência de sistemas específicos de bombeamento, cuja natureza poderia ser similar aos dos transportadores que absorvem íons nas células da epiderme e da córtex. A outra, sugere que as células vivas, adjacentes ao xilema, são incapazes de reter sais como aquelas da superfície mais externa da raiz, devido às condições de baixos níveis de  $O_2$ , sendo então os sais liberados ao xilema. No entanto, deve-se afirmar que até o momento, não se demonstrou deficiência de  $O_2$  no cilindro central da raiz, ainda que a suposição pareça aceitável. Se as condições de anaerobiose são reais, conclui-se pela existência de um mecanismo ativo de passagem de íons das células vivas do córtex ao xilema, ou então numa liberação iônica, pura e simples, ditada pela incapacidade de absorção das células do córtex. Apesar do pouco espaço, deve-se registrar que drogas que inibem a síntese

de ATP, o qual está intimamente relacionado com a circulação citoplasmática, podem inibir a movimentação de íons até o xilema, mesmo estando este íon já absorvido. (RESNIK, 1980).

De uma forma ou de outra, os íons aportam no xilema e aí, movendo-se para cima, atingem as nervuras terminais das folhas, ficando livres para caminhar nos espaços livres das células do mesofilo. Como as células da córtex da raiz, as do mesofilo foliar acumulam íons da solução que as banha, por transporte ativo (SMITH & EPSTEIN, 1964a, b). Logo, os íons antes de atingirem o citoplasma da célula foliar, devem ser absorvidos pelo menos duas vezes, por mecanismos de transporte: primeiro pela célula radicular e segundo por uma célula da folha. No citoplasma de uma célula foliar, os íons movem-se pela rota do simplasto, de uma célula para outra.

### III. MECANISMOS DE TRANSPORTE DE ÍONS NO XILEMA

Existe relação entre a subida de água no xilema e a translocação salina. Assume-se que os íons minerais deslocam-se no xilema, no sentido ascendente, em direção às folhas, juntamente com a coluna de água. Assim, dois mecanismos que tentam explicar a ascensão de água nas plantas, servem para nos fazer entender como os sais minerais chegam às folhas. Primeiro, devemos definir se a planta está ou não transpirando. Quando a planta estiver transpirando esta é responsável pela quase totalidade do fluxo de água através do xilema, até a parte aérea, e por conseguinte, responsável pela subida de minerais. Quando as plantas não transpirarem, estando em solo molhado, a água entrará nas raízes por diferença de potencial em virtude do baixo potencial osmótico das células do xilema, criará uma forte pressão radicular que impulsionará para cima água e sais minerais. No primeiro caso, a ascensão ocorrerá através da chamada teoria da tensão-coesão-adesão, proposta inicialmente por Dixon e no segundo caso, por intermédio da chamada pressão radicular.

## a. Teoria da coesão-tensão

Durante um dia típico, em que as plantas se encontram transpirando, o potencial total de água na planta é negativo, sendo menos negativo nas raízes e mais negativo na parte aérea. A água é translocada até as folhas, passando destas para a atmosfera, onde o potencial da água é muito mais negativo. Esta diferença, entre o potencial da água na folha e da atmosfera, é o responsável pela saída da água, na forma de vapor, da folha para a atmosfera, fenômeno conhecido como transpiração.

Logo, existe um gradiente de potencial hídrico entre a planta e a atmosfera, sendo a energia necessária para o movimento de água pelo xilema dado pela transpiração. Como consequência da perda de água desde o mesófilo aos espaços intercelulares e de sua difusão até a atmosfera, via estômatos, produz-se um déficit hídrico nas células mais externas do mesófilo das folhas, abaixando seu potencial água. Consequentemente, a água flui a favor do gradiente de potencial desde as células vizinhas mais internas, com potencial hídrico maior, até os mais externos que, como dissemos, encontram-se sob déficit hídrico. Este déficit hídrico propaga-se sucessivamente, até chegar a altura dos condutos do xilema, onde devido à sua natureza capilar e à ação das propriedades de coesão das moléculas de água entre si e em função da adesão às paredes celulares, juntamente com a existência desse déficit hídrico, provoca uma tensão (pressão negativa), capaz de elevar a coluna de água de forma contínua, desde o extremo inferior dos vasos na raiz até as folhas. Em função disso, a queda do potencial hídrico nos extremos inferiores do xilema, determina o fluxo hidráulico desde as células da estela da raiz e por propagação dos déficits hídricos, sucessivamente, no parênquima cortical, epiderme e solo.

As principais objeções a esta teoria, concentram-se na comprovação da existência dessa tensão negativa no xilema e na necessidade de nenhuma ruptura na coluna de água do xilema. A existência de tensões negativas no xilema, foi comprovada mais recentemente através da câmara de pressão (SCHOLANDER *et alii*, 1965). Com este método,

se pôde medir claramente a existência de tensões de -5 a -80 bares e valores mais negativos durante o dia que à noite. Sobre a integridade das colunas de água do xilema, submetidas às altas tensões, discute-se a necessidade de valores ao redor de 1300 bares para romper uma coluna de água em tensão num capilar, valores muito abaixo dos normalmente obtidos, de maneira experimental, para o xilema. Não podemos esquecer que, nem todo o xilema, se encontra ao mesmo tempo, em estado funcional de transporte e que a ruptura de alguns condutos, não afetam o conjunto. Não obstante, a possível existência de ruptura nas colunas de água, dos vasos maiores, pode ser reparada pela pressão radicular.

#### **b. Pressão radicular**

A subida da água e sais minerais pelo xilema, via pressão radicular, só ocorre quando a planta não estiver transpirando. Este fato, associado à existência de altos potenciais de água no solo, raízes com taxa respiratória ativa e xilema com baixo potencial osmótico, provoca grande entrada de água na estela, causando o aparecimento de forte pressão hidrostática no xilema da raiz, o que causa a expulsão da água e sais minerais no sentido ascendente até as folhas.

Como a pressão radicular resulta de concentração salina no xilema, maior que no meio externo, o bombeamento ativo de solutos deve ocorrer. No entanto, existem várias teorias no sentido de explicar o surgimento dessa pressão nas raízes, das quais a mais conhecida é a de CRAFTS & BROYER (1938), que colocam o fato das células do córtex absorverem ativamente os íons, estes caminharão por difusão, via simplasto, até as células do cilindro central, onde estas por estarem num meio mais pobre em oxigênio, não conseguem reter os íons, apresentando plasmalemas permeáveis, o que favorece o escape para as paredes celulares e vasos do xilema. Estes íons, são impedidos de se difundirem para trás até a solução externa, através do espaço da parede celular pela faixa caspérianas das paredes da endoderme.

O aspecto discutível da hipótese é de que a absorção ativa ocorre apenas nas células do córtex, ocorrendo acúmulo de íons no xilema, através de um transporte passivo, via simplasto. Como é que se daria a entrada de íons no xilema, depois da sua chegada na córtex? O problema do surgimento de pressão radicular, não foi ainda resolvido, tanto que vários outros estudos foram executados a respeito, como 'LAUCHLI (1967, 1968), LÜTTGE & LÄTTIES (1966), HYLMÖ (1953). Existem, no entanto, outras possibilidades de acumulação iônica nos vasos, que não incluem bombeamento ativo, onde células do parênquima do cilindro central excretam íons, por um processo semelhante ao de absorção através do plasmalema, mas na direção oposta, sendo então os vasos do xilema os recipientes desses íons (ANDERSON & REILLY, 1968; ARISZ, 1956; LAUCHLI et alii, 1971; SUTCLIFE, 1962; YU & KRAMER, 1967, 1969). Difícil fica conciliar esses dados, com o fato de que as células do cilindro central, tenham um papel meramente passivo, na transferência de íons para o xilema. No entanto, como conclusão, o xilema acumula íons em concentração superior ao do meio externo, de uma forma ou de outra, quando a planta não transpira, ocorrendo então a entrada de água no xilema, formando a pressão radicular.

#### IV. MOVIMENTO IÔNICO NO XILEMA

Há diferenças marcantes no grau de circulação dos diferentes nutrientes minerais, de modo que não existe um modelo único que caracteriza o movimento de íons dentro do xilema. Dessa forma, embora os íons se movam num mesmo vaso e através das mesmas forças, em essência eles diferem no grau de mobilidade dentro da planta como um todo. Isso reflete uma distribuição desigual de elementos, nas várias partes da planta, havendo necessidade de contínua absorção radicular de certos elementos, enquanto que para outros, uma absorção intermitente é o suficiente.

Uma vez que os minerais tenham atingido a raiz e

entrado nos condutos do xilema, são transportados pela corrente transpiratória até a parte aérea, sendo então absorvidos pelas membranas plasmáticas das células das folhas. A composição desse conteúdo xilemático varia com a natureza do meio externo, porém, geralmente observa-se que ela é uma solução relativamente simples, composta de água, sais minerais e com pequenas quantidades de aminoácidos, ácidos carboxílicos e substâncias de crescimento. A medida que essa solução ascende no caule, os íons vão sendo absorvidos pelos tecidos que rodeiam o xilema, especialmente pelo câmbio e assim a concentração de solutos nos elementos condutores reduz-se.

Por essa razão, as folhas mais altas de uma planta recebem menos sais, embora absorvam a mesma quantidade de água, que aquelas situadas mais abaixo. Apesar disso, o conteúdo de sais das primeiras tende a ser maior. Os pesquisadores, encontraram uma relação aproximadamente linear, entre o logaritmo da concentração de fósforo nas folhas e a posição destas nos caules de feijão. As folhas jovens recebem evidentemente uma quantidade adicional de sais, os quais provem das folhas mais velhas, via floema.

Dessa forma, em consequência do acúmulo seletivo, essa absorção essencial, seguida de um transporte de íons no xilema, a selva que banha o mesófilo através do apoplasto, apresenta uma composição diferente da que tem as células corticais da raiz. Considerando-se o  $K^+$ , este pode ser consideravelmente mais elevado do que na solução externa, enquanto que o  $Na^+$  pode reduzir-se a níveis muito baixos.

Considerando-se então a quantidade da solução do xilema, percebe-se que as maiores quantidades de cátions presente são de  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$ , enquanto que as de ânions são  $PO_4^{3-}$ ,  $Cl^-$  e  $SO_4^{2-}$  e em certas espécies  $NO_3^-$ . A presença de boro, cobre, zinco, manganês e ferro sugerem a mobilidade desses elementos, embora tenha se encontrado ferro quelado com citrato e dessa forma o transporte desses nutrientes, torna-se problemático em altos níveis de fosfatos e cálcio. Em relação aos solutos diluídos na solu

ção, deve-se considerar que a origem dos mesmos no xilema não é fácil de ser determinada, podendo provir de contaminações e trocas com os tecidos circundantes, bem como:

- . entrada a partir do ambiente e imediato transporte pelo xilema, sem modificações (os íons inorgânicos, na sua maior parte);
- . entrada a partir do ambiente, transformações metabólicas nas células radiculares e transporte dos produtos pelo xilema (fósforo e enxofre orgânicos; amidas e uréia; nitrogênio fixado em plantas noduladas);
- . transporte a partir de tecidos da raiz (mobilização de produtos de "pools", em stresses nutricionais);
- . ciclagem de solutos transportados até a raiz pelo floema e transferidos ao xilema, com ou sem metabolismo acessório (frações de  $K^+$ ,  $PO_4^{3-}$  e  $SO_4^{2-}$ ; ácidos orgânicos; solutos nitrogenados).

Então, todas as células vivas do tecido, não banhadas pela solução que representa o substrato mineral da planta, retiram os seus nutrientes do suprimento contido nos elementos condutores. Isto se aplica às células do tecido radicular, porções velhas e suberizadas e a todas as células da parte aérea, inclusive aquelas próximas dos elementos do xilema nos caules, ramos, pecíolos e pedúnculos. Tais células, retiram íons da solução do xilema, e ao fazê-lo, diluem a corrente transpiratória e frequentemente modificam bastante sua composição iônica.

As células de posição superior da raiz e do caule inferior, são as primeiras que fazem contacto com a solução que se move no xilema sendo a retirada seletiva que efetuam sobre os solutos especialmente importante, no efeito sobre a composição daquela. Juntamente com a seletividade dos processos responsáveis pela entrega inicial de íons ao xilema, essa retirada também seletiva, determina de modo saliente a composição da solução que vai para a parte aérea.

A baixa concentração de sódio na parte aérea de muitas plantas é devida, em larga escala, à retenção de elementos pelas células radiculares e à sua retirada do xilema por células do parênquima que flanqueiam-se no caule inferior, sendo que ocorre discriminação entre íons ao nível celular, existindo a possibilidade desse fato acentuar-se ao longo da rota de transporte. Inclusive, num trabalho clássico COLLANDER (1941), verificou que diferentes espécies vegetais diferiram muito no teor de sódio e potássio da parte aérea, mesmo cultivadas em soluções com concentrações iguais desses elementos.

Por outro lado, quando íons de dois elementos são tão semelhantes nas suas afinidades químicas que os mecanismos de transporte ao nível celular não conseguem separá-las, os mesmos assemelham-se na sua distribuição na planta, a longas distâncias; um exemplo dessa assertiva é a distribuição do potássio e rubídio, bem como de cálcio e estrôncio. Da mesma maneira, não há discriminação entre dois diferentes isótopos do mesmo elemento.

Sabe-se que as paredes de vasos e traqueídeos tem cargas negativas fixas, nas quais cátions fazem trocas, de acordo com sua concentração e afinidade pelos sítios carregados. Como consequência, os íons como o cálcio e o zinco, são fortemente adsorvidos nos sítios negativos devido à sua dupla valência positiva e assim ascendem, não somente por um simples mecanismo de fluxo massal, mas também em uma série de trocas. Este é de fato uma migração de superfície nas paredes dos elementos do xilema, os cátions sendo alternativamente absorvidos e deslocados dos sítios negativos, como uma coluna trocadora de cátions. Elementos de metais pesados, ferro especialmente, não são imobilizados nesses sítios de troca, porque se movem principalmente na forma de complexos orgânicos.

A afinidade de cátions monovalentes, por sítios de troca é muito menor que a dos bivalentes. Por isso, tal migração cromatográfica muda a composição da solução ascendente do xilema. Entretanto, é improvável que disso resulte em alto grau de seletividade, especialmente entre íons de mesma carga, como o cálcio e o magnésio. A concentração total da solução ascendente não é modifi-

cada por essas reações de troca catiônica, porque os mesmos em solução, ao serem absorvidos, deslocam quantidades equivalentes de outros.

Além disso, o movimento de alguns elementos no xilema pode ser diminuído por sua tendência a se precipitar, como ocorre na formação de fosfato férrico ou formação de quelado cítrico desse mineral. Existem outros exemplos de transporte de sais minerais em forma orgânica, como o enxofre que ascende na forma de aminoácidos sulfatados como metionina, cisteína, glutatión ou tripeptídeos; o fósforo, que é translocado como fosforilcolina, bem como nitrogênio, que aparece como amidas, aminoácidos e ureídeos. O emprego de agentes quelantes como EDTA (etileno diaminotetracetato), bem como citratos, malatos e oxalatos, podem acelerar o transporte de cátions, uma vez que esses compostos competem com os sítios de troca, complexando os cátions bivalentes em formas orgânicas e facilitando sua movimentação.

Também existem provas de que pode existir um transporte ativo de certos íons, em especial sódio, à medida que a corrente de transpiração se move através do xilema da raiz, sendo tais estudos conduzidos em milho, indicando que o sódio se acumula nas células modificadas do parênquima do xilema, as quais podem ser responsáveis pela regulação do conteúdo iônico da corrente transpiratória, quando esta deixa a raiz. Finalmente, um outro fator, que interfere na qualidade da seiva, com variação de movimentação de íon é o fato da flutuação sazonal do conteúdo mineral do xilema, sendo que nitrogênio, fósforo e magnésio atingem picos na floração, enquanto potássio o faz mais tarde.

## V. MOVIMENTO NAS FOLHAS

Uma vez ascendendo pelo xilema, os íons, cuja velocidade de movimentação variava por uma série de fatores, chegam às folhas. Estas podem então ser considerados sistemas fechados, que recebem solutos do xilema e em suas

primeiras fases do desenvolvimento, do floema. A perda, a partir do sistema, seria mediante exportação através do floema ou por processos tais como gutação, lixiviação e em certas plantas, mediante glândulas salinas excretoras. O conteúdo iônico observado pode mudar como resposta à variação do fluxo de entrada no floema ou no xilema, exportação para o floema ou perda através da cutícula.

A absorção de íons pelas células mesofílicas da folha, parece apresentar a mesma cinética que as da raiz, sendo inclusive insensíveis à luz, estando acoplados ao metabolismo energético dependente da fotossíntese. Uma vez que os íons são continuamente administrados à folha pela corrente transpiratória, geralmente, elas recebem concentrações superiores às necessárias para seu crescimento e metabolismo. Alguns íons em excesso acumulam-se em vacúolos das células mesofílicas, onde cumprem função osmótica, porém o excesso é habitualmente exportado pela folha pelo floema.

A transferência de íons do xilema até o floema, dentro da folha pode implicar em células de transferência, ou seja, aquelas polarizadas, cujas invaginações estão restritas às paredes dos elementos condutores terminais das paredes do xilema e do floema.

Além disso, parece que os íons são transportados com a água, no espaço livre, sendo então confinado às paredes celulares, porém, os minerais podem ser transportados através do plasmalema a compartimentos internos das folhas, por mecanismos de carreadores idênticos aos das raízes. A distribuição dos elementos K, Ca e P em folhas de milho, era pequena na lâmina foliar, sendo que a acumulação se fazia nos feixes vasculares da nervura central e pouco o era no mesófilo. Dentro das primeiras estruturas, o depósito se fazia na bainha dos feixes e no esclerênquima, localizados abaixo da epiderme. Tal comportamento concorda com o conceito de que a exportação de íons, dos vasos do xilema, em direção lateral é alta.

## VI. ENTRADA E SAÍDA DE NUTRIENTES NO FLOEMA

O carregamento do floema é um processo que ocorre na região de produção de assimilados, pelo qual a maioria das substâncias a serem translocadas, são liberadas seletivamente no interior dos tubos crivosos

O sistema vascular das folhas, é altamente especializado para esse fenômeno, bem como o transporte de solutos. As nervuras principais sofrem uma série de sucessivas ramificações, de tal forma que as células do mesófilo foliar nunca se localizam a uma distância maior que o diâmetro de 2 a 3 células do capilar mais próximo. As células companheiras dos tubos, podem apresentar o dobro do diâmetro dos tubos crivosos, bem como elevado conteúdo de ribossomas e mitocôndrias. ESAU (1967), propôs para essas células, o termo células intermediárias, que também apresentam um grande número de plasmodesmos entre elas e os elementos crivados. Além dessas, as folhas de muitas dicotiledôneas apresentam as células de transferência, que se caracterizam por elevado número de invaginações e pregas, aumentando a superfície para o transporte de solutos, sendo que nessas estruturas as mitocôndrias e aparelho de Golgi são numerosos. Essas células de transferências são geralmente polarizadas, sendo que as invaginações estão restritas às paredes que se comunicam com os elementos condutores terminais das paredes do xilema e do floema.

Há duas rotas para o transporte, uma pelo espaço livre, outra pelo simplasto. A rota apoplástica envolve o descarregamento de nutrientes, através do plasmalema das células do mesófilo, até o espaço livre (paredes celulares); o movimento aí é feito através de difusão, por todas as áreas do espaço livre e concentração por uma bomba em toda membrana celular que rodeie o complexo tubo crivado/célula companheira dos capilares; por sua vez, a rota simplástica confina os nutrientes no citoplasma de uma cadeia de células do mesófilo, via bainha dos feixes vasculares e parênquima floemático, para as células companheiras e elementos crivados, passando de célula para célula, através de plasmodesmos.

Dessa forma, a carga do floema necessita de um insumo energético. Esse fenômeno é muito seletivo, e ainda não conhecido em detalhes, embora esteja sob controle metabolico, uma vez que alguns inibidores respiratórios como dinitrofenol, oligomicina e fluoretos inibem o fenômeno podendo, no entanto, haver reversão pela adição de ATP. Também não se sabe com exatidão, em que momento da entrada no floema o AIP intervem, embora ele possa alterar a permeabilidade das membranas.

A saída de nutrientes para regiões metabolicamente ativas ou de reservas pode ser passiva até o apoplasto, embora esse caminho não seja encontrado em todos locais de consumo. Geralmente, o descarregamento se faz de modo semelhante à entrada no floema.

É fato que o conteúdo de nutrientes, principalmente a sacarose e a estaquiose está em maior concentração no complexo célula companheira/tubo crivado, do que no mesofilo circundante. Isso cria uma vetorização, com suprimento energético que dirigiria a translocação; dessa forma, o processo do carregamento do floema, parece ser capaz de gerar concentrações de soluto, na magnitude necessária para atingir os níveis de potencial osmótico e de potencial de pressão, observados nas plantas, durante a translocação. Modelos de sistemas de translocação baseados no fluxo de massa, fornecem sustentação teórica para o movimento de nutrientes por esse processo, ao longo de um gradiente de pressão.

A força motriz nesses modelos, origina-se da diferença entre a alta energia livre da água em redor dos tubos crivados e da baixa energia livre desta molécula dentro dessas estruturas. O impulso recebido pela água, na região de produção de assimilados e a retirada na extremidade de consumo, determinariam o movimento dos solutos no floema.

## VII. DIREÇÃO DO TRANSPORTE NO FLOEMA

Nas plantas verdes superiores, as raízes estando no escuro recebem assimilados que se originam das folhas

acima. O movimento principal dos elementos é descendente; entretanto, os solutos orgânicos podem mover-se para cima e para os lados, dependendo da localização do órgão exportador ou fonte, e do órgão recebedor ou reservatório. As folhas maduras são as fontes primárias, mas um tubérculo de batata brotando, também constitui uma fonte de metabólitos, os quais são exportados para o crescimento novo que constitui o reservatório. Sem considerar-se a localização seletiva, fonte é qualquer órgão ou tecido do qual o material orgânico se move pelo floema, sendo reservatório qualquer órgão ou tecido para o qual se dá o transporte. O fato de um órgão ou tecido, num dado momento, comportar-se como fonte ou reservatório, depende do seu conteúdo de material orgânico translocável, em relação ao de outras regiões.

Durante o crescimento das plantas, mudanças na direção do movimento do floema ocorrem naturalmente. HALE & WEAVER (1962), expuseram folhas de videira em crescimento, à  $\text{CO}_2$  marcado com  $\text{C}^{14}$ . Seis horas depois, verificou-se que o  $^{14}\text{CO}_2$  estava confinado à folha tratada, sendo que a folha nova, em expansão, estava usando o carboidrato produzido para o seu próprio consumo. Ao repetir o ensaio, com uma folha mais velha, a radioatividade aparecia também nas folhas mais novas, em crescimento rápido, situadas acima. Esses resultados mostram que as folhas novas, perto dos ramos em crescimento, usam os assimilados das folhas mais velhas inferiores, além daquelas que elas mesmas produzem, isto é, atuam como reservatórios. Quando amadurecem cessam de importar e tornam-se fontes, fornecendo assimilados para as folhas mais novas ainda em expansão, como também para outras regiões de reservatórios, principalmente os frutos.

As vezes, uma fonte, no caso uma folha madura, pode ser localizada entre dois reservatórios, uma folha nova em desenvolvimento, localizada acima e um fruto em crescimento, abaixo. Nesse caso, ocorre um movimento bidirecional no floema do caule, confirmado por vários autores. No entanto, existem controvérsias sobre se esse movimento bidirecional, ocorre dentro de um tubo individual de floema ou em canais floemáticos diferentes.

Geralmente, existe um gradiente de concentração positivo, para um determinado soluto, de um órgão fornecedor à um receptor. Tal gradiente de concentração pode ser mantido, infinitamente, pela contínua produção de solutos pela fonte e sua utilização pelo reservatório. Assim, açúcares produzidos nas folhas, via fotossíntese, são translocadas às raízes ou frutos, onde serão usados na respiração, assimilação ou acumulação depois de sua conversão a substâncias como amido, por exemplo. Esta sequência, mantém o gradiente de concentração de açúcares. Quando a translocação não se deve à existência de um gradiente de concentração, o movimento contínuo no órgão receptor acontece, devido à presença de energia metabólica ou talvez, alguma outra via. Juntamente com os açúcares, via floema, pode ocorrer retranslocação de um órgão a outro, de minerais, sempre no sentido do fluxo floemático, como de folhas velhas à folhas novas, de folhas maduras à meristemas apicais, flores, frutos e raízes, de pétalas à ovários em desenvolvimento, etc. Esta movimentação é pouco conhecida, envolvendo fatores outros como idade do órgão, nível de atividade metabólica deste, nutrição mineral adequada, potencial água satisfatório, luz e temperatura. Deve-se registrar aqui, a intensa mobilização de solutos, principalmente minerais, como potássio, fósforo e enxofre de folhas velhas para novas, talvez devido à baixa acumulação ativa de íons das primeiras ou então, como consequência da mais alta taxa de transpiração e grande atividade metabólica das segundas. A alta capacidade de mobilização de frutos em desenvolvimento e de sementes, bem como o efeito do déficit hídrico no transporte de nutrientes, tem sido demonstrado por numerosos experimentos, como os trabalhos de HAY et alii (1953), os quais encontraram que 60% do nitrogênio usado na formação de grãos de milho foram mobilizados de outros tecidos, sendo que destes, 60% vieram da folha e 26% do colmo. Os 40% do nitrogênio restante, foi absorvido e translocado diretamente do solo.

Como se sabe, é considerável a quantidade de íons que se movimentam nas plantas, através do floema. O mecanismo pelo qual esses minerais se movem é, presumivelmente, o mesmo pelo qual os açúcares são translocados. A maior parte dos sais que se acumulam nos órgãos de ar-

mazenamento, como frutos e tubérculos, chega via floema, diretamente das folhas.

Após uma pulverização foliar de íons minerais, uma parte dos sais absorvidos pelas folhas fica nessas retida, especialmente quando são jovens, translocando-se o resto para o floema. É bem conhecido o fenômeno de acúmulo de sais, pelos órgãos em crescimento, a partir de tecidos maduros; tal processo fisiológico não está ainda bem definido, estando talvez associado a possível acúmulo de sais nos vacúolos dos tecidos em crescimento ou então, utilização desses sais na síntese dos constituintes celulares, de maneira que a concentração de íons livres no citoplasma se reduz, levando o movimento de sais até esse local de baixa concentração, desde o floema, através das células adjacentes. Este mecanismo pode ser considerado similar àquele do movimento de sais através do córtex, em direção ao cilindro central da raiz. Os frutos, como transpiram pouco, recebem pouca água via xilema, sendo possível que parte do seu consumo hídrico seja obtido do floema, visto estar em desenvolvimento, sendo portanto, um grande reservatório.

A saída de nutrientes minerais das folhas de plantas decíduas, antes de sua abscisão, tem sido estudada por muitos autores, os quais geralmente demonstram a saída de nitrogênio, potássio, fósforo, enxofre, cloro, magnésio e ferro, enquanto que cálcio, boro, manganês e silício permanecem nas folhas velhas ou apresentam muito pouca mobilidade, mas saindo antes da queda desta. Durante o seu desenvolvimento, uma folha passa de importadora à exportadora de assimilados, alteração que se verifica a partir do ápice para a base do limbo foliar, em um período de poucos dias.

Enfim, o processo de translocação de nutrientes, a partir das folhas, parece ocorrer em função da redução do potencial osmótico, no complexo tubo crivado/ células companheiras, nas nervuras terminais do floema, até uma alta pressão de turgor ou hidrostática, suficiente para iniciar o movimento.

## VIII. MODELOS DE MOVIMENTO NO FLOEMA

Embora seja agricolamente importante, determinar-se qual proporção de uma planta faz parte da produção econômica, se folhas, frutos, tubérculos, etc, mesmo isto sendo estimulante para a pesquisa, muito pouco se sabe sobre esse fenômeno. Após trabalhos intensos, estabeleceu-se poucas regras para o movimento de solutos no floema, apesar de que os estudos, em sua maioria foram conduzidos em pequenas plantas, crescendo em solução nutritiva e que as regras para árvores são praticamente desconhecidas. As regras são as seguintes:

1. não ocorre movimento em folhas maduras, sendo este fato reconhecido como verdade universal. Quando uma folha em crescimento, alcança o estágio de exportadora, perto da metade de sua idade, permanece o resto de sua vida como fonte e mesmo em períodos de escuro ou de inanição, nunca torna-se um reservatório novamente. A única exceção é o estabelecimento de novo reservatório nesta folha, estranho à planta, como afídeos ou infecção de fungos.
2. folhas superiores translocam preferencialmente para o ápice caulinar, enquanto folhas inferiores às raízes. Em folhas intermediárias, a proporção de saída em duas direções, varia com o vigor do reservatório do ápice e da base.
3. remoção de fontes ou reservatório, altera o modelo de translocação, no sentido de compensar as perdas. A remoção das folhas superiores, faz com que as inferiores transloquem mais no sentido do ápice.
4. o movimento de translocação ocorre em linha reta, ao longo do floema, ocorrendo pouca difusão lateral.
5. reservatórios ativos são alimentados pelas fontes próximas. O conteúdo de uma maçã vem das folhas superiores do ramo onde encontra-se o fruto; as glumas contribuem com a maior quantidade de nutrientes para o crescimento do grão, vindo o restante da folha bandeira

ra e das reservas do caule; frutos crescem rapidamente quando abaixo existem folhas fotossinteticamente ativas. A remoção da fonte próxima, leva as plantas a comportarem-se, em função da translocação de nutrientes, conforme o definido na regra três.

## IX. O MECANISMO DO TRANSPORTE NO FLOEMA

O mecanismo do transporte de nutrientes pelo floema está sujeito a apreciável controvérsia. Progressos recentes, no conhecimento da estrutura do floema, tem servido de suporte científico para a teoria do fluxo de massa ou de pressão, além da teoria da corrente protoplasmática. Entretanto, seria prematuro enfatizar uma das teorias, descartando as demais, baseados nas provas atualmente existentes.

### a. Fluxo de Pressão

De acordo com BAKER (1980), o conceito do fluxo de pressão é geralmente atribuído à Münch (1930), sendo na verdade originariamente postulado por Hartig (1860), estando hoje a teoria, como foi inicialmente proposta pelo botânico alemão, restrito aos vasos do floema.

Münch sugere um sistema de fluxo, envolvendo a circulação de água, responsável pela translocação de solutos das folhas às raízes. A fotossíntese causa a produção de grande quantidade de açúcares, os quais são ativamente carregados, até aos vasos do floema das células das nervuras foliares. O potencial osmótico nesses vasos torna-se muito baixo, resultando a entrada de água do apoplasto ou do xilema, por difusão. A pressão hidrostática ou pressão de turgor assim produzida, nos vasos do floema foliar, força a seiva até as raízes, através dos tubos crivados. Algum soluto ou água, pode escapar nessa rota, mas o grosso da solução alcança as raízes. Nestas, os solutos são descarregados do fluxo de translocação do floema, de maneira ativa, resultando num abaixa-

mento do potencial osmótico na solução do floema radicular. Como resposta, a água se difunde do floema, retornando às folhas, ao longo do gradiente de potencial água do xilema. O efeito líquido é a circulação de água; a causa que força esta circulação é fornecida por adição ativa de solutos na folha pela fotossíntese e sua remoção ativa nas raízes. De fato, a circulação de água não é sempre necessária, podendo não ocorrer se água suficiente é removida do sistema, como resultado do crescimento ou transpiração.

O principal ponto desta teoria é a necessidade de um gradiente de pressão hidrostática entre a fonte, nas folhas e o reservatório, nas raízes (figura 1). O floema certamente tem pressão positiva.

O seccionamento do rostro de um afídeo, mostra que a seiva do floema exsudava, durante algum tempo, como resultado de uma pressão interna oriunda, conforme mostrou a análise, de altas concentrações de açúcares. Aliás, a exsudação do floema, ocorrência normal em muitas espécies, quando se efetuam cortes na casca, deve ser explicada, possivelmente, por um mecanismo envolvendo fluxo de pressão.

Uma das constatações da existência do fluxo de pressão seria a movimentação de substâncias estranhas no floema, como vírus ou reguladores de crescimento. Essas substâncias, aplicadas em folhas iluminadas, eram rapidamente translocadas dessas folhas, pelo floema, juntamente com a corrente de assimilados. Entretanto, na aplicação de substâncias com as folhas no escuro, a translocação era praticamente inexistente.

Observações como essas sustentam serem os açúcares, produzidos durante a fotossíntese, os promotores do gradiente de pressão, necessários para a operação do fluxo de pressão. Esse fato foi confirmado quando mostrou-se que substâncias podem translocar-se de folhas no escuro, quando ocorria a criação artificial de gradiente de pressão, através da aplicação de soluções de açúcares nessas folhas.

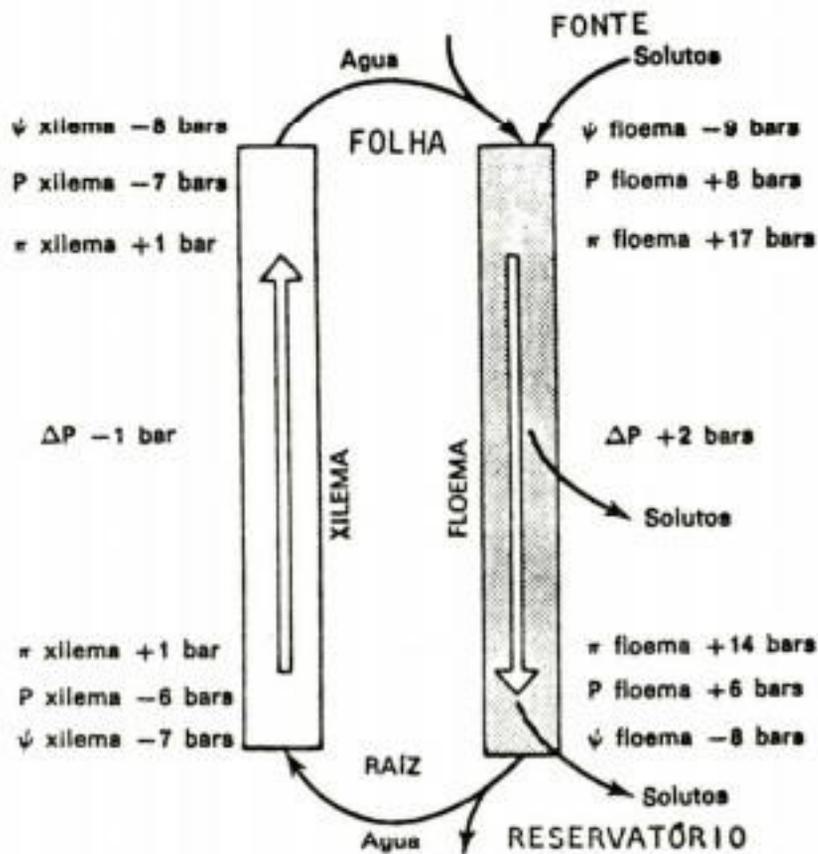


Figura 1. Modelo hipotético do fluxo de pressão, através do floema. O potencial de água ( $\psi$ ) é igual a pressão hidrostática ( $P$ ) menos a pressão osmótica ( $\pi$ ), movendo-se a água como resposta à  $P$  a força impulsora principal (BAKER, D.A., 1980). Fenômenos de transporte en las plantas, Ediciones Omega, S.A. Barcelona, 90 p.).

No entanto, existem várias objeções à teoria do fluxo de pressão, como a necessidade de baixa resistência de difusão ao longo do caminho da translocação, ou seja, placas crivadas não obliteradas. Entretanto, vários trabalhos mostram o alto grau de organização dos constituintes da seiva do floema e forte evidência da permanência de proteínas ou outras estruturas, na e através das placas crivadas o que, com certeza, não é consistente com a teoria de Münch.

Conforme o fluxo de pressão, o movimento no floema seria unidirecional. Há muitos experimentos, indicando claramente que, diferentes substâncias podem mover-se em direções opostas e ao mesmo tempo no floema. Também diferentes substâncias, podem mover-se simultaneamente, na mesma direção, mas com velocidades diferentes o que, no mínimo, é incompatível com a teoria proposta. No entanto, é possível que feixes vasculares diferentes e que elementos distintos na seiva do floema, possam estar engajados, simultaneamente, no fluxo de pressão em direções opostas. Isto necessitaria apenas o controle de entrada e saída de solutos apropriados, em locais opostos, no mesmo tubo floemático. A teoria não exige que, todos os tubos floemáticos, transloquem na mesma velocidade, na mesma direção e ao mesmo tempo.

Aqueles que são favoráveis a esta teoria, estabelecem analogia de translocação no floema com a cromatografia de papel, em que os solutos se movem em fluxo de massa com o solvente no papel, sendo que diferentes solutos apresentam diferentes graus de absorção e retenção pelo papel.

#### **b. Difusão ativada e bombeamento**

Observou-se que a distribuição de um soluto, ao longo do caule, pouco tempo após sua saída da fonte, é uma função logarítmica da distância da fonte. Experimentos conduzidos de 1928 a 1936, levaram Mason & Maskel, citados por RICHARDSON (1976), a concluir que a movimentação de sacarose até as raízes, ocorre ao longo de um gradiente de concentração, sugerindo um modelo de um movimento

longitudinal, similar à difusão, mas ocorrendo a taxas muito mais elevadas que esta. Estabeleceu-se então, a existência de um transporte, através do citoplasma estacionário, por um processo chamado difusão ativa. O conceito desses pesquisadores é que o citoplasma vivo é capaz, de algum modo, de acelerar a difusão pela ativação de moléculas difusivas ou pelo decréscimo da resistência à difusão, através do meio protoplasmático. No entanto, até o momento, tal ativação, não foi ainda demonstrada, nem alguma explicação plausível a este mecanismo foi aventada.

Informações mais recentes, sendo as vezes verdadeiras desinformações, sobre a translocação no floema vem se acumulando, principalmente sobre bombeamento de solutos ou mecanismos peristálticos. O principal aspecto desses mecanismos é o conceito da existência de locais de bombeamento, a intervalos, ao longo dos tubos crivados, com poder de restabelecer a força consumida no metabolismo das células companheiras ou dos próprios tubos crivados. Nenhuma dessas teoria tem sido aceita até o momento, talvez pela dificuldade em se conseguir provas sobre os mecanismos acima descritos.

### c. Corrente Citoplasmática

Sugerida inicialmente em 1885 por De Vries, o qual sugeriu que a corrente citoplasmática, a ciclose, pode ser um mecanismo de translocação ativa. Este conceito apresenta aspectos atrativos, como a movimentação de substâncias por um gradiente de difusão, só que em taxas maiores, aumentadas pelo citoplasma em circulação, definida como correntes citoplasmáticas. Assim, dentro de cada elemento crivado, as substâncias se translocariam de um extremo ao outro, sendo que a passagem pelos crivos ocorreria por camadas de protoplasma fluido, que moveriam-se de célula para célula, através das conexões protoplasmáticas das placas crivadas, podendo este movimento através dos poros ocorrer ativamente, de maneira alternativa.

Para vários autores, a ciclose só é observada em

elementos crivados jovens, com citoplasma metabolicamente ativo, nunca tendo sido verificada em elementos do floema maduros. Por outro lado, a translocação de substâncias com a intensidade com que normalmente ocorre, exigiria velocidades de circulação do citoplasma, as quais requereriam valores de circulação superiores aos encontrados de forma experimental (figura 2).

Uma variante mais recente desta teoria, advoga a existência de cordões de protoplasma, que circulam ao longo do tubo atravessando os poros e a região central do elemento que contem líquido vacuolar, hipótese desenvolvida em 1962 por CANNY e denominada de correntes transcelulares. A parte do lume celular, não ocupada pelos filamentos, atua como reservatório. A energia para o movimento dos filamentos é obtida pelo consumo de parte de sacarose transportada, sendo fornecida na forma de ATP, por partículas similares a mitocôndrias, usualmente observadas no interior das vias transcelulares. Esta hipótese, tem a grande vantagem de admitir o movimento bidirecional simultâneo num único tubo floemático, já que uns filamentos podem mover-se numa direção, para cima por exemplo, enquanto outros filamentos movem-se para baixo.

Não obstante, críticas são feitas no sentido de que a velocidade de transporte de solutos no floema excede, em muito, a capacidade deste mecanismo. Além disso, o próprio Canny reconheceu que, estes tipos de correntes protoplasmáticas não ocorrem nos elementos crivados maduros. No entanto, THAINÉ et alii (1967) encontraram no vas tendências da possibilidade da translocação de solutos no floema através das vias transcelulares. (figura 3).

#### **d. Fluxo Interfacial**

Em 1932, Van der HONERT, sustenta a possibilidade de que o transporte de solutos pode ocorrer por meio de interfaces, originadas dentro dos elementos crivados. A base para esta teoria, baseia-se no fato de que quando uma gota de um líquido insolúvel em água, cujas moléculas

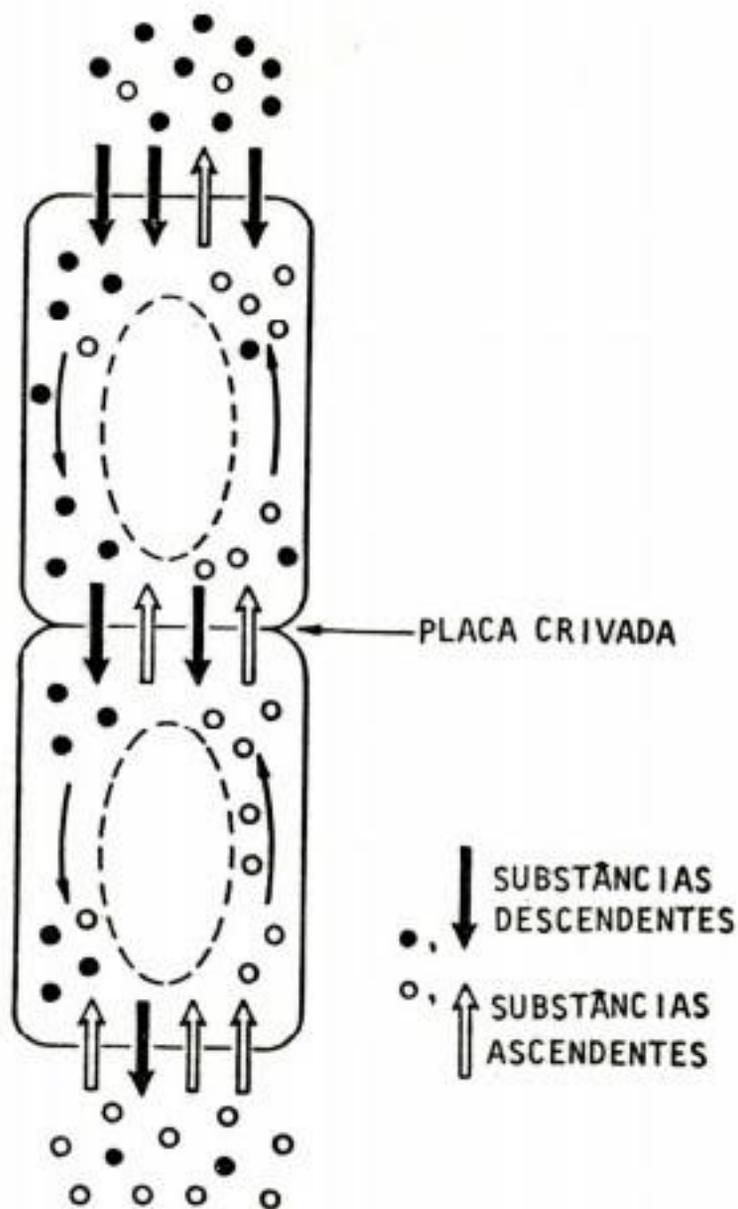
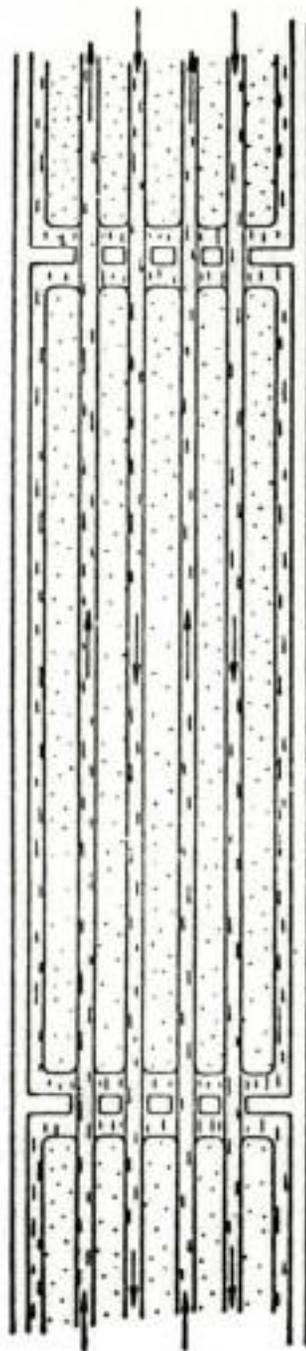


Figura 2. Diagrama para ilustrar como a ciclose (corrente citoplasmática) pode resultar num transporte simultâneo, de duas direções, ao longo de um gradiente de difusão nos elementos do floema. (BIDWELL, R.G.S., 1979, Plant Physiology, Mac Millan Publishing Co., Inc., New York, 726 p.).



-  PAREDE CELULAR
-  Protoplasma
-  RESERVATÓRIO DE SACAROSE

Figura 3. Mecanismo das Correntes Transcelulares (CANNY, M.J., Ann. Bot., **26**, 1962, 603-617).

las possuem um grupo polar, é colocado sobre uma superfície aquosa, esta substância estende-se rapidamente sobre a mesma. Após a descoberta de certas estruturas, no interior dos tubos crivados como, plasmalema, tonoplasto, proteína-p e retículo endoplasmático, esta hipótese passou a receber mais consideração dos investigadores, os quais sugeriram que aqueles componentes estruturais do floema formariam uma série de interfases, as quais poderiam explicar o transporte de nutrientes pelo floema.

Por exemplo, o plasmalema forma uma interfase entre um meio líquido e móvel, o citoplasma e um sólido e imóvel, a parede celular. As interfases líquido/sólido impõe resistência viscosa excessiva. O tonoplasto apresenta duas fases líquidas e móveis, citoplasma e vacúolo, em ambos os lados. As interfases líquido/líquido podem fornecer um fluxo interfacial rápido, mas dado que o tonoplasto apenas existem em elementos crivados maduros, tem sido descartada.

De todas as estruturas propostas, a única que, em princípio, poderia oferecer certas possibilidades seria o retículo endoplasmático, ainda que para isso este sistema membranoso pudesse fluir livremente de um elemento crivado a outro. As descobertas de que os tubos crivados apresentam grande quantidade de cordões de proteínas orientadas, reviveu a possibilidade da correção desta teoria, mas não existem, no presente, provas claras da existência deste mecanismo.

#### **e. Fluxo Eletro-osmótico**

Proposto por SPANNER em 1958, implica uma circulação de íons nas placas crivadas, mantidas pela atividade metabólica. Spanner criticou a hipótese do fluxo de pressão, baseando-se em observações de microscopia eletrônica, as quais mostram os poros das placas crivadas obliterados. Propõe um processo eletro-osmótico, sobre três requisitos básicos:

- a. a existência de uma membrana que possua poros carregados eletricamente;

- b. Os poros devem estar aderidos, mas não tanto que impeçam a passagem livre de íons hidratados;
- c. a existência de uma diferença de potencial, através da membrana, a qual deve ser mantida para que o transporte ocorra.

Spanner propõe que a placa crivada pode constituir a membrana necessária, com os poros tampados com filamentos de proteína-p, os quais estão colocados uns paralelos aos outros, com separação entre eles a qual permitirá a passagem de íons hidratados (fundamentalmente potássio). O fato do ponto isoelétrico desta proteína-p ser ligeiramente ácido, enquanto que o pH do suco floemático é alcalino, faz com que os filamentos protéicos que preencham os poros fiquem carregados negativamente, satisfazendo os dois primeiros requisitos básicos. A diferença de potencial, ou seja, a polarização da placa crivada é mantida por uma circulação de potássio através da placa crivada, mediante absorção ativa pela membrana do tubo crivado, aumentando a concentração de potássio na face da placa crivada da célula anterior, criando um gradiente elétrico, que produz um fluxo unidirecional através dos poros; o potássio seria devolvido à célula crivada anterior através das células companheiras ou pelas paredes dos tubos floemáticos. O ATP fornece a energia para manter essa circulação de potássio. O esquema geral de funcionamento encontra-se na figura 4.

De acordo com esta hipótese, os cátions se moveriam rapidamente através dos poros, segundo um gradiente de potencial e fazendo o mesmo, as moléculas carregadas positivamente, a água e as moléculas neutras. Assim, formaria-se um fluxo de massa, similar ao que se originava na teoria do fluxo de pressão, com a exceção de não existir um gradiente contínuo de potencial de pressão ao longo do tubo crivado, mas que o perfil do gradiente neste caso, teria um aspecto de dentes de serra, com uma diminuição de gradiente ao longo do lume de cada elemento crivado, seguido por um aumento brusco do gradiente no começo do elemento seguinte.

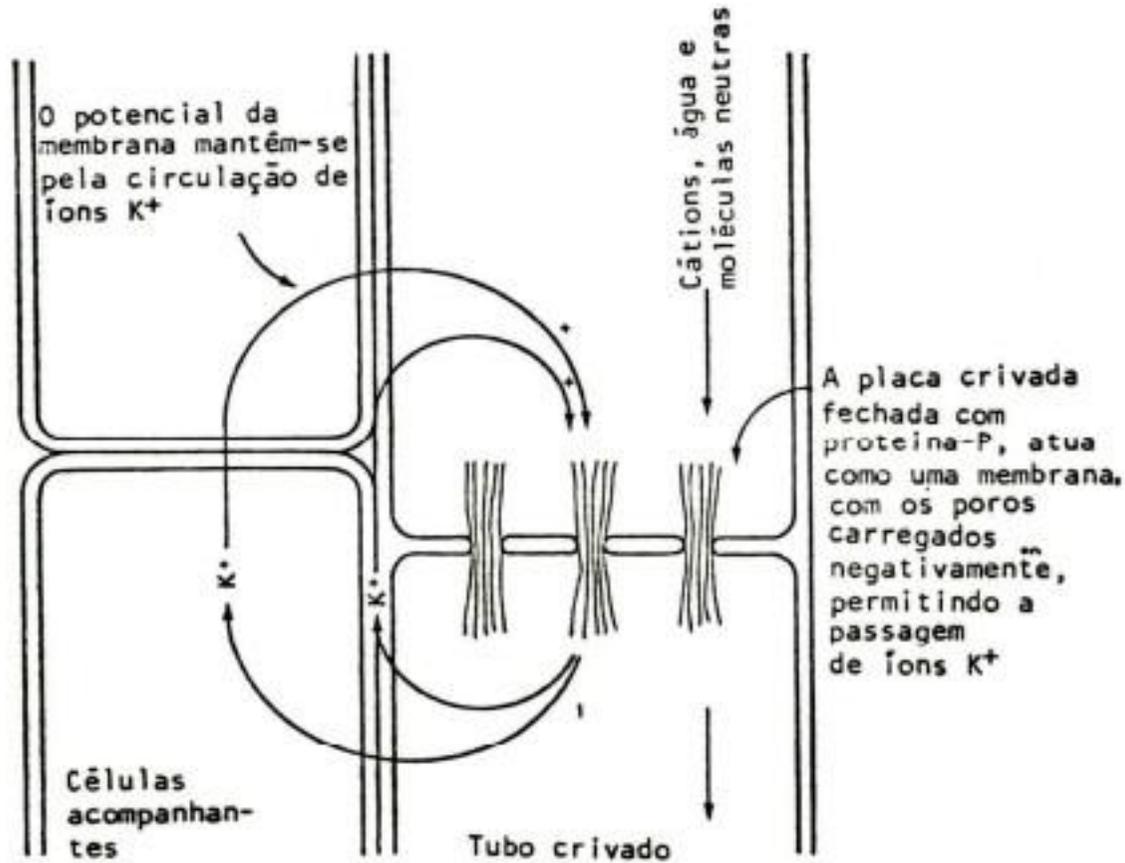


Figura 4. Esquema expondo o possível funcionamento da hipótese eletrosmótica **et alii**, 1980. Fisiologia Vegetal (Ediciones Piramide S.A. 750 p.).

(COLL

Como objeções a esta teoria, deve-se levar em conta o fato de não explicar o transporte simultâneo de ânions e cátions, já que se os poros da placa crivada estão carregados negativamente, somente os cátions poderiam atravessá-los. No momento, SPANNER (1975) afirma ser possível este transporte de cátions e ânions, desde que a concentração da solução que rodeia a placa crivada se eleve, visto que uma força iônica elevada, anula a capacidade das membranas para discriminar entre ânions e cátions, podendo ambos atravessá-las. O transporte bidirecional simultâneo, no mesmo tubo crivado, também não é explicado por esta hipótese como não era pela teoria do fluxo de pressão.

Como prova deste mecanismo, demonstrou-se a existência de uma diferença de potencial, entre placas crivadas do floema primário de videira. Os valores obtidos, os quais variavam de 4 a 48 mV, possuíam a magnitude necessária para manter o fluxo eletrosmótico, nas taxas exigidas.

#### f. Proteínas contráteis

Dados recentes sugerem a presença e ação de proteínas contráteis nos tubos crivados. Ao examinar os tubos crivados, ao microscópio, o líquido próximo às placas crivadas parece tremular de forma semelhante aos cílios de turbelário. Este fato, possivelmente sugere que fibrilas de filamentos plasmáticos, proteína de floema, encontram-se ligadas às placas crivadas, propagando ondas contráteis ao longo de si, o que poderia projetar uma corrente de líquido através dos poros da placa crivada. A constituição dessa proteína, possivelmente seja de microfilamentos de actina, e que esses dímeros de miosina possam ser ativados, de forma a se moverem, ao longo da superfície, arrastando os nutrientes. Um fluxo de massa pode ocorrer assim, alterando-se em direção, visto que as orientações actina-miosina podem ser revertidas por um processo de fluxo de pressão, por exemplo. Pontes moleculares, ao longo dos filamentos de actina, forma a parte contrátil deste modelo.

Conforme reza esta teoria, a translocação no floema ocorre basicamente através do fluxo de massa e de fluxo microfibrilar e de outros processos subsidiários. O fluxo microfibrilar, refere-se ao carregamento e translocação da sacarose nos filamentos plasmáticos, possivelmente através de um movimento microperistáltico, cuja eficiência depende da integridade das microfibrilas, as quais se estendem através do lume e placas dos tubos crivados. O fluxo de massa pode mover-se como um fluxo de pressão, sob as pressões de carregamento no plasmalema, de maneira mais frequente para fora por meio do mecanismo microfibrilar, onde ondas em fase são lançadas através das placas crivadas, para atuar como bombas peristálticas. O acúmulo de calose pode impedir o fluxo de massa; a parada do mecanismo do fluxo microfibrilar também estanca o fluxo de massa. O fluxo de massa, nessas condições, funcionaria como fluxo de difusão ativada (figuras 5 e 6).

Detectou-se na camada superficial da parede dos elementos crivados, um componente da translocação, pequeno e muito rápido; além disso, verificou-se também fluxo de pressão e fluxo eletrosmótico, sendo que esses componentes contribuem e controlam o movimento de sacarose e nutrientes no floema.

Não pode-se deixar de mencionar que, as placas crivadas são importantes no processo do sistema, quando o floema é danificado, atuando também como pontos de fixação de fibrilas transcelulares. Além disso, quando essas placas se encontram obliteradas por calose, atuam como bombas e não como barreiras. As células companheiras, atuam fornecendo energia para os reservatórios de ATP e para o carregamento e descarregamento do floema.

Concluindo, parece evidente que não há nenhuma teoria, sobre translocação de nutrientes no floema, completamente aceitável. Sempre a "melhor" teoria tem evidências experimentais a favor ou contra. Não há dúvidas que a rápida translocação de solutos ocorre pelo floema, mas um mecanismo plausível, para explicar esse fato tem preocupado os fisiologistas, a despeito das intensas e extensas pesquisas a respeito. Talvez, investigações futuras removam todas as objeções a uma hipótese ou outra.

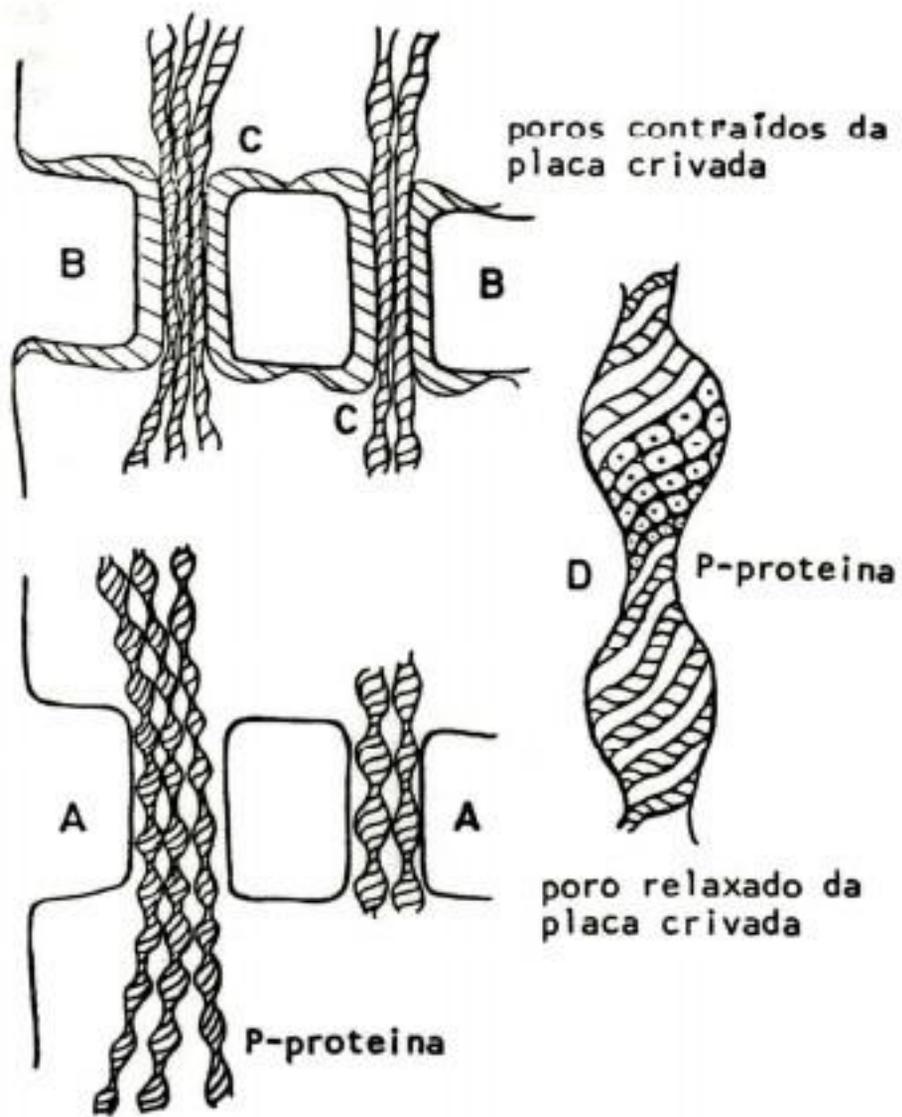


Figura 5. Diagrama do possível arranjo de P - proteína, passando pelas placas crivadas (FENSON, 1975, Other possible mechanisms. In: ZIMMERMANN, M.H. & MILBURY, J.A. Transport in Plants. A. Phloem transport. Berlim, Springer, p.354-67).

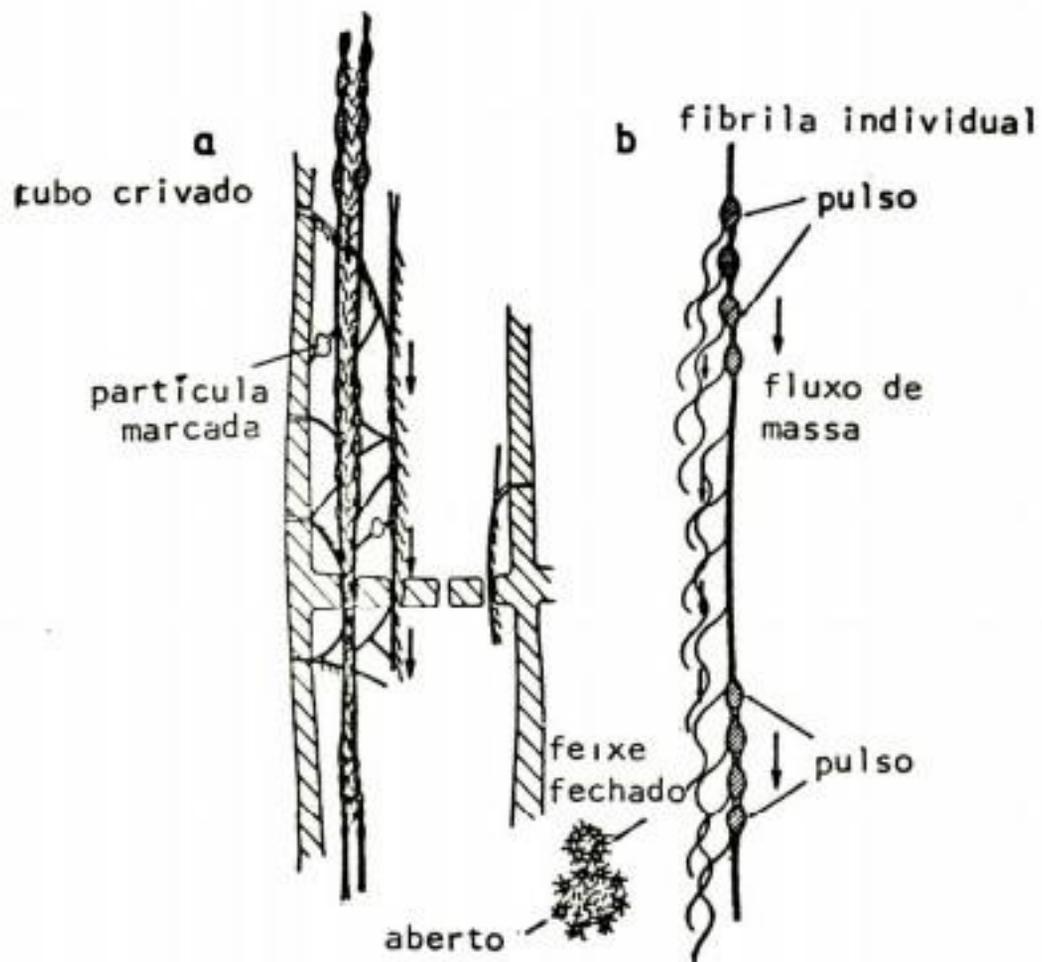


Figura 6. Diagrama de um tubo crivado e das placas, onde os microfilamentos da P - proteína estão ligados à ferries de fibriplastos (FENSON, 1975, Other possible mechanism. In: ZIMMERMANN, M.H. & MILBURY, J.A. Transport in plants. I. Phloem transport. Berlim, Springer, p.354-67).

Por outro lado, as teorias não se excluem, de tal maneira que os diversos mecanismos de translocação orgânica no floema, aqui estudados, parecem ser complementares, onde um pode incrementar a ação de outro, ou de certos mecanismos, que operando sob determinadas condições, impedem a ação de outros. Não deve ser excluída a possibilidade de que, o que ainda resta sobre a estrutura do floema e as propriedades dos seus componentes, não somente possa explicar aspectos que não levem em conta as teorias que se conhecem, mas inclusive a formular algum mecanismo ainda desconhecido.

## X - TRANSPORTE DE NUTRIENTES NO FLOEMA

Os estudos analíticos dos exsudados de floema revelam um elevado conteúdo de matéria seca, compreendida entre 10 e 25% do qual 90% ou mais é açúcar. Em muitas plantas, a sacarose é o único açúcar presente, porém outros açúcares, como rafinose, estaquiose e verbascose e ocasionalmente manitol e sorbitol, podem estar presentes. Além disso, encontram-se aminoácidos, amidas, ácidos carboxílicos como malato e substâncias de crescimento e solutos inorgânicos.

Vários íons inorgânicos se encontram no floema, sendo que o conteúdo catiônico indica a aplicação de alguma regulação realizada pela membrana, como por exemplo  $(K^+) > (Na^+)$  e  $(Mg^{2+}) > (Ca^{2+})$ . Estes níveis catiônicos, provavelmente, refletem as origens citoplasmáticas da seiva do floema, observando as razões catiônicas semelhantes as dos citoplasmas das células vegetais.

O potássio é o principal cátion presente, com até 113 moles  $m^{-3}$ ; a relação  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$  também é elevada. Os ânions inorgânicos estão presentes em quantidades muito menores que os cátions, sendo que os mais comuns são  $Cl^-$  e  $PO_4^{3-}$ , com traços de  $SO_4^{2-}$  e  $HCO_3^-$ . O íon  $NO_3^-$  está universalmente ausente do floema, sendo totalmente orgânicos os materiais nitrogenados. Nas espécies que transportam  $NO_3^-$  no xilema, a ausência do íon, depõe contra qualquer circulação direta de material nitrogenado entre as duas vias condutoras.

Em muitas espécies, os níveis de íons móveis do floema aumentam durante a senescência das folhas, quando são exportados através dos tubos crivados antes da queda de folhas. Além dos íons inorgânicos principais, observam-se traços de Mo, Cu, Fe, Mn e Zn.

Após uma aplicação foliar de minerais, uma parte dos sais absorvidos pelas folhas, fica retida dentro do mesmo órgão, especialmente quando são jovens e o resto é translocado pelo floema. Assim, em folhas, como em raiz, um elemento móvel como o fósforo é translocado muito lentamente, enquanto a capacidade de acúmulo das células absorventes não se esgotar.

Constituintes menores parecem, então, serem arrastados no mesmo fluxo que carrega os açúcares. Qualquer substância seria sujeita ao transporte no floema, uma vez que entre num elemento crivado e assim seria de se esperar, portanto, que os íons inorgânicos caminhassem no floema, basicamente da mesma maneira que os outros componentes menores do tubo crivado, como os compostos nitrogenados, os vírus e compostos estranhos como herbicidas sintéticos.

Considerando-se a mobilidade dos elementos minerais no floema, BUROVAC & WITWER (1957), definiram grupos de elementos móveis, relativamente imóveis e imóveis; essa mobilidade diferencial reflete-se nos exsudatos obtidos e em caso de carência, leva à apresentação de sintomas em folhas velhas ou jovens.

São tidos como elementos móveis no floema o potássio, rubídio, sódio, césio, magnésio, fósforo, enxofre e cloro; curiosamente o lítio é imóvel como o estrôncio, boro, chumbo, cálcio e bário. Embora usualmente o cálcio seja considerado imóvel por inúmeros autores, sob certas circunstância ele pode ser transportado pelos tubos crivados; assim, na verdade, o cálcio não seria imóvel no floema, ele seria sim inábil em entrar nesses vasos, face à dificuldade de movimentação desse mineral através dos tecidos não vasculares. No entanto, consagrados autores, embora aceitando essa premissa, advertem que mesmo assim a mobilidade do cálcio no floema é muito baixa. O grupo de elementos relativamente imóveis no floema en-

globa o ferro, zinco, cobre, manganês, molibdênio, cobalto, alumínio e titânio; o grau de mobilidade destes varia de espécie para espécie.

## XI - MOVIMENTO BIDIRECIONAL NO FLOEMA

Já ficou evidente a ocorrência de regiões de afluência preferencial de nutrientes, tais como meristemas e regiões de reserva, sendo que a posição dessas regiões em relação às folhas, é um dos fatores determinantes do modelo de translocação.

Numerosos estudos, demonstram que o movimento no floema ocorre de forma linear, ascendente ou descendente no caule, em linha com a folha; ocorre muito pouco movimento tangencial. Assim, a distribuição de nutrientes, em plantas em diferentes estágios de desenvolvimento, mostrou movimento bidirecional e tangencial no caule, sendo que este último revelou-se muito menor que o vertical.

Embora ainda não tenha sido provado, de forma conclusiva, parece que os nutrientes são translocados em diferentes condutos do floema, não empregando o mesmo tubo crivado; isto foi visto com a utilização de  $C^{14}$  e  $P^{32}$  dentro dos mesmos feixes, demonstrando que o movimento ocorria em um elemento crivado individual. O fenômeno parece estar restrito a dicotiledôneas herbáceas e a um determinado estágio de desenvolvimento, que corresponde ao final da importação e início da exportação por uma folha.

## XII - MOVIMENTO LATERAL E TANGENCIAL

Embora exista um intercâmbio lateral de materiais entre o floema e os tecidos circundantes, ou seja, em direção radial, entre floema e xilema, este é de menor monta que o linear. Essa perda de material de floema, pode ser seguida com isótopos e pode-se verificar que mesmo

a não existência de câmbio, permite troca entre dois sistemas condutores, sendo que esta se faz através dos raios vasculares.

Além disso, de maneira mais simples existe uma relação linear entre o logarítmo da concentração presente e a distância do movimento; além disso, a velocidade de transporte radial depende da idade do tecido. Ocorre um desvio do modelo logarítmico conhecido, se não permanecer constante a taxa de entrada de um nutriente marcado, a perda lateral em diferentes níveis e a velocidade de fluxo em diferentes níveis.

O movimento tangencial de um feixe vascular para um adjacente, resulta numa intercontaminação entre as duas correntes, resultando numa interrelação nutricional entre as regiões exportadoras e importadoras, sendo que há evidências que incluem o sistema xilemático. Geralmente, a nível de nó, pode ocorrer movimento para outro nó, em direção tangencial, através das anastomoses entre vasos, nesses locais; dessa forma, o fluxo de metabólitos ascende, sem deixar material na folha. Esse fluxo no nó, onde feixes de floema caulinares passam sob os dos traços, do lado do câmbio, transfere nutrientes para os feixes do caule do lado contrário. Muito pouco movimento tangencial, para baixo é usualmente observado, sendo que o movimento ascendente precede o descendente.

A origem dessa variação nos modelos de distribuição ao longo do caule, localiza-se no padrão de movimento de metabólitos de uma folha simples, em relação ao modelo de distribuição de vaso no qual ele se move, levando à complexidade, onde uma folha madura pode exportar para nós abaixo ou para cima dela ou diretamente para raízes. Dessa forma, ocorre o movimento bidirecional no pecíolo.

Sumarizando, um soluto, completamente trocável e miscível dentro dos tecidos, para ser móvel nas correntes circulatórias deve obedecer a determinados critérios:

1. ser capaz de livre movimento no xilema;

2. ser capaz de movimento irrestrito, em altas concentrações, no floema;
3. ser ciclado, através da raiz, pela corrente de floema, de volta ao xilema ascendente;
4. ser ciclado, eficientemente, através de folhas maduras; isto é, através do xilema e de novo para o floema;
5. não estar sujeito às transformações metabólicas, antes ou durante o transporte;
6. ser prontamente trocável, com "pools" celulares do mesmo soluto, existentes em tecidos ou órgãos;
7. ser barrado à incorporação em macromoléculas ou à adsorção irreversível por elas;
8. ser recuperado com eficiência, a partir de tecidos senescentes e livremente redistribuídos desses sítios, para as regiões de crescimento da planta.

### XIII - FATORES QUE AFETAM A TRANSLOCAÇÃO DE NUTRIENTES

#### a. Temperatura

A temperatura afeta a velocidade de transporte; quando a temperatura da planta varia, a translocação apresenta uma velocidade máxima entre 20 e 30°C. Quando se usam somente tratamentos de temperatura localizada, o modelo resultante é notavelmente semelhante, estando o transporte influenciado pela temperatura de uma maneira semelhante a de outros processos fisiológicos.

Há observações ao longo de toda a década, de que a translocação diminui, ocorrendo através de um segmento de caule, esfriado até 0°C ou menos, as quais servem de apoio ao ponto de vista de que o fluxo de pressão passiva é a força motriz para a translocação, considerada como distinta dos processos metabólicos. Entretanto, tais experimentos devem ser interpretados com reservas; a força motriz em um segmento de caule não resfriado, pode ser a responsável pelo movimento através do segmento em baixa

temperatura e assim não seria insensível à temperatura, ou seja, poderia depender do metabolismo.

Os efeitos de baixas temperaturas são reversíveis, enquanto que os de altas não o são; as curvas verificadas para nutrientes orgânicos sob ação de baixas temperaturas, são semelhantes as de translocação de  $P^{32}$ ,  $K^{42}$ ,  $Ca^{45}$  e  $Cs^{137}$ , após aplicação foliar. Existem dentro das espécies vegetais, aquelas com maior ou menor sensibilidade às baixas temperaturas como a beterraba ou às altas, como o tomate.

Quando a translocação para, durante os tratamentos em baixas temperaturas, os tecidos mostram indicações de dano, como evidência de valores de  $Q_{O_2}$  e descoloração; a taxa respiratória a  $-4^{\circ}C$  foi cerca de 5% da taxa controle a  $25^{\circ}C$ .

Dessa forma, tratamentos com baixa temperatura, levam à indicação da energia metabólica despendida ser empregada na integridade de estruturas. Em ensaios com plantas sensíveis à temperatura, a diminuição desta em caules ou pecíolos, revelam um aumento de inibição da translocação, num limiar de aproximadamente  $12^{\circ}C$ . Danos estruturais, aparecem de modo mais intenso, abaixo desse limiar; a inibição inicial, encontrada em plantas sensíveis às baixas temperaturas, próximas ao limiar de dano à translocação, poderia causar essa lesão. A diminuição na translocação nessa situação, porém acima do limiar, seria capaz de explicar o aumento da viscosidade observada. Plantas insensíveis, somente passam a apresentar danos em  $0^{\circ}C$  ou mais abaixo.

O papel que a energia desempenha, na região de consumo, parece estar relacionado com a habilidade de tecidos de crescimento, órgãos de reserva e regiões ativas metabolicamente em aumentar a translocação para eles. Assim, o efeito da temperatura em regiões de consumo, pode ser avaliado pela inibição no transporte celular ou da metabolização. Na fonte, em termos de construir o gradiente de potencial osmótico, no fim do sistema de translocação.

A avaliação do efeito inibitório sobre o metabolismo na região fonte é muito difícil. Há um possível efeito na entrada de nutrientes no floema, além dos efeitos sobre o processo que causa o movimento. Em geral, os resultados da inibição experimental, sobre o metabolismo nessa região, correspondem ao papel da fonte em promover a translocação.

### b. Metabolismo

O estado metabólico dos tecidos condutores, bem como o estado dos tecidos fonte e consumo, são importantes para determinar a velocidade do movimento através da planta. Se se lesar uma secção de pecíolo com vapor, haverá inibição do movimento para fora da folha. Tratamentos menos drásticos, também causam, geralmente, uma marcante redução do transporte, embora seja difícil avaliar se isso ocorre diretamente sobre o processo de translocação ou indiretamente sobre o metabolismo da fonte e da região de consumo. A translocação pode ser controlada em maior extensão, se se considerar o metabolismo dos tecidos fonte e consumo, do que pelo dos tecidos condutores.

### c. Inibidores metabólicos

Considerando os inibidores metabólicos, tem sido observado que em condições em que a fonte e a região de consumo não estão sujeitas a eles, ainda assim ocorre bloqueio de translocação. No entanto, ao aplicar-se esses produtos, um número de dificuldades são encontrados, particularmente na inabilidade em limitar o tratamento a uma determinada região, além da incerteza do modo de ação dos agentes. A interpretação fica dificultada, também, devido aos efeitos secundários em outros processos que requeiram energia. Uma outra dificuldade, que interfere na complexidade de interpretação é o tempo de ação do inibidor. Quanto à ação, os inibidores atuam, enfim, sobre a energia, conforme já discutido.

#### d. Anoxia

O tratamento anaeróbico do pecíolo, mediante envoltório deste com cera ou por fluxo de nitrogênio, produz uma grande retenção de nutrientes em folhas. Tanto este tratamento, quanto baixas temperaturas e inibidores químicos, levam à parada da corrente citoplasmática, o que inibe a translocação. Parece que o oxigênio é empregado mais na manutenção da integridade, do que em dirigir o fluxo em si. Considerando-se a região de consumo, experimentos realizados, verificaram que em situações de anoxia, ocorre uma redução de 40 a 50% na taxa de translocação, existindo uma relação entre o nível de atividade metabólica e a translocação para um determinado tecido. Ocorre um declínio de evolução de  $\text{CO}_2$  e de consumo de ATP, que no entanto pode ser revertido em 2 a 3 horas, após a cessação da aplicação da anoxia.

#### e. Luz

Existem inúmeros relatos conflitantes acerca ao efeito da luz sobre a translocação. Por exemplo, não foi constatado nenhum efeito da luz sobre folhas, diferentes daquele semelhante à administração de assimilados, ao passo que ocorre alteração na distribuição de translocados entre a parte aérea e a raiz na luz ou no escuro, sendo que nessa última condição o transporte para raízes, foi beneficiado.

Observa-se, à noite, uma maior velocidade de transporte para a raiz, o que talvez reflita trocas nos tamanhos relativos das regiões de consumo entre a parte aérea e raiz.

Dessa forma, em cana-de-açúcar, a luz influencia a polaridade e a quantidade de translocação, sendo maiores os valores na luz do que no escuro, da translocação total e basípeta. Nesse caso, a luz afetou a translocação em intensidades que eram demasiadamente baixas para a assimilação do  $\text{CO}_2$  e portanto, o efeito da luz não foi sobre os processos fotossintéticos. Empregando-se a iluminação vermelha extrema, verificou-se ser essa a região

do espectro a responsável pelo efeito e que a translocação, podia desencadear-se por diferentes mecanismos, em luz ou no escuro.

#### f. Deficiências minerais

Pouco se sabe sobre o efeito das deficiências minerais sobre a translocação. Muitas delas, evidentemente, exercem uma ação adversa sobre o processo, em função de sua influência no metabolismo e crescimento da planta. Algumas provas do papel direto, tem sido relatadas quanto ao boro, que facilitaria a absorção e translocação de sacarose marcada, bem como do cálcio. GAUCH & DUGGER (1953) postularam um complexo ionizável entre a sacarose e o boro, que seria transportado através das membranas celulares com maior facilidade que esse açúcar sozinho; entretanto, pode ser que o boro estimule a atividade dos meristemas apicais, os quais promovam a translocação até estas regiões ou então, o transporte do boro, através dos elementos crivados poderia impedir a formação de calose. Na cana-de-açúcar, uma diminuição do nível de citocininas, resulta em sintomas visíveis de deficiência, que refletem a diminuição da translocação, associada a um transtorno na fosforilação.

#### g. Gradiente de concentração

A translocação sempre se processa de regiões de altas concentrações de açúcares para as de baixa; até um certo gradiente, pode-se eliminar ou inverter-se o processo, por exemplo, por defoliação, que detém o processo. Gradientes de aproximadamente  $0,01 \text{ mol.m}^{-1}$ , foi encontrada em caules, levando a um transporte basípeto; estes gradientes foram alterados pela defolha, desaparecendo para alguns açúcares e passando a acrópeto para outros.

#### h. Transporte dirigido por hormônios

Durante os últimos trinta anos, mais ou menos, o con

ceito de transporte dirigido por hormônios foi desenvolvido, sendo o movimento de nutrientes dirigido por reguladores endógenos. O maior problema, no entanto, é a determinação da natureza exata e do grau desse controle hormonal, se é um efeito direto sobre o fenômeno ou indireto, por estímulo das regiões de crescimento e portanto de consumo. Provas desse último efeito, tem sido relatadas por pesquisadores, que verificaram acúmulo de assimilados em regiões com altas concentrações de auxinas. Os experimentos realizados a curto prazo, demonstram a existência dessa reserva de quantidades significativas de assimilados marcados, em estacas de diversas plantas tratadas com auxinas. Há observações de sinergismo, entre distintas classes de substâncias de crescimento, em especial, a rápida resposta de acúmulo que ocorre entre IAA em relação a GA e citocininas. Os hormônios, tem sido detectados nos exsudatos de floema e nele tem-se observado transporte de substâncias, exogenamente aplicadas. A presença e o transporte à longa distância, de hormônios no floema, quando se consideram à luz das observações anteriores, sobre a resposta cumulativa nos tecidos tratados, sugerem que, um estímulo hormonal direto do mecanismo de translocação possa ser possível.

#### XIV - Observações finais

A discussão sobre os mecanismos possíveis do transporte pelo floema, indicou as grandes divergências de opinião que existem entre os pesquisadores, de tal forma que parece que existem tantos conceitos quanto o número de investigadores. No entanto, qualquer mecanismo de transporte, proposto através dos elementos crivados, deve satisfazer os seguintes critérios:

- a. deve ser congruente com as leis físicas de tensão superficial, fluxo, etc.
- b. deve explicar as características fisiológicas conhecidas do sistema;
- c. deve ser compatível com a estrutura do elemento crivado.

No momento, nenhuma hipótese satisfaz os três critérios. O problema gera sobre a estrutura conhecida do elemento crivado, o que impede, ao invés de complementar, a fisiologia conhecida do sistema, sugerindo a existência de um erro básico ou mesmo um vazio em nosso conhecimento. A analogia com o fluxo, através dos elementos crivados, sugere que se as estruturas observadas são interpretadas de uma maneira dinâmica, onde a resistência para fluir poderia alterar-se, caso a proteína-p se distribuisse quando o fluxo estivesse acontecendo através do sistema. Parece que a proteína-p está fixada, de alguma maneira, à capa parietal do elemento crivado. Se quando o fluxo está ocorrendo, toda a proteína-p se desloca parietalmente, então uma via de baixa resistência estaria disponível para o fluxo de pressão. A parada ou desaceleração do fluxo, daria como resultado, a distribuição da proteína-p de uma maneira mais uniforme, através do lume do tubo crivado. No caso de uma súbita liberação de pressão, a proteína-p ficaria arrancada de seus pontos de fixação parietais pelo fluxo rápido, bloqueando os poros da placa crivada. Esta hipótese, consistentemente, apoia uma função de bloqueio para a proteína-p.

Existem argumentos de que o mecanismo do fluxo de pressão é de conceito demasiado simples, por parte daqueles que propõem mecanismos eletrosmóticos, peristálticos e outros mecanismos de fluxo, gerados pela proteína-p. Entretanto, de muitas maneiras, o mecanismo do fluxo de pressão é o mecanismo mais congruente com a fisiologia conhecida do floema e tem sido recusado, primariamente, por motivos estruturais. Se fosse possível demonstrar-se que, a estrutura de um elemento crivado vivo e translocador, possui um lume central livre de filamentos de proteína-p, então o paradoxo que é o transporte pelo floema poderia ser resolvido (BAKER, 1980).

Para concluir, nada melhor que repetir as palavras de uma velha sentença do Zen, retiradas de BAKER (1980):

"Quando alguém é muito jovem e sabe um pouco, as montanhas são montanhas, a água é a água e as árvores são as árvores.

Quando alguém estudou e se sofisticou, as montanhas já não são montanhas, a água já não é a água e as árvores já não são as árvores.

Quando alguém compreende completamente, as montanhas são de novo montanhas, a água é de novo água e as árvores são de novo árvores".

## AGRADECIMENTOS

Os autores conslgnam seus sinceros agradecimentos à colaboração prestada pela Bióloga Elizabeth Orika Ono, sem o apoio da qual este artigo não poderia ter sido escrito.

## BIBLIOGRAFIA

- ALEXANDER, A. **Follar fertilization**. Dordrecht, Martinus Nijhoff, 1986. p.3-17.
- ANDERSON, W.P. & REILLY, E.J. A study of the exudation of excised maize root after removal of the epidermis and outer cortex. **J. expt. Bot.**, 19: 19-30, 1968.
- ARISZ, W.H. Significance of the symplasm theory for transport across the root. **Protoplasma**, 46: 1-62, 1956.
- BAKER, D.A. **Fenômenos de transporte en las plantas**. Barcelona, Ediciones Omega, 1980. 90p.
- BIDDULPH, O. Translocation of inorganic solutes. In: STEWARD, F.C. **Plant physiology, a treatise**. New York, Academic Press, 1959. p.553-605.
- BIDDULPH, O. Mechanisms of translocation of plant metabolites. In: EASTIN, J.D.; HASKINS, F.A.; SULLIVAN, C. Y.; Van BAVEL, C.H.M. **Physiological aspects of crop yield**. Madison, American Society of Agronomy, 1969. p.142-65.

- BIDWELL, R.G.S. *Plant physiology*. New York, Macmillan & Collier Macmillan, 1974. p.247-322.
- BOULD, C. & HEWITT, E.J. Mineral nutrition of plants in soils and in culture media. In: STEWART, F.C. *Plant physiology, a treatise*. New York, Academic, 1979. p.15-137.
- BUKOVAC, M.J. & WITTWER, S.H. Absorption and mobility of foliar applied nutrients. *Pl. Physiol.*, **32**: 428-35, 1957.
- CANNY, M.J. The mechanism of translocation. *Ann. Bot.* **26**: 603-17, 1962.
- CANNY, M.J. Protoplasmic streamings. In: ZIMMERMANN, M.H. & MILBURN, J.A. *Transport in plants. I. Phloem transport*. Berlin, Springer, 1975. p.289-301.
- CANNY, M.J. Translocation of nutrients and hormones. In: WILKINS, M.B. *Advanced plant physiology*. London, Pitman, 1984. p.277-97.
- CASTRO, P.R.C. Translocação de solutos orgânicos. In: FERRI, M.G. (Coord.). *Fisiologia Vegetal*. São Paulo, E.P.U./EDUSP, 1979. p.211-49.
- CLARK, R.B. Physiological aspects of calcium, magnesium and molybdenum deficiencies in plants. In: ADAMS, F. *Soil acidity and liming*. Madison, American Society of Agronomy, 1984. p.99-170.
- CLARKSON, D.T. & HANSON, J.B. The mineral nutrition of higher plants. *Ann. Rev. Pl. Physiol.*, **31**: 239-98, 1980.
- COLL, J.B.; RODRIGO, G.N.; GARCÍA, B.S.; TAMÉS, R.S. *Fisiologia Vegetal*. Madrid, Pirâmide, 1980. p.152-209.
- COLLANDER, R. Selective absorption of cations by higher plants. *Pl. Physiol.*, **16**: 691-720, 1941.

- CORDOBA, C.V. **Fisiologia vegetal**. Madrid, H. Blume, 1976. p.231-54.
- CRAFTS, A.S. & BROYER, T.C. Migration of salts and water into xylem of the roots of higher plants. *Am. J. Bot.*, **25**: 529-35, 1938.
- CRONSHAW, J. Phloem structure and function. *Ann. Rev. Pl. Physiol.*, **32**: 465-84, 1981.
- DEVLIN, R.M. **Fisiologia vegetal**. Barcelona, Omega, 1975. p.146-75.
- ELLIS, C. & SWANEY, M.W. **Cultivo hidrónico de las plantas**. Madrid, Interciencia, 1967. p.15-38.
- EPSTEIN, E. **Nutrição mineral das plantas**. São Paulo, Livros Técnicos e Científicos, 1975. 341p.
- ESAU, K. Minor veins in Beta leaves: structure related to function. *Proc. Am. Phil. Soc.*, **111**: 219-33, 1967.
- ESCHRICH, W. Bidirectional transport. In: ZIMMERMANN, M.H. & MILBURN, J.A. **Transport in plants. I. Phloem transport**. Berlin, Springer, 1975. p.245-56.
- FENSON, D.S. Other possible mechanisms. In: ZIMMERMANN, M.H. & MILBURN, J.A. **Transport in plants. I. Phloem transport**. Berlin, Springer, 1975. p.354-67.
- FRANKE, W. Mechanism of foliar penetration of solutions. *Ann. Rev. Pl. Physiol.*, **18**: 281-301, 1967.
- GAUCH, H.G. **Inorganic plant nutrition**. Stroudsburg, Dowden Hutchinson & Ross, 1972. 487p.
- GAUCH, H.G. **Inorganic plant nutrition**. Stroudsburg, Dowden Hutchinson & Ross, 1973. p.28-143.
- GAUCH, H.G. & DUGGER, W.M. The role of boron in the translocation of sucrose. *Pl. Physiol.*, **28**: 457-66, 1953.

- GEIGER, D.R. Phloem loading. In: ZIMMERMANN, M.H. & MILBURN, J.A. **Transport in plants. I. Phloem transport.** Berlin, Springer, 1975. p.395-432.
- GEIGER, D.R. & SOVONICK, S.A. Effects of temperature, anoxia and other metabolic inhibitors on translocation. In ZIMMERMANN, M.H. & MILBURN, J.A. **Transport in plants. I. Phloem transport.** Berlin, Springer, 1975. p.256-89.
- GIAQUINTA, R.T. Phloem loading of sucrose. **Ann. Rev. Pl. Physiol.**, **34**: 347-87, 1983.
- GOSS, J. **Physiology of plants and their cells.** New York, Pergamon, 1973. p.297-329.
- GREULACH, V.A. **Plant function and structure.** New York, Macmillan & Collier Macmillan, 1973. p.161-291.
- HAY, R.E.; EARLEY, E.B.; De TURK, E.E. Concentration and translocation of nitrogen compounds in the corn plants (*Zea mays*) during grain development. **Pl. Physiol.**, **28**: 606-21, 1953.
- HALE, C.H. & WEAVER, R.J. The effect of developmental stage on direction of translocation of photosynthate in *Vitis vinifera*. **Hilgardia**, **33**: 89-131, 1962.
- HEPLER, P.K. & WAYNE D.R. Calcium and plant development **Ann. Rev. Pl. Physiol.**, **36**: 397-439, 1985.
- HEWITT, E.J. The essential nutrient elements: requirements and interactions in plants. In: STEWARD, F.C. **Plant physiology, a treatise.** New York, Academic, 1959. p.137-1363.
- HEWITT, E.J. & SMITH, T.A. **Plant mineral nutrition.** London, English Universities, 1974. 298p.
- HÖLL, W. Radial transport in rays. In: ZIMMERMANN, M. H. & MILBURN, J.A. **Transport in plants. I. Phloem transport.** Berlin, Springer, 1975. p.432-41.

- HYLMO, B. Transpiration and absorption. *Physiol. Pl.*, 6, 333-405, 1953.
- KAMIYA, N. Physical and chemical basis of cytoplasmic streaming. *Ann. Rev. Pl. Physiol.*, 32: 205-37, 1981.
- LAUCHLI, A. Untersuchungen über verteilung und transport von Ionen in pflanzengewebe mit der Röntgen - mikrosonde. I. Versuche an vegetativen Organen von *Zea mays*. *Planta*, 75: 185-206, 1967.
- LAUCHLI, A. Untersuchungen des stofftransports in der pflanze mit der Röntgen-mikrosonde. *Vorträge aus dem gesamtgebiet der Botanik N.F.*, 2: 58-65, 1968.
- LAUCHLI, A. Translocation of inorganic solutes. *Ann. Rev. Pl. Physiol.*, 23: 197-218, 1972.
- LAUCHLI, A.; SPURR, A.R.; EPSTEIN, E. Lateral transport of ions into the xylem of corn roots. II. Evaluation of a stelar pump. *Pl. Physiol.*, 48: 118-24, 1971.
- LUTTGE, U. & LATIES, G.G. Dual mechanisms of ion absorption in relation to long distance transport in plants. *Pl. Physiol.*, 41: 1531-9, 1966.
- MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo.** São Paulo, Ceres, 1976. p.67-84.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas.** São Paulo, Ceres, 1980. p.80-104.
- MALAVOLTA, E.; HAAG, H.P.; MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C. **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas.** São Paulo, Pioneira, 1974. p.1-148.
- MORODER, H.L. Traslado de substâncias orgânicas. In: SÍVORI, E.M.; MONTALDI, E.R.; TASO, O.H.. **Fisiologia vegetal.** Buenos Aires, Hemisferio Sur, 1980. p.373-91.

- MAZLIAK, P. **Fisiología vegetal: nutrición y metabolismo.** Barcelona, Omega, 1976. p.311-47.
- MENGEL, K. & KIRBY, E.A. **Principles of plant nutrition.** Worblaufen, International Potash Institute, 1978. p. 163-211.
- MILBURN, J.A. Pressure flow. In: ZIMMERMANN, M.H. & MILBURN, J.A. **Transport in plants. I. Phloem transport.** Berlin, Springer, 1975. p.328-54.
- MILTHORPE, F.L. & MOORBY, J. **An introduction to crop physiology.** Cambridge, Cambridge University, 1974. p.48-71.
- NISSEN, P. Uptake mechanisms: inorganic and organic. **Ann. Rev. Pl. Physiol.**, 25: 53-79, 1974.
- NOBEL, P.S. **Plant cell physiology: a physiochemical approach.** San Francisco, W.H. Freeman, 1970. p.75-128.
- PATE, J.S. Exchange of solutes between phloem and xylem and circulation in whole plant. In: **Transport in plants. I. Phloem transport.** Berlin, Springer, 1975. p.451-73.
- PATE, J.S. & GUNNINE, B.E.S. Transfer cells. **Ann. Rev. Pl. Physiol.**, 23: 173-97, 1972.
- PEARSON, C.J. & MUIRHEAD, W.A. Nitrogen uptake. In: PEARSON, C.J. **Control of crop productivity.** Sidney, Academic, 1984. p.73-91.
- RESNIK, M.E. Nutricion mineral. In: SÍVORI, E.M.; MONTALDI, E.R.; CASO, O.H. **Fisiología vegetal.** Buenos Aires, Hemisferio Sur, 1980. p.245-85.
- RICHARDSON, M. **Translocation in plants.** London, Edward Arnold, 1976. 59p.
- SCHOLANDER, P.F.; HAMMEL, H.T.; BRADSTREET, E.D.; HEMMINGSEN, E. A. Sap pressure in vascular plants. **Science**, 148: 339-46, 1965.

- SMITH, R.C. & EPSTEIN, E. Ion absorption by shoot tissue: technique and first finding with excised leaf tissue of corn. *Pl. Physiol.*, **39**: 338-41, 1964a.
- SMITH R.E. & EPSTEIN, E. Ion absorption by shoot tissue: kinetics of potassium and rubidium absorption by corn leaf tissue. *Pl. Physiol.*, **39**: 992-6, 1964b.
- SORIANO, A. & MONTALDI, E.R. Relaciones hidricas. In: SÍVORI, E.M.; MONTALDI, E.R.; CASO, O.H. **Fisiologia vegetal**. Buenos Aires, Hemisferio Sur, 1980. p.319-73.
- SPANNER, D.C. The translocation of sugar in sieves tubes. *J. exptl. Bot.*, **9**: 332-42, 1958.
- SPANNER, D.C. Electroosmotic flow. ZIMMERMANN, M.H. & MILBURN, J.A. **Transport in plants**, I. **Phloem transport**. Berlin, Springer, 1975. p.301-28.
- STREET, H.E. & UPIK, H. **Fisiologia das angiospermas: crescimento e desenvolvimento**. São Paulo, Polígono / EDUSP, 1974. p.105-39.
- SUTCLIFFE, J.F. **Mineral salts absorption in plants**. New York, Pergamon, 1962.
- STUCLIFFE, J.F. & BAKER, D.A. **Plants and mineral salts**. London, Edward Arnold, 1974. 59p.
- SWANSON, C.A. Translocation of organic solutes. In: STEWARD, F.C. **Plant physiology, a treatise**. New York, Academic Press, 1959. p.481-545.
- THAINE, R.; PROBINE, M.C.; DYER, P.Y. The existence of transcellular strands in mature sieve elements. *J. exptl. Bot.*, **18**: 110-27, 1967.
- THOMAS, M.; RANSON, S.L.; RICHARDSON, J. A. **Plant physiology**. London, Gropman, 1973. p.336-99.
- Van Der HONERT, T.H. On the mechanism of transport of organic material in plants. *Konink. Akad. Wet. Amsterdam Proc.*, **35**: 1104-12, 1932.

- WARDLAW, I.A. Phloem transport: physical, chemical or impossible. **Ann. Rev. Pl. Physiol.**, 25: 515-39, 1974.
- YU, G.H. & KRAMER, P.J. Radial salt transport in corn roots. **Pl. Physiol.**, 42: 985-90, 1967.
- ZIEGLER, H. Nature of transported substances. In: ZIMMERMANN, M.H. & MILBURN, J.A. **Transport in plants**. I. **Phloem transport**. Berlin, Verlag, 1975. p.59-139.

## AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DAS PLANTAS CULTIVADAS

*Ciro Antonio Rosolem*<sup>1</sup>  
*Antonio Eneidi Boaretto*<sup>1</sup>

### 1. INTRODUÇÃO

A análise química das plantas superiores tem revelado a presença de pelo menos 40 elementos químicos. Destes nem todos são essenciais ou possuem efeitos benéficos para os vegetais.

Para que um elemento químico seja considerado nutriente vegetal, três critérios devem ser preenchidos:

- 1º) A planta não pode completar seu ciclo vital sem ele;
- 2º) A ação do elemento químico em questão deve ser específica e não pode ser substituído por qualquer outro elemento químico;
- 3º) O efeito do elemento químico na planta deve ser direto, seja como constituinte de um metabólito essencial ou seja requerido para a ação de um sistema enzimático.

Baseando-se nesses critérios os seguintes elementos químicos são considerados essenciais para as plantas superiores:

---

<sup>1</sup> Engº Agrº, M.S. Dr., Livre-Docente, Fac. Ciências Agrônômicas-UNESP, 18600 Botucatu-SP, C.P. 237  
Tel. (0149) 22-3883

Elemento	Simb.	Elemento	Simb.	Elemento	Simb.
Carbono	C	Potássio	K	Zinco	Zn
Hidrogênio	H	Cálcio	Ca	Molibdênio	Mo
Oxigênio	O	Magnésio	Mg	Boro	B
Nitrogênio	N	Ferro	Fe	Cloro	Cl
Fósforo	P	Manganês	Mn	(Sódio)	(Na)
Enxofre	S	Cobre	Cu	(Silício)	(Si)
				(Cobalto)	(Co)
				(Níquel)	(Ni)

Para os elementos químicos citados entre parênteses a essencialidade está ainda em discussão.

As plantas podem conter altas concentrações de elementos químicos não essenciais que podem ter efeitos tóxicos; por exemplo: Alumínio (Al), Níquel (Ni), Selênio (Se) e Fluor (F), etc.

É necessário lembrar que um nutriente pode também ter efeito tóxico, caso esteja presente na planta em concentração superior a necessária, sendo mais frequente para os micronutrientes.

Na falta de um nutriente, sinônimo de deficiência ou quando há excesso de um nutriente ou de um outro elemento químico, as plantas podem manifestar sintomas característicos. Tais sintomas que aparecem nas folhas, caules e raízes podem ser de grande ajuda para se determinar o estado nutricional do vegetal. Muitas vezes o sintoma de carência ou toxidez não é visível, mas mesmo assim pode haver falta ou excesso de um nutriente, o que é chamado de "fome" ou "toxidez" escondida, sendo detectada somente através de análise química do material vegetal ou diagnose foliar.

## 2. DIAGNOSE DA DESORDEM NUTRICIONAL ATRAVÉS DOS SINTOMAS VISÍVEIS

Pode-se conhecer a carência de um nutriente qualquer através de observação minuciosa do sintoma característico. Para se fazer o diagnóstico é necessário compa

rar a planta que apresenta o sintoma com a planta padrão ou planta normal, que seria um indivíduo da mesma população, que apresente alta produtividade ou crescimento vigoroso.

A manifestação externa de sintomas é o último passo de uma sequência de eventos. Para exemplificar cita-se a carência de zinco, que se manifesta visivelmente pelo encurtamento dos internódios. Para que este sintoma se manifestasse, houve uma série de outros eventos, que podem ser assim resumidos: lesão molecular + lesão submolecular + lesão celular + lesão no tecido + manifestação visível.

Segundo MALAVOLTA (1980) quando se vai fazer o diagnóstico visual no campo deve-se levar em consideração os seguintes pontos:

1) **Distribuição:** dependendo do nutriente e da situação os sintomas de deficiência ou toxidez apresentam-se distribuídos por toda a gleba, mas eventualmente podem aparecer em reboleiras. Estes normalmente revelam falhas no preparo do solo, calagem, drenagem e/ou regulação de máquinas.

2) **Simetria:** Se uma folha mostra o sintoma, a que lhe for oposta também deverá mostrar e a anormalidade deve se manifestar na planta independentemente da exposição cardinal.

3) **Gradiente:** É possível encontrar os sintomas de deficiência ou toxidez com diferentes intensidades numa mesma planta ou num mesmo ramo. Normalmente quando a causa dos sintomas são as pragas ou doenças, não se observam as características de simetria e gradiente.

4) **Pragas e doenças:** Deve-se ter em mente que algumas doenças e pragas podem causar sintomas de anormalidade que podem ser confundidos com os sintomas de deficiência ou de toxidez. Podendo ainda ocorrer a deficiência como um sintoma secundário de algumas doenças e/ou pragas.

Ressalta-se ainda que condições climáticas severas

podem agravar ou atenuar deficiências e toxidez, podendo mesmo condicionar seus aparecimentos.

Considerando que a seqüência de eventos que leva ao aparecimento da deficiência é específico para o nutriente e uma consequência de sua função na planta, a manifestação do sintoma deve ser semelhante para as diversas espécies. Assim, de maneira genérica, podem ser descritos os sintomas específicos de cada nutriente. Desta forma é feita em seguida uma breve explanação dos sintomas de carência de cada nutriente (MILLER et alii, 1986).

**Nitrogênio:** Havendo redistribuição do N das folhas mais velhas para as folhas novas, resulta que as mais velhas tornam-se amareladas. Plantas que são deficientes em N permanecem pequenas e logo tornam-se cloróticas. A deficiência de clorofila, devido a falta de N na planta, tem como consequência a perda de capacidade de assimilar e formar carboidratos, induzindo prematuramente a formação floral e conseqüentemente haverá produção de poucos frutos.

**Fósforo:** Em muitas espécies vegetais sob condições de deficiência de P há formação de pigmentos de antocianina, fazendo aparecer uma coloração arroxeada. Algumas vezes o sintoma manifestado nas folhas é um verde escuro. As plantas afetadas por deficiência de P tem um pequeno desenvolvimento radicular, acompanhado de uma paralisação do crescimento e folhas e caule são bem menores do que nas plantas normais. O florescimento e a maturação são retardados e as sementes e frutos produzidos são pequenos.

**Potássio:** O sintoma mais característico da deficiência de K é o secamento da ponta e das margens das folhas mais velhas. Primeiramente as folhas amarelecem, a seguir tornam-se de cor marrom e finalmente secam.

**Cálcio:** O Ca tem pouca mobilidade na planta acumulando-se nos tecidos maduros, conseqüentemente os sintomas de deficiência de Ca são vistos primeiramente nos tecidos mais jovens, no ápice das raízes e nas folhas próximas do ápice vegetativo. As raízes podem ser pequenas, finas e adquirem uma cor parda-marrom.

**Magnésio:** Pelo fato que a maior parte de Mg é facilmente translocado na planta, o sintoma de deficiência é primeiramente manifestado nas folhas mais velhas. O primeiro sintoma revelado é desaparecimento da clorofila com conseqüente amarelecimento dos espaços entre as nervuras das folhas, que permanecem verdes.

**Enxofre:** O sintoma de deficiência de S aparece nas folhas mais novas que se tornam cloróticas, podendo exibir este sintoma em todo o sistema foliar, quando a deficiência é severa. Em algumas plantas há síntese de pigmentos de antocianina.

**Ferro:** Porque o Fe está envolvido na formação da clorofila, a deficiência se manifesta pela perda da cor verde das folhas, aparecendo primeiramente nas folhas mais novas.

**Manganês:** A deficiência de Mn se diferencia de Mg por se manifestar nas folhas mais novas.

**Zinco:** A deficiência de Zn, conhecida como a "doença das folhas pequenas" se caracteriza pelo pequeno desenvolvimento dos ramos que se tornam curtos e as folhas formam "rosetas", por permanecerem juntas umas das outras.

**Cobre:** O sintoma é a morte descendente ("dieback") de ramos. As folhas se encurvam, podendo haver clorose que se localiza na ponta das folhas.

**Boro:** Em casos de deficiência de B o sintoma é similar a aquele do Ca. O B também é imóvel e o sintoma aparece primeiro nas extremidades das raízes. Em geral há morte das gemas apicais dos ramos, havendo tendência de brotações laterais.

**Molibdênio:** A deficiência de Mo manifesta sintoma igual ao da deficiência de N. Nas brássicas o sintoma se manifesta pelo aparecimento de folhas defeituosas (tipo chicote).

Após esta descrição geral é dada a seguir a chave para que se possa distinguir os diferentes sintomas (MALVOLTA, 1975).

## CHAVE DE IDENTIFICAÇÃO DOS SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA

- A. Sintomas localizados inicialmente nos órgãos mais velhos.
- A.1. clorose uniforme da lâmina foliar ..... N
  - A.2. coloração verde-azulada, tonalidades roxas na lâmina foliar ..... P
  - A.3. clorose e necrose da margem e da ponta da folha ..... K
  - A.4. clorose internerval ..... Mg
  - A.5. clorose internerval e enrolamento da lâmina para cima ou para baixo ..... Mo
- B. Sintomas localizados nos órgãos mais novos
- B.1. clorose internerval, morte de gema apical ..... Ca
  - B.2. clorose uniforme da lâmina foliar ..... S
  - B.3. Deformação e diminuição no tamanho da lâmina foliar, morte da gema terminal ..... B
  - B.4. clorose ou coloração verde azulada e enrolamento da lâmina foliar ..... Cu
  - B.5. clorose da lâmina foliar com reticulado fino das nervuras ..... Fe
  - B.6. clorose da lâmina foliar com reticulado grosso das nervuras ..... Mn
  - B.7. encurtamento de internódios ..... Zn

É apresentado ainda um quadro geral que serve como guia para identificação de desordens nutricionais (MARCHNER, 1986).

- Guia para diagnose visual de desordens nutricionais.

Parte da planta	Sintoma predominante	Desordem		
		Deficiência	Toxidez	
Lâminas foliares velhas e maduras	clorose	uniforme	N(S) <sup>1</sup>	-
		internerval ou manchas	Mg(Mn)	-
	necrose	ponta e "queimadura" marginal	K	-
		internerval	Mg(Mn)	-
Lâminas foliar novas e ápice	clorose	uniforme	Fe(S)	-
		internerval ou manchas	Zn(Mn)	-
	necrose	Ca, B, Cu	-	
	Deformação	Mo(Zn, B)	-	
Lâminas foliares e maduras	necrose (manchas)	-	Mn(B)	
	ponta e 'queimadura' marginal	-	B	

1. As letras entre parênteses indicam que os sintomas são variáveis.

### 3. DIAGNOSE DA DESORDEM NUTRICIONAL ATRAVÉS DE ANÁLISE QUÍMICA

Embora a diagnose visual seja muito prática, pois, não requer equipamento e investimento, suas desvantagens fazem com que muitas vezes uma deficiência passe despercebida ou mesmo seja confundida. As principais desvantagens são:

a) Em razão da interação da planta com o meio ambiente, muitas vezes a deficiência fica descaracterizada, exigindo muita prática do observador para que seja reconhecida;

b) Embora se diferencie clara e didaticamente as diferentes deficiências, no campo, em função da severidade de maior ou menor e da possibilidade de ocorrência de deficiência de dois ou mais nutrientes concomitantemente, o reconhecimento é dificultado;

c) Muitas vezes a deficiência não se apresenta com a severidade necessária à visualização do sintoma, mas só existe algum dano metabólico, caracterizando uma "forma escondida", impossível de ser reconhecida visualmente.

Desta forma a maneira mais segura, embora não seja infalível, de detecção de deficiências minerais em plantas é atualmente a diagnose foliar.

#### 3.1. Princípios

Na Figura 1 encontra-se uma curva de resposta típica à adubação, mostrando a existência de níveis baixos, ótimos e supra ótimo de nutrientes no solo, definindo a necessidade ou não de adubação.

A presença de determinado nível de nutrientes no solo condiciona sua maior ou menor absorção pelas plantas, existindo uma relação entre disponibilidade do elemento e a quantidade absorvida do mesmo, de acordo com a figura.

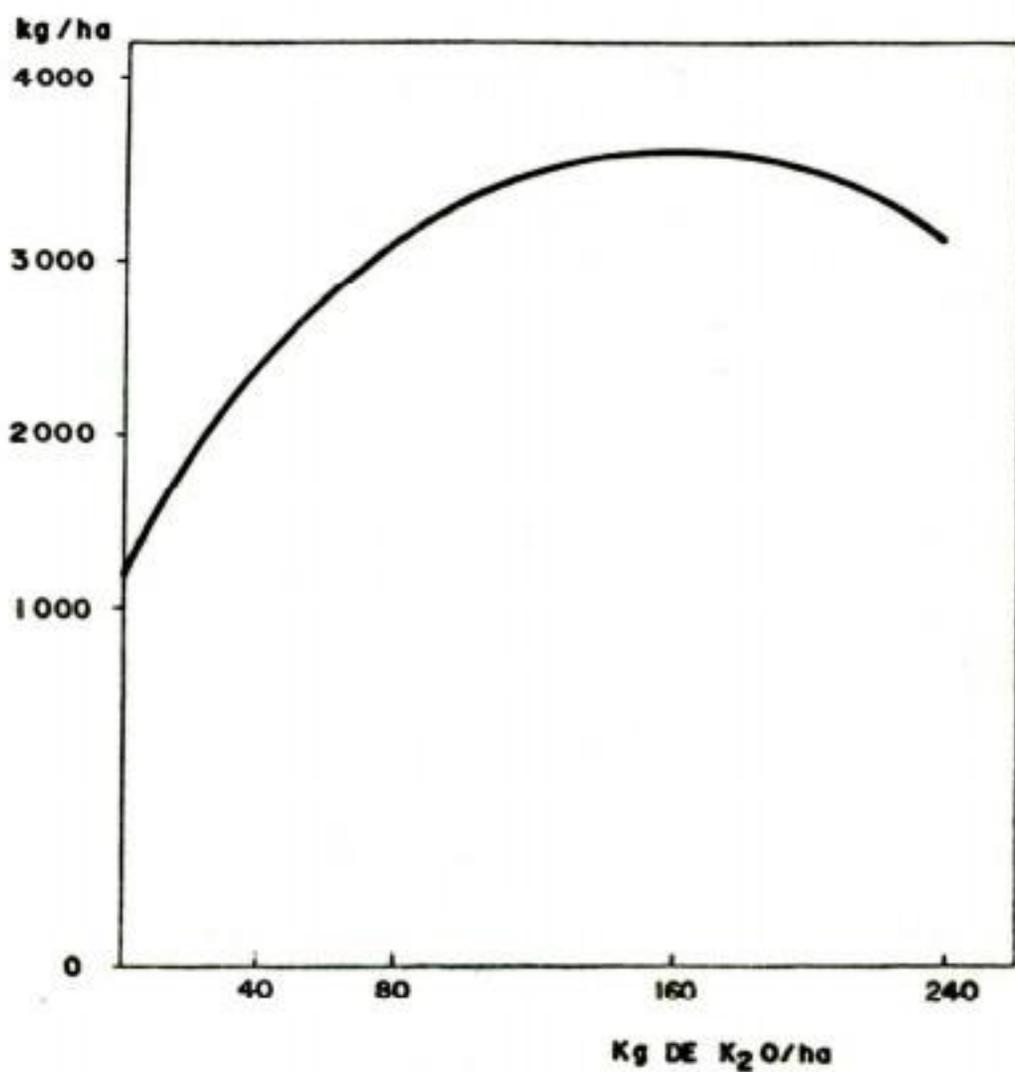


Figura 1. Curva de resposta de soja a doses de potássio (ROSOLEM et al., 1988).

Por outro lado a produção de determinada planta guarda relação com o estado nutricional da mesma, de acordo com a Figura 2. Na referida figura notam-se regiões de deficiência, de "forma escondida", ótima e supra ótima, caracterizando uma região de toxidez ou desbalanceamento entre os nutrientes.

Consequentemente pode-se estabelecer uma curva relacionando o teor de nutriente na planta com a produtividade (Figura 3), curva essa que representa de maneira fiel o comportamento do vegetal em relação ao seu estado nutricional, permitindo assim a detecção da necessidade de correções.

Enquanto a análise de terra estima o quanto o solo poderia fornecer de nutrientes à planta, a diagnose foliar avalia quanto o solo está fornecendo, pois utiliza a própria planta como extratora.

### 3.2. Limitações

Evidentemente somente será válido um resultado de análise foliar se houver um padrão para que o mesmo seja comparado. Existem variações entre espécies e intra espécies, dificultando sobremaneira a generalização dos padrões existentes. Além disso, para a maioria das variedades cultivadas no Brasil, ainda não foram definidos estes padrões.

O teor ótimo de nutriente na planta varia com a idade do vegetal e com a idade do órgão amostrado, assim um padrão somente será válido para o órgão e idade na época da amostragem.

Existe um efeito sazonal nos teores de nutrientes na planta. Além disso os padrões são definidos em plantas cultivadas na ausência de limitação de luz, água, temperatura e em bom estado fitossanitário, fatores que alteram a composição mineral do vegetal. Desta forma, teores que se mostrem alterados em relação ao normal, durante qualquer época em que uma ou mais limitações ocorreram, podem ter sua situação regularizada assim que o crescimento normal novamente aconteça.

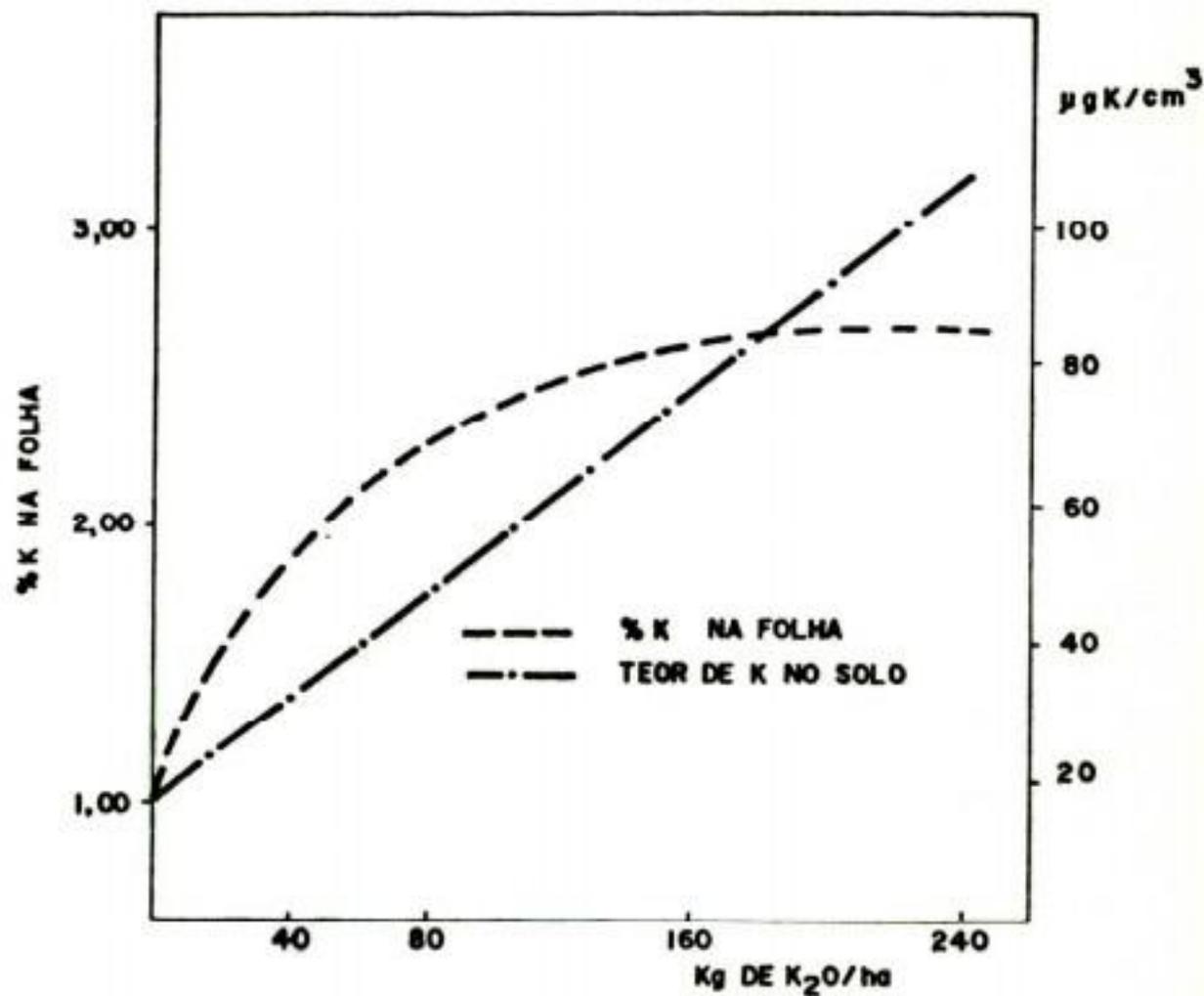


Figura 2. Relação entre teores de potássio nas folhas de soja, adubação potássica e o teor de potássio no solo (ROSOLEM et al., 1988).

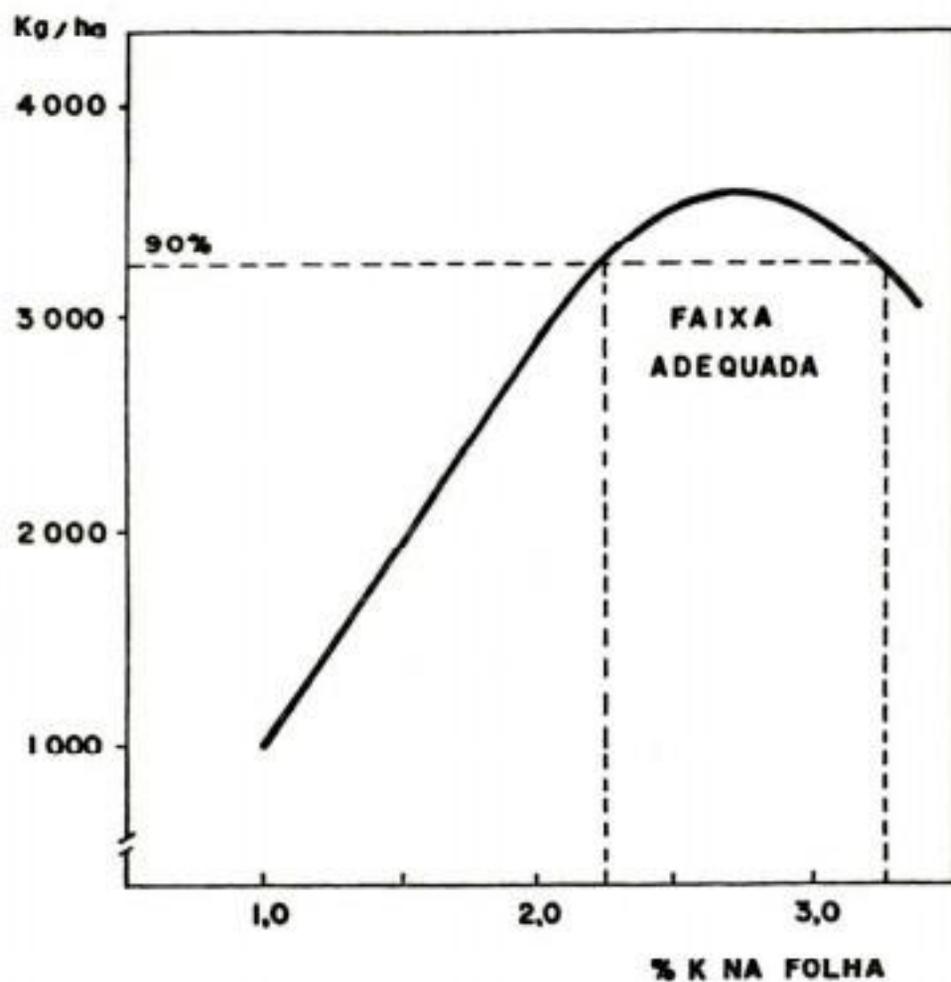


Figura 3. Relação entre produtividade de soja e teor foliar de potássio (ROSOLEM et al., 1988).

Em plantas perenes há tempo suficiente para a realização da diagnose foliar e correção ainda no mesmo ciclo produtivo, mas quanto mais curto o ciclo da cultura maiores as restrições da diagnose foliar quanto a este aspecto. Em culturas anuais somente será possível a correção no próximo ciclo.

Assim o passo mais importante na diagnose foliar é sem dúvida a amostragem, cuja qualidade definirá a qualidade da estimativa do estado nutricional da cultura.

### 3.3. Amostragem e interpretação

#### a. Órgão e época de amostragem

Como discutido anteriormente, determinados órgãos da planta apresentam-se mais sensíveis às diferenças nutricionais numa idade específica. Desta forma, é fundamental que a amostragem siga os parâmetros indicados na Tabela 1.

Entretanto, em função das limitações da diagnose foliar apontadas anteriormente, é interessante que, no caso da identificação de deficiências, sejam também amostradas plantas vigorosas e sadias, que serão utilizadas como padrão específico para cada caso.

#### b. Coleta de material

O órgão listado na Tabela 1 deve ser coletado de acordo com as indicações, tomando uma amostra composta representativa de cada área homogênea, seguindo os mesmos critérios indicados para a amostragem de solo. Não deve ser colhido material de plantas que apresentem doenças fúngicas, viróticas ou bacterioses ou ainda apresentem-se atacadas por pragas. É ideal que as plantas amostradas não estejam sob déficit hídrico acentuado ou tenham sido expostas a temperaturas extremas. Para as plantas perenes coletar as amostras nos 4 pontos cardiais.

Tabela 1. Órgãos e épocas de amostragens para diagnose foliar.

Cultura	Órgão a amostrar	Época	Número
Abacateiro	Limbo foliar de ramo	Brotação de primavera	4 folhas/árvore (25 árvores por área representativa)
Abacaxi	Folha "D" inteira	Florescimento	1 folha/planta (25 plantas. Cortar as folhas em pedaços e retirar uma porção de 200 g).
Aipo	Folha madura mais jovem	Metade do ciclo vegetativo, plantas com 25 a 35 cm.	50 plantas
Alface	Nervura mediana da folha envolvente	Aparecimento da cabeça	50 plantas
Alfafa	Seção média da haste	Florescimento	50 plantas
Algodão	Limbo da 5ª folha a partir do ápice	Florescimento 80-90 dias	30 plantas
Alho	Parte aérea	90 a 105 dias	

Cont.

Tabela 1. Continuação.

Cultura	Órgão a amostrar	Época	Número
Ameixeira	Folha inteira da altura média da planta. Folha do ano.	Florescimento	4 a 8 folhas/arvore
Amendoim	Parte superior da haste com folhas	Início da emissão dos ginóforos	10 plantas
Amoreira	Limbo da 1ª folha adulta, abaixo do ponto de crescimento	Colheita	2 folhas/planta (50 plantas)
Arroz	Parte aérea	30 dias após emergência	20 plantas
Aspargo	30cm superiores dos ramos, eliminando-se a haste	Outono	25 plantas
Aveia	Limbo das 4 primeiras folhas a partir do ápice	Florescimento	50 plantas
Bananeira	10cm centrais da 3ª folha a partir do ápice, eliminando-se as nervuras central e periféricas	Emissão de inflorescência	1 folha/planta (25 plantas)

Cont.

Tabela 1. Continuação

Cultura	Órgão a amostrar	Época	Número
Batata	3ª folha a partir do tufo apical	30, 50 e 70 dias	30 plantas
Beterraba	Limbo de uma folha recém madura	Metade do ciclo	50 plantas
Brócoli	Nervura central de folhas externas	Início de formação de "cabeça"	50 plantas
Cacaueiro	Limbo da 2ª e 3ª folhas verdes, a partir do ápice do ramo de altura média da planta	4 a 8 semanas após o florescimento	4 folhas/árvore (25 plantas)
Cafeeiro	Folha inteira, 3ª par a partir do ápice dos ramos. Altura média das plantas	Verão	4 folhas/planta (25 plantas)
Cana-de-açúcar	20cm centrais da folha +3, excluída a nervura central	Cana de ano- 4 a 5 meses cana de cano e meio - 9 meses	100 plantas
Cebola	Folha madura mais jovem	Metade do ciclo maior crescimento do bulbo	50 plantas

Cont.

Tabela 1. Continuação

Cultura	Órgão a amostrar	Época	Número
Cenoura	Folhas inteiras	Metade da fase de maior crescimento das raízes	50 plantas
Centeio	Limbo das 4 primeiras folhas a partir do ápice	Florescimento	50 plantas
Coqueiro	3 folíolos de cada lado da parte central da folha. Retirar 10cm central de cada folíolo sem a nervura principal	Até 4 anos folha nº 4; 5/7 anos: folha nº 9; mais de 8 anos: folha nº 14.	25 plantas
Couve de bruxelas	Folha das mais novas plenamente desenvolvidas, sem pecíolo	Verão	50 plantas
Couve-flor	Folha recentemente madura (limbo)	Abotoamento	50 plantas
Chá	2ª folha a partir do do ápice de ramo não lignificado	Maió/junho	4 folhas/planta (25 plantas)

Cont.

Tabela 1. Continuação.

Cultura	Órgão a amostrar	Época	Número
Citros	Folha da primavera nos ramos c/frutos	Folhas de 6 meses	4 folhas/planta (25 árvores)
Dendezeiro	2 folíolos de cada lado da parte central da folha. Retirar os 10cm centrais eliminando-se a nervura principal.	Até 2 anos: folha nº 9; de 2 a 4 anos: folhas 9 e 17; mais de 4 anos: folha 17	25 árvores
Ervilha	Folha do 3º nó, a partir do ápice	Planta com 8 a 9 ramos	50 plantas
Espinafre	Folha madura mais nova	30-35 dias	30 plantas
Feijoeiro	Folha do terço médio de planta	Florescimento	10 plantas
Fumo	4ª e 6ª folha acima da base	Florescimento	30 plantas
Girassol	Amostra composta de folhas de todas as plantas	Início do florescimento	10 plantas
Macieira	Folha do ramo do ano, altura média da planta	Florescimento	4 a 8 folhas/árvore (25 árvores)
Mamão	Amostra composta de folhas de todas as idades	Quando manifesta o sintoma	10 plantas

Cont.

Tabela 1. Continuação.

Cultura	Órgão a amostrar	Época	Número
Mandioca	Limbo de 1ª/2ª folha do ápice da haste principal	1/3 da altura, após ramificação	50 plantas/época
Mangueira	Folha da parte média dos ramos do último ano, altura média de planta	Florescimento	4 folhas/árvore (25 árvores)
Melancia	Folha madura mais jovem	Metade do ciclo	30 plantas
Milho	30cm do terço basal na folha +4, excluída a nervura principal	9 semanas	30 plantas
Morangueiro	Limbo da 3ª folha a partir do ápice	Florescimento	50 plantas
Pastagens	Folhas normalmente pastejadas pelo gado	Verão	300g de material fresco
Pecã	Um par de folíolos da parte média da folha com raquis que aparece nos ramos terminais, altura média da planta	6 a 8 semanas após o florescimento.	4 pares/árvore (25 árvores)
			Cont.

Tabela 1. Continuação.

Cultura	Órgão a amostrar	Época	Número
Pereira e Pessequeiro	Folhas com pecíolo dos ramos do ano, na altura média da planta	Florescimento	4 pares/planta
Pimentão	Folha madura mais jovem	Metade do ciclo	50 plantas
Pinus	Folhas dos ramos do último ano, altura média da planta	Verão	10/árvores (30 plantas)
Repolho	Nervura central da folha externa envolvente	Início de formação da cabeça	50 folhas
Seringueira	Limbo foliar.	Até 4 anos: folhas com 4 a 6 meses; mais de 4 anos: fo- lhas com 10-12 meses	4 folhas/buquê (25 árvores)
Soja	3. <sup>a</sup> folha a partir do ápice	Florescimento	30 plantas

Cont.

Tabela 1. Continuação.

Cultura	Órgão a amostrar	Época	Número
Sorgo granífero	Folha de altura mediana da planta	Emborrachamento	30 plantas
Sorgo sacarino	Folha +3 ou +4	Emborrachamento	30 plantas
Tomate	Limbo da 1ª folha abaixo do 2º cacho	Emissão do cacho floral	30 plantas
Trevos	Limbo das 4 primeiras folhas a partir do ápice	Florescimento	50 plantas
Trigo	Limbo das 4 primeiras folhas a partir do ápice	Florescimento	50 plantas
Videira	Limbo da 6ª folha a partir do ápice	Florescimento	25 plantas

### c) Acondicionamento a temperaturas extremas

Segundo TRANI et alii (1983), as folhas coletadas devem ser colocadas em sacos de plástico ou papel, identificadas e enviadas ao laboratório. Deve ser evitado o acondicionamento por mais de 5 dias em sacos ou caixas que não permitam trocas gasosas, o que poderia levar à ocorrência de fermentações indesejáveis.

No caso de impossibilidade do material chegar ao laboratório em 2 dias, o mesmo deve ser lavado no próprio local para remover contaminações por terra, poeira e defensivos. A seguir coloca-se a amostra em sacos de papel, que devem ser expostos ao sol até que o material esteja seco, mesmo que parcialmente. A solução de lavagem pode conter 1 ml de detergente por litro de água filtrada, de preferência. Após a lavagem com detergente a amostra deve ser enxaguada em água limpa por pelo menos 3 vezes.

É possível ainda a conservação do material verde por 2 ou 3 dias em refrigerador, sem que haja deterioração.

### d) Interpretação

Normalmente são definidas faixas adequadas de nutrientes nas plantas, uma vez que seria praticamente impossível a definição de um ponto. Na Tabela 2 entretanto, para sistematização são apresentados pontos. Os valores apresentados seriam teoricamente o limiar inferior da faixa de teores adequados para cada situação.

É importante considerar que muitos dos valores relacionados foram obtidos da literatura internacional, e para uma dada cultura, os valores para cada nutriente em muitos casos foram obtidos por autores diferentes, em condições experimentais diversas. Desta forma os valores relacionados na Tabela 2 devem ser tomados como indicadores grosseiros. Uma indicação mais segura da existência ou não de determinada deficiência será obtida através da amostragem de plantas vigorosas que estejam crescendo em condições semelhantes à planta problema, conforme já foi discutido.

Tabela 2. Teores mínimos adequados de nutrientes na matéria seca em algumas culturas.

Cultura	Macronutrientes (%)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Abacateiro	1,6	0,12	1,3	1,2	0,3	-
Abacaxi	1,5	0,12	3,0	0,5	3,0	-
Aipo	2,5	0,30	4,0	0,6	0,2	-
Alface	2,5	0,40	6,0	1,4	0,5	-
Alfafa	-	0,23	1,5	1,6	-	0,3
Algodão	5,2	0,17	1,5	2,0	0,5	0,4
Alho	2,5	0,30	3,7	0,5	0,2	0,5
Ameixeira	-	-	1,5	2,0	0,2	-
Amendoim	3,5	0,20	1,7	1,3	0,3	0,2
Arroz	3,0	0,12	2,0	0,6	0,3	-
Aspargo	2,4	0,20	1,5	0,4	0,2	-
Aveia	1,8	0,15	2,0	1,0	0,2	0,2
Bananeira	2,6	0,22	2,8	0,6	0,3	0,2
Batata	5,0	0,33	3,0	2,5	0,2	-
Beterraba	3,0	0,20	2,0	1,7	0,2	-
Brócoli	3,2	0,30	2,0	1,2	0,2	-
Cacaueiro	-	-	2,0	-	0,3	-
Cafeeiro	2,8	0,12	1,8	1,0	0,4	0,2
Cana-de-açúcar	1,6	0,12	1,2	0,4	0,2	0,2
Cenoura	2,0	0,26	2,5	1,4	0,4	-
Cebola	1,5	0,25	-	-	-	-
Centeio	1,85	0,15	1,5	0,2	0,2	0,2
Cevada	1,85	0,20	1,5	0,3	0,2	0,2
Coqueiro	1,85	0,15	-	-	-	-
Couve de bruxelas	2,2	0,26	2,4	0,3	0,2	-
Couve flor	3,0	0,50	3,0	0,7	0,3	-
Chã	-	-	1,1	-	-	-
Citros	2,2	0,12	1,0	3,0	0,3	0,2
Dendzeiro	-	0,15	-	-	0,2	-
Espinafre	4,2	0,48	3,8	0,6	1,6	-
Ervilha	2,7	0,25	1,5	1,7	0,3	-

Cont.

Tabela 2. Continuação

Cultura	Macronutrientes					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Feijoeiro	2,0	0,20	2,0	1,5	0,3	0,2
Fumo	-	0,25	3,0	1,5	0,2	0,2
Girassol	3,6	0,40	3,4	2,6	0,5	0,2
Macieira	2,2	0,18	1,3	1,0	0,4	0,2
Mamoeiro	4,2	0,52	3,8	1,3	0,7	-
Mangueira	-	-	-	0,9	0,3	-
Melancia	2,0	0,2	2,5	2,5	0,6	-
Milho	3,0	0,22	2,0	0,5	0,3	0,2
Morangueiro	-	0,25	1,5	1,0	-	-
Pastagens	-	-	-	-	0,2	0,3
Pecã	2,4	0,15	-	-	0,2	-
Pereira	2,3	0,15	1,1	1,5	0,5	-
Pessegueiro	2,5	0,15	2,5	2,0	0,6	0,2
Pimentão	3,0	0,7	4,0	0,4	1,0	-
Pinus	2,8	-	0,5	0,5	0,1	0,2
Repolho	3,0	0,18	4,0	1,4	0,3	-
Seringueira	3,4	0,22	0,90	0,70	0,40	-
Soja	4,5	0,25	1,7	1,0	0,4	0,3
Sorgo granífero	3,2	0,20	2,0	0,2	0,2	-
Sorgo sacarino	3,2	0,25	2,4	0,4	0,3	-
Tomate	4,0	0,40	3,8	2,0	0,5	0,2
Trevos	-	0,20	-	1,5	-	0,3
Trigo	1,75	0,15	1,5	1,4	0,3	0,2
Videira	-	0,14	1,3	-	0,2	-

Cont.

Tabela 2. Continuação.

Cultura	Micronutrientes						
	B	Cl	Cu	Fe	Mn	Mo	Mn
Abacateiro	15	700	5	50	50	-	-
Abacaxi	-	1100	8	-	-	-	10
Aipo	30	-	5	30	200	-	20
Alface	25	-	-	-	-	-	-
Alfafa	30	900	12	20	-	0,3	14
Algodão	50	600	8	50	30	-	30
Alho	48	-	27	196	50	-	68
Ameixeira	33	1200	7	-	55	-	-
Amendoim	20	-	10	100	100	10	20
Arroz	30	10000	15	80	-	-	20
Aspargo	55	-	-	-	10	-	10
Aveia	20	-	5	50	20	3	20
Bananeira	15	-	8	70	20	-	20
Batata	20	18000	3	-	40	-	30
Beterraba	80	-	-	-	70	0,6	15
Brócoli	30	-	1	100	25	16	45
Cacaueiro	-	-	11	-	-	-	-
Cafeeiro	40	-	6	70	50	-	10
Cana-de-açúcar	10	-	6	100	50	-	10
Cenoura	36	4400	-	120	190	-	20
Cebola	-	-	-	-	-	-	10
Centeio	10	-	5	50	25	0,3	15
Cevada	10	-	5	50	25	0,3	15
Coqueiro	-	-	-	-	-	-	-
couve de bruxelas	70	-	-	-	85	-	-
Couve flor	36	-	5	-	60	-	40
Chã	-	-	-	-	-	-	-
Citros	50	1500	6	60	25	0,1	25
Dendezeiro	-	-	-	-	-	-	-
Espinafre	42	-	45	220	50	-	50
Ervilha	30	-	-	-	-	-	-

Cont.

Tabela 2. Continuação.

Cultura	Micronutrientes						
	B	Cl	Cu	Fe	Mn	Mo	Mn
Feijoeiro	80	-	8	-	-	-	30
Fumo	20	8500	-	68	160	1,1	-
Girassol	125	-	27	231	200	-	31
Macieira	30	-	6	-	30	-	10
Mamoeiro	136	-	-	-	-	-	-
Mangueira	-	-	-	-	-	-	-
Melancia	-	-	4	-	-	-	-
Milho	20	3400	9	20	20	0,6	20
Morangueiro	150	4600	-	-	50	-	-
Pastagens	-	-	-	-	-	-	-
Pecã	140	-	21	-	-	-	80
Pereira	-	-	5	30	32	-	16,0
Pessegueiro	20	1800	7	-	40	6,0	10,0
Pimentão	40	-	10	-	-	-	-
Pinus	10	-	4	50	0,5	-	0,2
Repolho	20	-	-	-	-	-	-
Seringueira	50	-	18	150	250	-	-
Soja	20	-	10	50	20	-	20
Sorgo granífero	5	-	2	55	10	-	20
Soego sacarino	-	-	16	145	24	-	30
Tomate	35	1000	3	107	46	1,7	13
Trevos	50	-	7	-	-	-	-
Trigo	10	-	9	50	16	0,3	15
Videira	50	8700	4	-	-	-	-

Os dados das Tabelas 1 e 2 foram compilados de CHAPMAN (1966), WALSH & BEATON (1973); NELSON et alii (1968); CUNHA (1979); SILVA et alii (1980); TRANI et alii (1983); ROSOLEM (1987); SFREDO (1983); BELLIS (1971); ROSOLEM & MALAVOLTA (1982); HALLOCK et al. (1969); ROSOLEM et al. (1988).

#### 4. BIBLIOGRAFIA

- BELLIS, E. Evolução das práticas de adubação da *Hevea brasiliensis*. *Fertilidade*, 38: 29-42, 1971.
- CHAPMAN, H.D. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, Chapman, H.D., 1966. 793p.
- CUNHA, R.J.P. Marcha de absorção de nutrientes em condições de campo e sintomatologia de deficiências de macronutrientes e de boro em mamoeiro (*Carica papaya*, L). Tese de Doutorado, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, Piracicaba., SP, 1979. 131p.
- MALAVOLTA, E. Elementos de Nutrição Mineral de Plantas. Ed. Agronômica Ceres Ltda., São Paulo, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E. & ROMERO, J.P. Manual de adubação. Associação Nacional para Difusão de Adubos. São Paulo, 1975, 346p.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher. Academic Press, Orlando, Florida, 1986. 674p.
- MILLER, G.W.; PUSHNIK, J.C.; REYS, N. Diagnostic aspects of Mineral Nutrition. In: ASHEMEAD, H.D.; ASHMEAD, G.W.M.; HSU, H. Foliar Feeding of Plants with aminoacid chelates. Noyes Publications, New Jersey, 1986. 369p.
- NELSON, L.B.; McVICKAR, M.H.; MUNSON, R.D.; SEATZ, L.F.; TISDALE, S.L.; WHITE, W.C. Changing Paterns in fertilizer Use. Madison, ASA, 1968. 466p.
- ROSOLEM, C.A. Nutrição e Adubação do feijoeiro. Piracicaba, Potafos, 1987. 93p.

- ROSOLEM, C.A. & MALAVOLTA, E. Estudo preliminar sobre a diagnose foliar do sorgo sacarino. *Pesq. Agropec. Bras.*, 17(1): 53-8, 1982.
- SILVA, N.; OLIVEIRA, G.D.; VASCONCELLOS, E.F.C.; HAAG, H.P. Absorção de nutrientes pela cultura do alho. *O Solo*, Piracicaba, LXII: 7-17, 1980.
- SFREDO, G.J. Absorção de nutrientes por duas cultivares de girassol (*Helianthus annuus* L.) em função da idade da planta, em condições de campo. Tese doutoramento, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, Piracicaba, 1983. 99p.
- TRANI, P.E.; HIROCE, R.; BATAGLIA, O.C. Análise foliar: amostragem e interpretação. Campinas, Fund. Cargill, 1983. 18p.
- WALSH, L.M.; BEATON, J.D. ed. Soil Testing and Plant Analysis, Madison, ASA, 1973. 491p.

## CONSUMO E LEGISLAÇÃO DE ADUBOS FOLIARES NO BRASIL

*Alfredo Scheid Lopes<sup>1</sup>  
José Adroaldo Guidolin<sup>2</sup>*

### INTRODUÇÃO

No contexto atual da agricultura brasileira, ocupam lugar de destaque ações no sentido de aumentar a produção de alimentos básicos e também dos produtos de exportação, em um mercado cada vez mais competitivo e acirrado.

Para que estes objetivos sejam atingidos, é necessário um esforço conjunto dos órgãos de pesquisa, ensino e extensão, além do setor produtor de insumos, para oferecer aos agricultores tecnologias e produtos que levem a um substancial aumento de produtividade da agricultura nacional, e, em última instância, que os agricultores obtenham rentabilidade que os animem a permanecer no processo produtivo.

No que respeita a insumos, o uso de corretivos e fertilizantes constitui-se em componente essencial para o aumento da produção e da produtividade agrícolas. Resultados espetaculares vem sendo observados pelo uso des

---

<sup>1</sup>Engº Agrº, MS, PhD, Professor Titular do Deptº de Ciência do Solo, ESAL, Lavras, MG, Diretor Técnico da ANDA;

<sup>2</sup>Engº Agrº, Assessor Técnico da ANDA.

tes insumos, notadamente nos solos em que se verifica, atualmente, a expansão da fronteira agrícola, como os sob "cerrado" e, também, nas áreas tradicionais de produção.

Dentre as varias maneiras de se fornecer nutrientes às plantas, o valor da adubação foliar não pode ser descartado, sendo ela, muitas vezes a alternativa mais eficiente para solução de problemas específicos e/ou como complemento a uma racionalidade global da adubação.

Neste contexto cabe uma discussão sobre a evolução e situação atual de consumo de adubos foliares no Brasil, assim como, aspectos pertinentes da legislação sobre o tema, pontos que se constituem no objetivo deste trabalho.

## CONSUMO

Uma análise da evolução do consumo de adubos foliares no Brasil, de forma agregada, pode ser feita observando-se os dados da figura 1. Estes dados são baseados em estatísticas da ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, gerados de informações de onze (11) empresas que produzem adubos foliares no Brasil e que representam aproximadamente 20 a 30% do mercado. Por este motivo estes dados tendem a sub-estimar o consumo efetivo de adubos foliares no País.

Do mercado atual aproximadamente 82% dos adubos foliares são comercializados na forma líquida e 18% na forma sólida. Esta situação atual é um reflexo da capacitação da indústria nacional em atender o mercado interno, pois esta reversão em comportamento ocorreu em torno de 1977, quando a base do consumo de adubo foliar no Brasil era com produtos importados na forma sólida.

Considerando-se os segmentos NPK + micronutrientes e apenas micronutrientes a situação atual é de 6,9% de sólidos com NPK + micronutrientes, 11,3% de sólidos com

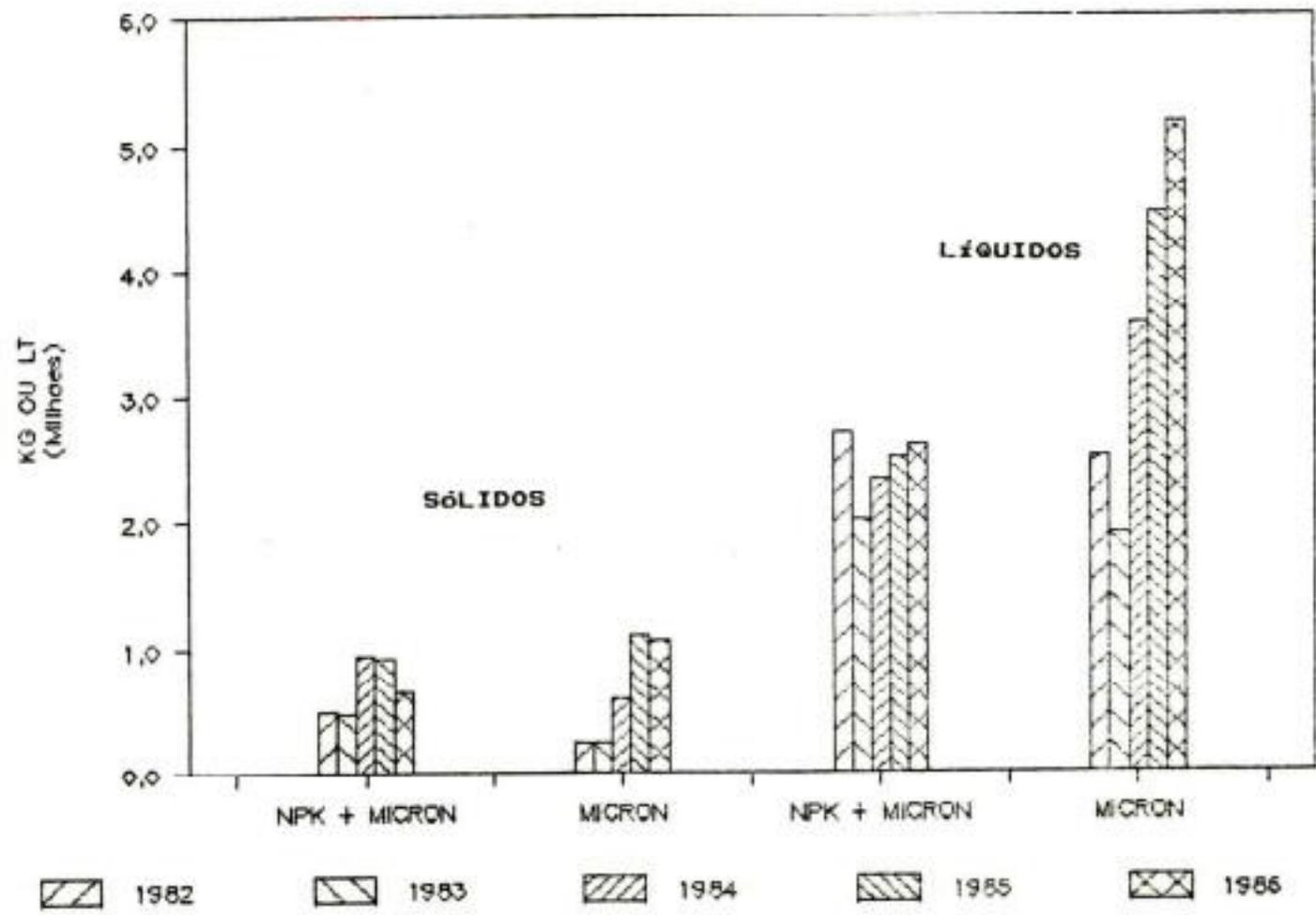


Figura 1. Fertilizantes foliares entregues - Total Brasil: 1982 a 1986.

micronutrientes, 27,5% de líquidos com NPK + micronutrientes e 54,3% de líquidos com micronutrientes.

Este tipo de comportamento a nível global de Brasil tende a permanecer na maioria dos casos quando se faz um desdobramento por estado, refletindo uma preferência por adubos foliares na forma líquida contendo apenas micronutrientes.

Um desdobramento da evolução do consumo de adubos foliares por estado, considerando o período de 1982 a 1986 é apresentado nas figuras 2 a 8. As maiores taxas de consumo foram observadas em São Paulo, Paraná com tendência marcante de aumento destas taxas também em Minas Gerais.

A análise agregada da série histórica de consumo de adubos foliares no Brasil (Figura 1) e os desdobramentos por estados (Figuras 2 a 8) evidenciam tendência de aumento significativo do consumo destes insumos nos próximos anos, notadamente na forma líquida e contendo micronutrientes.

Sem dúvida alguma, o esforço a ser desenvolvido pela pesquisa neste campo, esclarecendo quanto a eficiência desta prática para situações específicas de solos, culturas e clima, deverá contribuir para o aumento no consumo de adubos foliares como instrumento de aumento da produtividade de inúmeras culturas no Brasil.

## LEGISLAÇÃO

A inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes, ou biofertilizantes, destinados à agricultura no Brasil, são regidas pela seguinte legislação, publicada pelo Ministério da Agricultura, através da Secretaria Nacional da Defesa Agropecuária:

- a) Lei nº 6.984 de 16 de dezembro de 1980
- b) Lei nº 6.934 de 13 de julho de 1981
- c) Decreto nº 86.955 de 18 de fevereiro de 1982
- d) Portaria nº 84 de 29 de março de 1982
- e) Portaria nº 01 de 04 de março de 1983

Além desta legislação de ordem mais abrangente existem os seguintes instrumentos mais específicos:

- a) Portaria nº 01 de 22 de maio de 1984 que dispõe sobre Termofosfato Magnésiano Grosso.
- b) Portaria nº 03 de 31 de julho de 1985 que dispõe sobre fertilizantes organo-minerais.
- c) Portaria nº 03 de 12 de junho de 1986 que dispõe sobre corretivos.

Embora esta legislação seja de aspecto amplo, cabem alguns comentários pertinentes a tópicos relevantes aos adubos foliares:

- 1) Critérios para a classificação e registro de estabelecimentos produtores e comerciais.

Regido pelo Decreto nº 86.955, de 18 de fevereiro de 1982.

## **CAPÍTULO II**

### **Registro das Pessoas Físicas e Jurídicas**

#### **SEÇÃO I**

##### **Registro de Estabelecimento**

**Art. 4º** - As pessoas físicas e jurídicas que produzam ou comercializem fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, ficam obrigadas a promover o registro de seus estabelecimentos no Ministério da Agricultura.

- § 1º - o registro referido neste artigo será efetuado por unidade de estabelecimento.
- § 2º - o registro será concedido pelo prazo de 5 (cinco) anos, podendo ser renovado por igual período.
- § 3º - o pedido de registro será acompanhado dos seguintes elementos informativos e documentais:
- a) firma ou razão ou denominação social;
  - b) endereço da sede social e dos estabelecimentos;
  - c) instrumento social registrado no órgão competente;
  - d) natureza das atividades, instalações, equipamentos e capacidade operacional dos estabelecimentos;
  - e) nome, marca, tipo e natureza dos produtos;
  - f) métodos ou processos de preparação e de controle de qualidade dos produtos;
  - g) modelo de marcação da embalagem ou acondicionamento, com descrição do sistema de identificação do produto;
  - h) identificação do profissional habilitado à prestação de assistência técnica;
  - i) prova de capacidade de controle de qualidade, aferida através de laboratório próprio ou de terceiros.
- § 4º - As pessoas que se dedicarem unicamente às atividades comerciais estarão isentas das exigências previstas nas letras f, g, h e i do parágrafo anterior.
- § 5º - A especificação da natureza do produto e da origem da matéria-prima será exigida para os produtores de corretivos, fertilizantes orgânicos e fosfatos naturais.
- § 6º - Qualquer alteração dos elementos informativos e documentais referidos no § 3º deste artigo deverá ser comunicada, no prazo de 30 (trinta) dias, ao Ministério da Agricultura.

- § 7º - A alteração da firma, ou razão ou denominação social, bem como da natureza da atividade ou do local do estabelecimento, implicará em novo registro, no prazo de 30 (trinta) dias, sob pena de multa.
- § 8º - A renovação do registro deverá ser pleiteado com a antecedência mínima de 90 (noventa) dias antes de seu vencimento, sob pena de caducidade.
- § 9º - O pedido de registro ou de sua renovação será acompanhada de uma via do comprovante de pagamento da respectiva taxa.
- § 10º - Os estabelecimentos produtores que promovam o controle de qualidade de seus produtos, através de laboratórios de terceiros, deverão apresentar, para efeito de registro, prova da existência de contrato de locação de serviços com aqueles laboratórios, que deverão possuir sede na unidade da Federação onde se localizar a unidade industrial, comprovando a sua disponibilidade para a citada prestação do serviço.

**Art. 5º** - Os critérios e exigências para registro dos estabelecimentos produtores ou comerciais, bem como a sua classificação em categorias serão estabelecidos por ato do Ministério da Agricultura.

## 2) Critérios para registro de produtos.

Regido pelo Decreto nº 86.955 de 18 de fevereiro de 1982.

### SEÇÃO II

#### Registro de Produto

**Art. 6º** - Os fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes deverão ser registrados no Ministério da Agricultura.

**§ 1º** - O registro será concedido pelo prazo de 5 (cinco) anos, podendo ser renovado por igual período.

**§ 2º** - O pedido de registro será apresentado em modelo próprio do Ministério da Agricultura, juntando-se uma via do comprovante de pagamento da respectiva taxa.

**§ 3º** - Os elementos informativos e documentais necessários ao registro serão estabelecidos pelo Ministério da Agricultura.

**Art. 7º** - As garantias e especificações relativas aos fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes serão estabelecidas em ato do Ministério da Agricultura.

**§ 1º** - As garantias relativas aos fertilizantes simples poderão ser expressas com uma decimal, não se admitindo que sejam inferiores às correspondentes especificações.

**§ 2º** - Os macronutrientes secundários contidos em fertilizantes somente poderão ser declarados quando as garantias observarem os correspondentes limites.

**Art. 8º** - O registro de inoculantes, excluídos os fixadores de nitrogênio, e de estimulantes e biofertilizantes, somente será concedido após relatório técnico-científico de pesquisa, que atesta a viabilidade da aplicação agrícola do produto, as culturas que possa atender, as dosagens recomendadas e as qualidades e garantias mínimas.

**Art. 9º** - Não será registrado o produto que mencionar dados ou elementos suscetíveis de induzir a erro ou confusão quanto à sua origem, natureza, composição, qualidade e aplicação.

**Art. 10º** - Qualquer alteração dos elementos de registro do produto deverá ser comunicada, com antecedência mínima de 30 (trinta) dias, ao Ministério da Agricultura, sob pena de multa.

**Parágrafo Único** - A alteração que implicar em modificação da garantia, marca ou qualidade do produto, obriga a novo registro.

**Art. 11º** - Os registros de produtos importados, quando destinados à comercialização, em embalagens originais, poderão ser efetuados com base no certificado de análise do País de origem, valendo apenas para o total da partida especificada na guia de importação.

**Art. 12º** - As misturas sob encomenda serão dispensadas de registro, sendo expressamente proibida a sua revenda.

**Parágrafo Único** - Para sua preparação, será obrigatória a comunicação antecipada ao órgão de fiscalização.

**Art. 13º** - Não serão registrados os fertilizantes simples que contiverem carga exceto para melhorar o uso e eficácia dos fertilizantes foliares.

3) Normas sobre especificações, garantias e tolerância dos produtos.

Os adubos foliares sólidos são regidos pela mesma legislação de outros fertilizantes sólidos, não cabendo neste trabalho descrição pormenorizada da mesma.

Os adubos foliares, no estado fluido, entretanto, tem especificação à parte com a Portaria nº 01 de 04 de março de 1983, a saber:

6. **FERTILIZANTES FOLIARES** - Os fertilizantes quando destinados à aplicação foliar, terão as seguintes especificações e garantias, no estado fluído:

6.1. As misturas de micronutrientes ou macronutrientes secundários com um único macronutriente primário, deverão apresentar as seguintes garantias:

6.1.1. O macronutriente primário não poderá ser inferior a 10% (dez por cento);

- 6.1.2. A soma das garantias dos macronutrientes secundários e dos micronutrientes não poderá ser inferior a 4% (quatro por cento);
- 6.2. A garantia ou a soma das garantias dos micronutrientes comercializados isoladamente ou em misturas de micronutrientes deverá ser igual ou superior a 4% (quatro por cento);
- 6.3. A garantia ou a soma das garantias dos macronutrientes secundários comercializados isoladamente ou em misturas de macronutrientes secundários deverá ser igual ou superior a 6% (seis por cento);
- 6.4. A soma das garantias nas misturas de micronutrientes com macronutrientes secundários não poderá ser inferior a 10% (dez por cento);
- 6.5. Nas misturas que contenham N-P-K, N-P, N-K ou P-K, a soma dos teores percentuais de N total,  $P_{205}$  solúvel em ácido cítrico ou citrato neutro de amônio mais água e  $K_2O$  solúvel em água, será igual ou superior a 20% (vinte por cento);
- 6.6. No caso de fertilizante organo-mineral foliar, deverão ser atendidas as especificações da Tabela 1, exceto no que se refere a umidade e pH.

Deve-se ressaltar o fato de que, tanto os fertilizantes foliares líquidos como os fluídos diferem dos fertilizantes sólidos convencionais em relação a soma mínima exigida para NPK, 24% p.p. para estes últimos e 20% p.p. para os demais.

Este resumo sobre aspectos relevantes referentes a legislação mostra que, para que uma empresa seja qualificada como produtora, esta deverá cumprir rigorosamente com as exigências da lei, inclusive no que diz respeito a prova de capacidade de controle de qualidade, aferida através de laboratório próprio ou de terceiros.

Tabela 1. Especificações dos fertilizantes organo-mineral e "composto".

Garantia	Organo-mineral	"Composto"
Matéria orgânica total	Mínimo de 15%	Mínimo de 40%
Nitrogênio total	Conforme declarado no registro	Mínimo de 1,0%
Umidade	Máximo de 20%	Máximo de 40%
Relação C/N	-	Máximo de 18/1
pH	Mínimo de 6,0	Mínimo de 6,0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Conforme declarado no registro	-
K <sub>2</sub> O	Conforme declarado no registro	-
Soma (NPK, NP, PK ou NK)	Mínimo de 6%	

No tocante ao registro de produtos, as exigências da legislação são no sentido de se conhecer profundamente as características físico-químicas dos fertilizantes, obrigando que o processamento seja feito dentro de certos padrões.

Finalmente, cabem alguns comentários para reflexão em termos de aspectos de legislação:

- 1) Os produtos sólidos tem exigência para granulometria o que é justificável para aplicações via solo. No caso de fertilizante sólido para aplicação via foliar seria mais adequado legislar sobre solubilidade do produto.
- 2) A Portaria nº 01 de 04 de março de 1983 expressa as garantias mínimas para os produtos com macronutrientes secundários ou micronutrientes em percentagens ou partes por milhão, como segue:
3. **MACRONUTRIENTES SECUNDÁRIOS OU MICRONUTRIENTES** - Nos produtos com macronutrientes secundários ou micronutrientes, estes serão indicados na sua forma elementar, com as garantias mínimas expressas em percentagens ou partes por milhão, como segue:

Cálcio (Ca) .....	0,0100	(cem décimos milésimos) ou 100 ppm
Magnésio (Mg) .....	0,0100	(cem décimos milésimos) ou 100 ppm
Enxofre (S) .....	0,1000	(mil décimos milésimos) ou 1000 ppm
Boro (B) .....	0,0200	(duzentos décimos milésimos) ou 200 ppm
Cloro (Cl) .....	0,1000	(mil décimos milésimos) ou 1000 ppm
Cobalto (Co) .....	0,0005	(cinco décimos milésimos) ou 5 ppm
Cobre (Cu) .....	0,0500	(quinhentos décimos milésimos) ou 500 ppm
Ferro (Fe) .....	0,1000	(mil décimos milésimos) ou 1000 ppm

Manganês (Mn) .....	0,0200	(duzentos décimos milésimos) ou 200 ppm
Molibdênio (Mo) .....	0,0005	(cinco décimos milésimos) ou 5 ppm
Zinco (Zn) .....	0,0500	(quinhentos décimos milésimos) ou 500 ppm

Estes teores mínimos, desenvolvidos originalmente para fertilizantes foliares, vem sendo utilizados para fertilizantes a serem aplicados via solo. Caberia uma adequação dos teores mínimos para cada caso.

- 3) Fertilizantes foliares líquidos ou fluídos terão, provavelmente, uma expressão mais adequada de suas garantias em peso/volume (p/v) e não em peso / peso (p/p) de acordo com a exigência atual. O assunto merece análise mais profunda dos segmentos envolvidos no setor de adubação foliar.

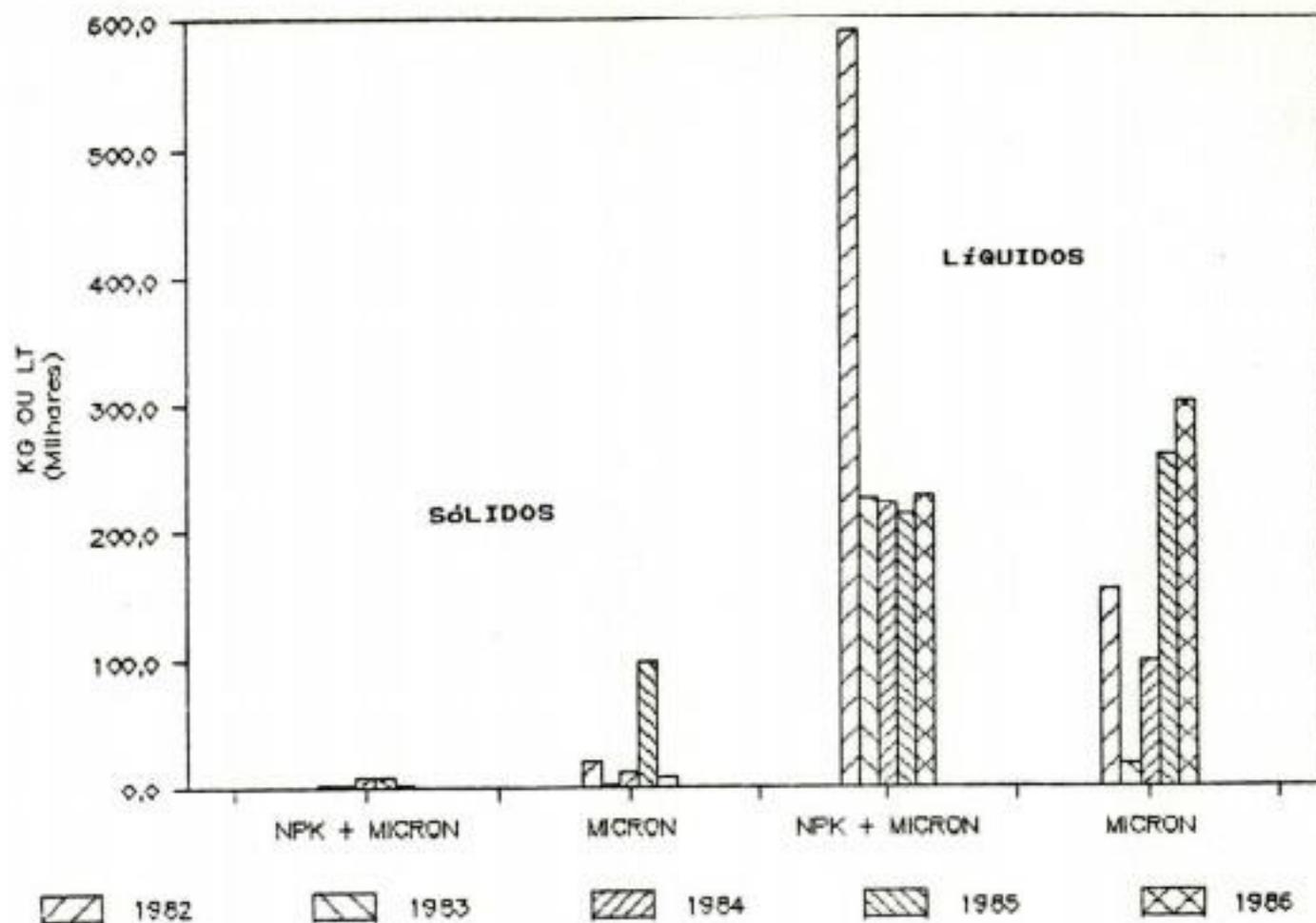


Figura 2. Fertilizantes foliares entregues - Rio Grande do Sul e Santa Catarina - 1982 a 1986.

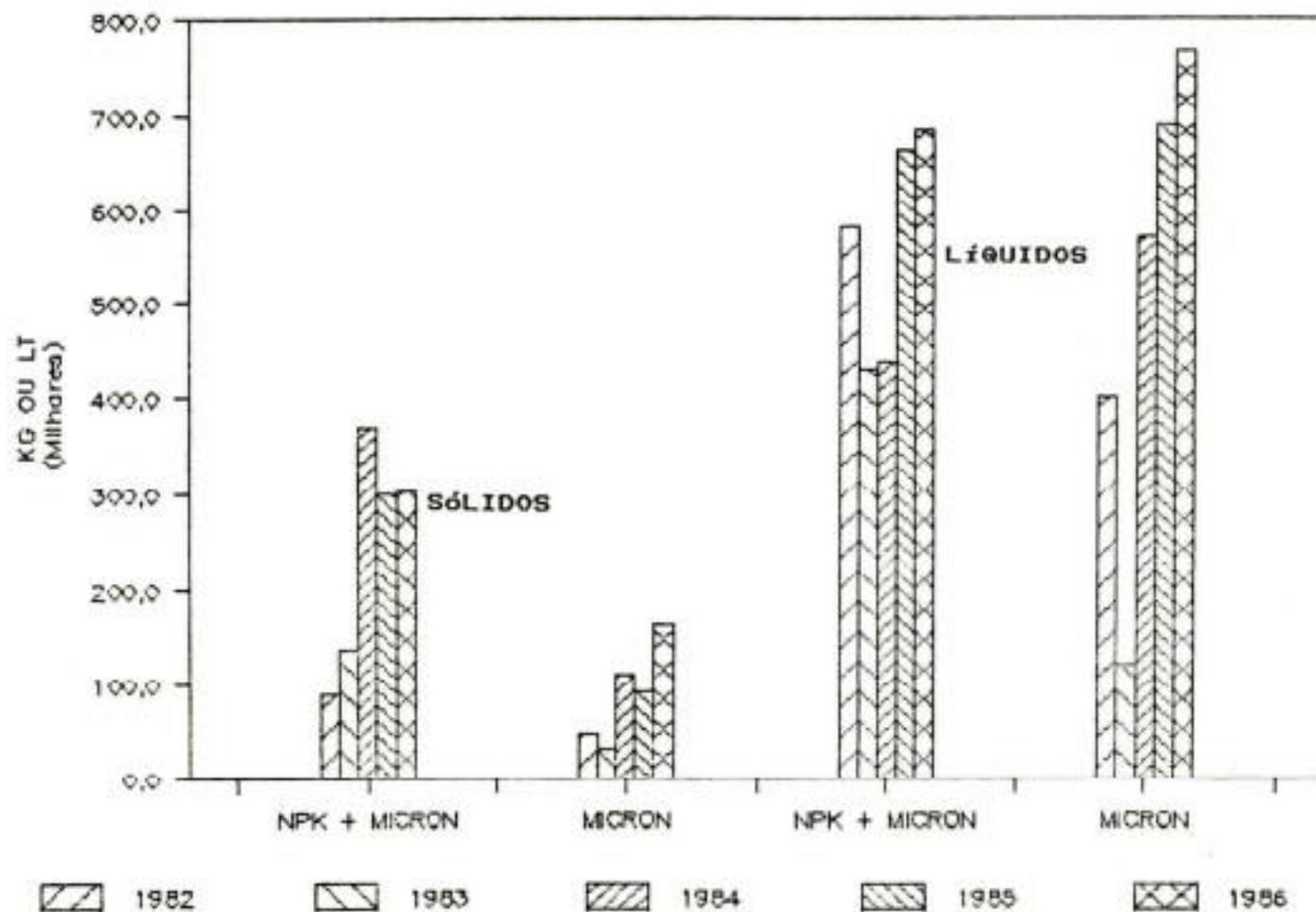


Figura 3. Fertilizantes foliares entregues - Paraná - 1982 a 1986.

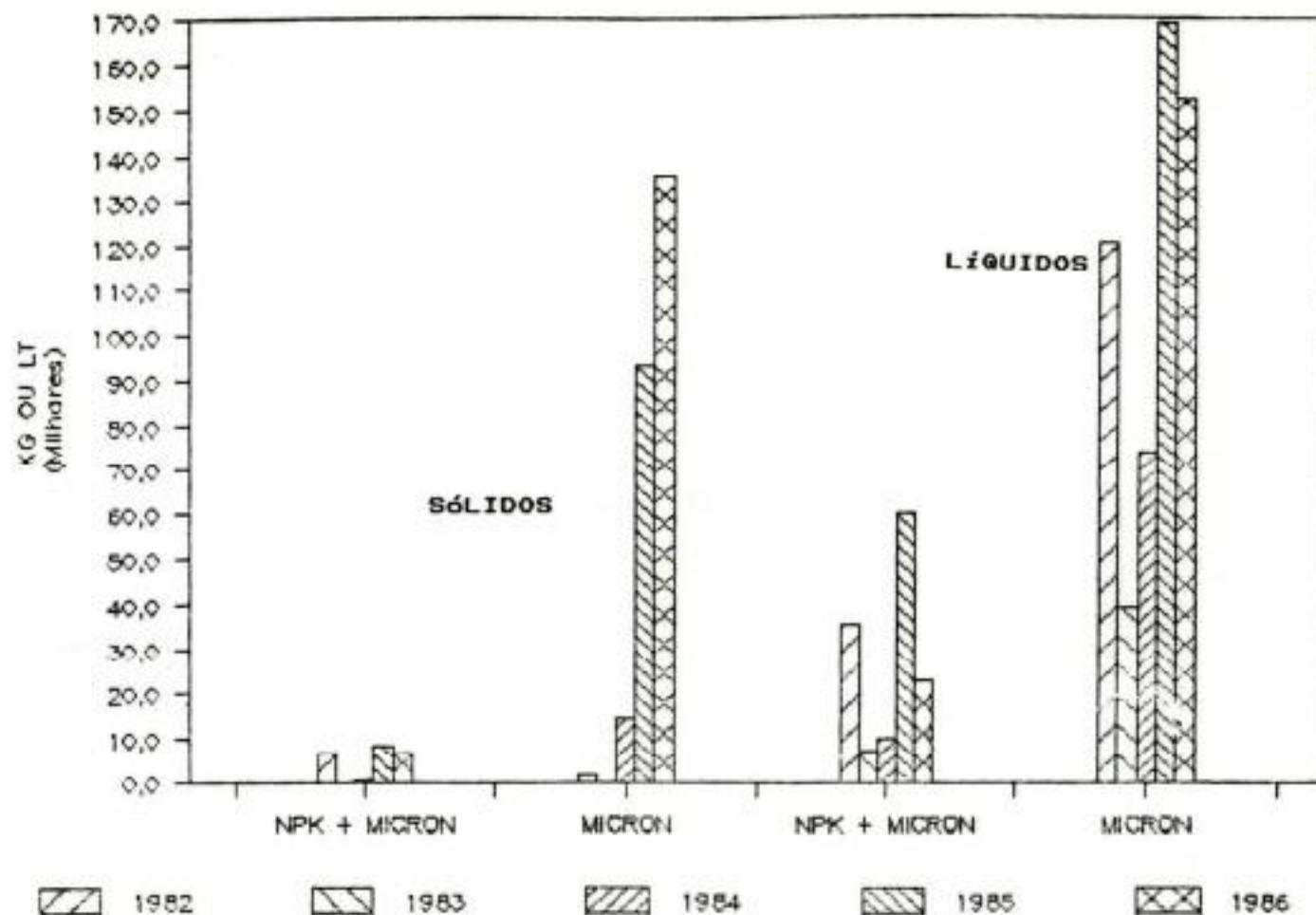


Figura 4. Fertilizantes foliares entregues - Rio de Janeiro e Espírito Santo - 1982 a 1986.

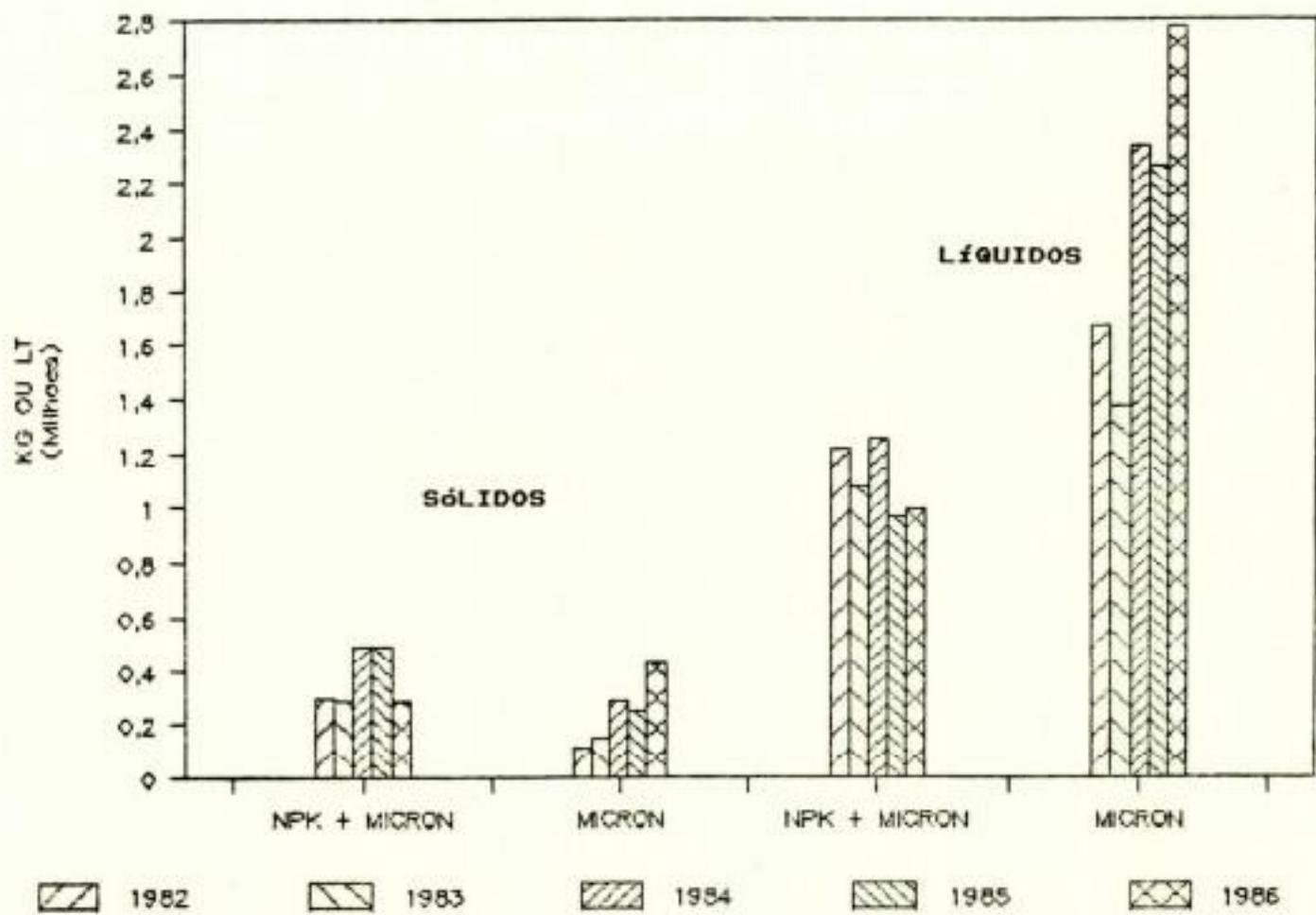


Figura 5. Fertilizantes foliares entregues - São Paulo - 1982 a 1986.

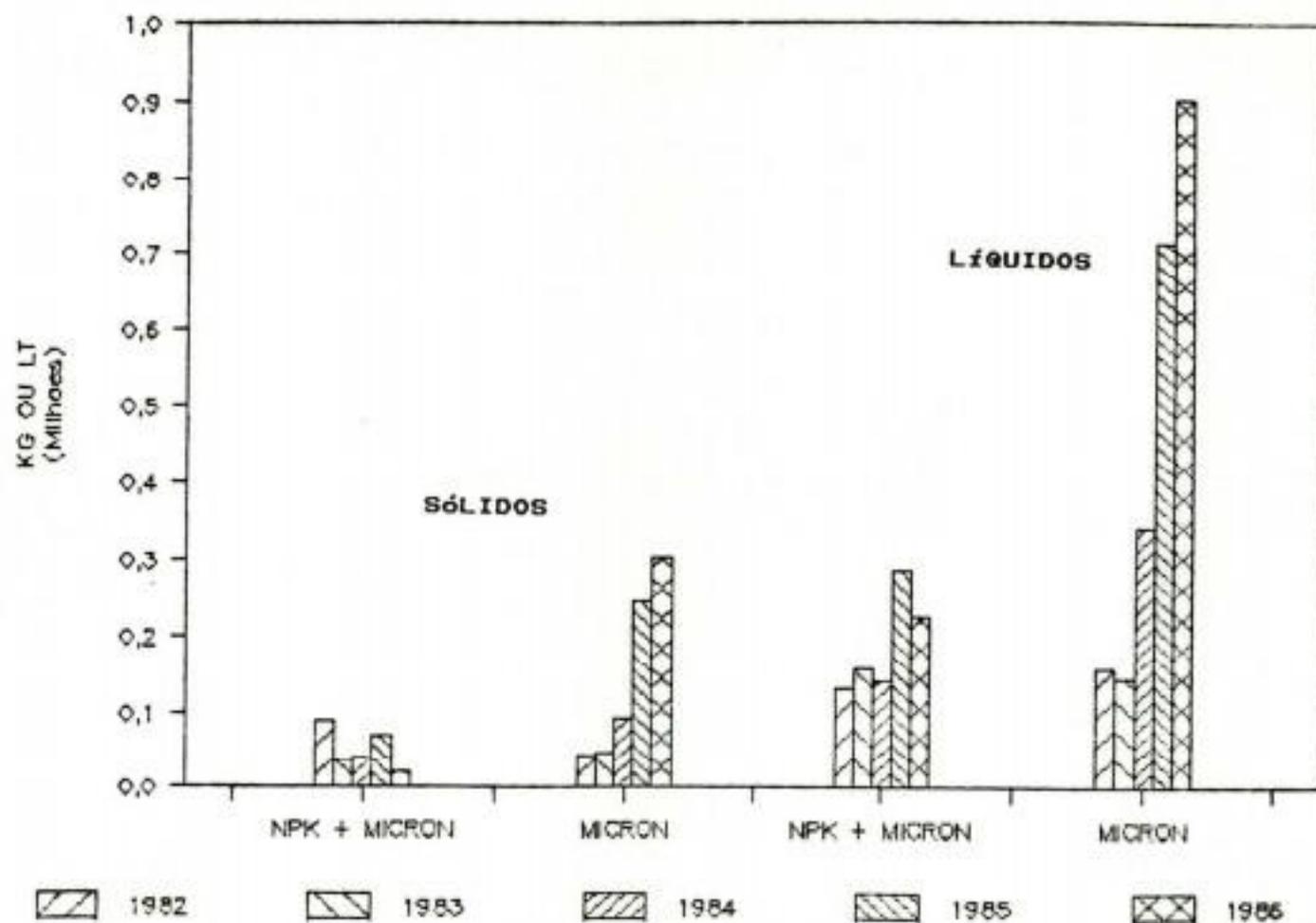


Figura 6. Fertilizantes foliares entregues - Minas Gerais - 1982 a 1986.

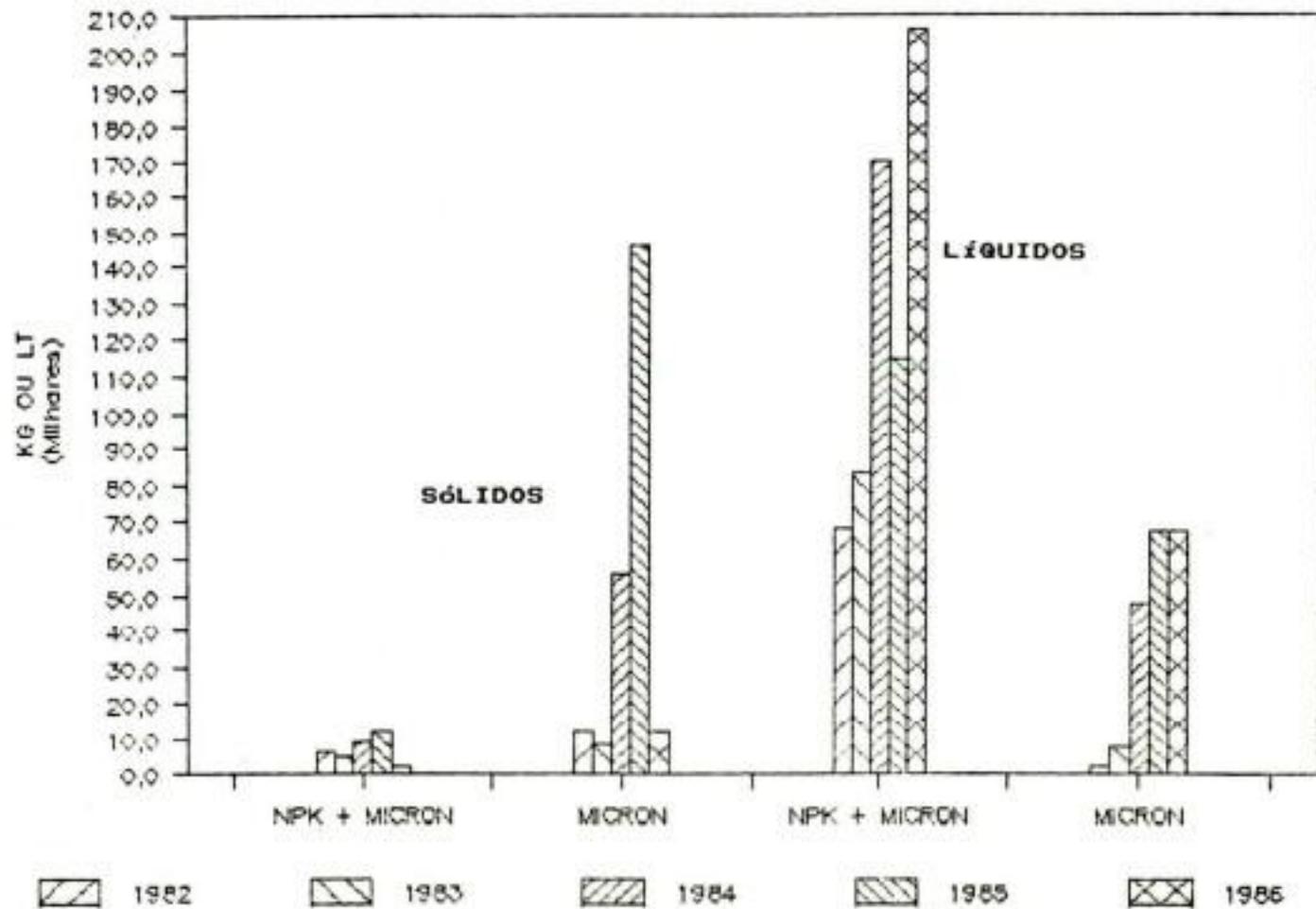
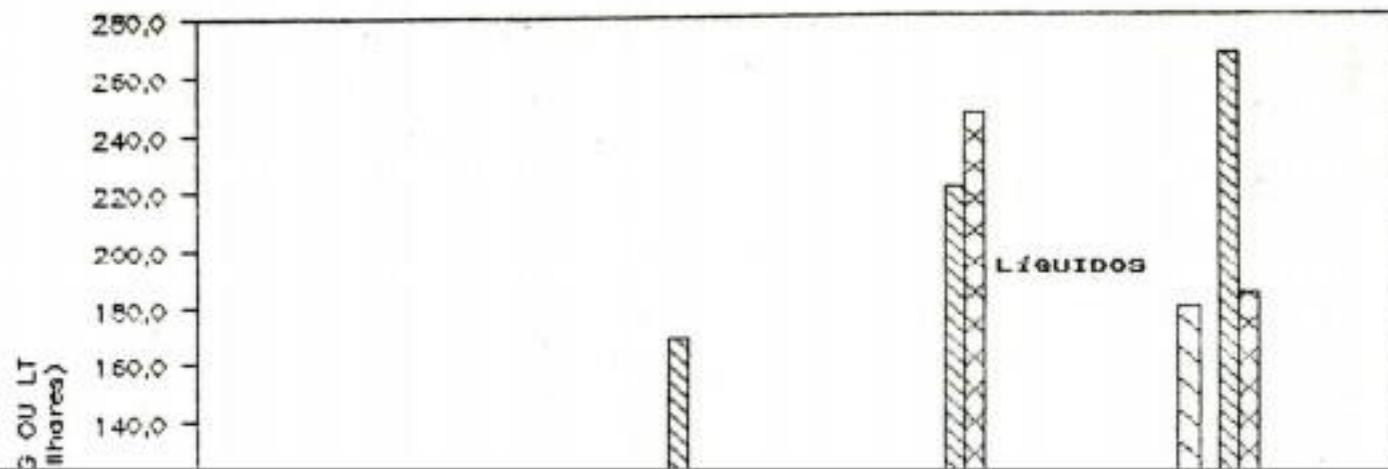


Figura 7. Fertilizantes foliares entregues - Goiás - 1982 a 1986.



## TECNOLOGIA DE FORMULAÇÃO DE ADUBO FOLIAR

*Christovam Garcia Prado Fernandes<sup>1</sup>*

### 1. INTRODUÇÃO

A prática do uso de adubação foliar através de NPK + Micronutrientes é a aplicação do conhecimento de que as plantas absorvem os elementos nutritivos e catalizadores, através das folhas.

Nas folhas é que se realizam as operações de síntese das substâncias necessárias à vida da planta, obtendo-se desta forma, uma maior rapidez de atuação e corrigem-se todos os problemas de falta de elementos nutritivos ou em equilíbrio que tanto se verifica na prática.

A adubação foliar mostra-se como fator decisivo para obtenção de altas produtividades, servindo como valioso complemento da adubação ou em casos específicos, que podem ocorrer durante o ciclo das culturas tais como:

- a) Na recuperação das plantas atingidas por granizos, ventos, geadas, seca ou ataque de doenças e pragas;
- b) Na recuperação das plantas afetadas por falta dos elementos nutritivos do solo;

---

<sup>1</sup> ABRAFF - Associação Brasileira dos Fabricantes de Fertilizante Foliar.

- c) Como estimulantes de produção fornecendo os elementos vitais nas diferentes fases de desenvolvimento e exigências nutricionais;
- d) Na recuperação e manutenção de plantas cujo sistema radicular esteja afetado por mal arejamento do solo, danificadas por ferramentas, ataques de pragas e excesso de umidade.

## 2. MÉTODOS PARA FABRICAÇÃO E FORMULAÇÃO DE ADUBOS FOLIARES N-P-K (FLUÍDOS)

Os fertilizantes fluídos e sais foliares tem tido um desenvolvimento rápido e significante em virtude da versatilidade e economia de tempo no manuseio e aplicação.

Os principais fatores a serem considerados no processo de formulação de adubos foliares são:

- a. Escolha adequada de matéria prima que deve ser de ótima qualidade;
- b. Controle de qualidade da matéria prima e do produto em fabricação e do produto final após sua cura;
- c. Determinação das quantidades nas diversas matérias primas que irão fornecer os teores da fórmula a ser produzida.
  - a) Matérias primas utilizadas na fabricação de adubos foliares:
    - Uréia
    - Amônia anidra ou hidróxido amônio
    - Nitrato de amônio
    - Ácido fosfórico purificado
    - Monofosfato de amônio purificado
    - Hidróxido de potássio
    - Cloreto de potássio purificado
    - Sulfato de potássio purificado

- b) Proceder coleta nos lotes de matérias primas que irão compor a formulação para analisar e em função dos resultados obtidos, procede-se os cálculos que devem ser em peso-peso em função da necessidade da fórmula. Desta forma pode-se - a iniciar a formulação em si do produto.
- c) Num reator provido de agitador e serpentina adicionar uma pequena quantidade de H<sub>2</sub>O para adicionar a quantidade total de ácido fosfórico, para que possa ser neutralizado com amônia ou potássio, ou mesmo por algum óxido que se queira incluir à formulação. Após a neutralização adicionar as quantidades faltantes para fazer o fechamento da fórmula em questão no caso, o nitrogênio e potássio aproveitando-se ainda o calor reacional e quando se tratar de NPK mais coquetel de micros, este último deve ser quelatizado separadamente e adicionado à solução final neutralizada. Deixar sob agitação constante injetando-se calor se necessário for. Proceder uma coleta do lote fabricado e analisar para saber se está tudo dentro dos teores, visto que as reações químicas provocam transformações de vários elementos e consequente perda de teores pelo calor racional. Após liberação da análise para confirmação dos teores, deixar o produto armazenado para se processar a "cura do fertilizante", e filtragem em filtro prensa para eliminação total de impurezas e sedimentos da reação química, resultando desta forma em um produto de altíssima qualidade.

### 3. MÉTODOS PARA FABRICAÇÃO E FORMULAÇÃO DE MACRONUTRIENTES SECUNDÁRIOS E MICRONUTRIENTES QUELATIZADOS

Os micronutrientes tem ganho destaque nos estudos dos órgãos de pesquisa e para que altos rendimentos nas produções das culturas sejam obtidas, maiores destaques estão por conta do zinco, boro, cálcio, mag

nésio, cobalto e molibdênio, que em gramíneas, leguminosas, café e citrus tem mostrado excelentes resultados.

Os principais fatores a serem considerados no processo de formulação de micronutrientes são:

- a. Escolha adequada de matérias primas que devem ser de ótima qualidade;
- b. Controle de qualidade das matérias primas e do produto final;
- c. Determinação das quantidades nas diversas matérias primas que irão fornecer os teores da fórmula em questão.

As matérias primas utilizadas na fabricação dos micronutrientes quelatizados:

- Carbonato Manganês + sulfúrico ou sulfato manganês
- Óxido zinco + sulfúrico ou sulfato de zinco
- Óxido magnésio + clorídrico ou cloreto cálcio
- Óxido de boro + clorídrico ou ácido bórico
- Trióxidomolibdênio + hidróxido sódio ou molibdato sódio
- Cobalto metálico + ácido sulfúrico ou sulfato de cobalto
- Sulfato de ferro.
- Carbonato cálcio + clorídrico ou cloreto cálcio

Proceder coleta nos lotes de matérias primas que irão compor a formulação para analisar e em função dos resultados obtidos, procede-se os cálculos, que deve ser em peso-peso, em função da necessidade da fórmula. Desta forma poder-se-á iniciar a formulação em sí do produto.

No caso da fabricação da solução dos produtos, proceder da seguinte forma:

- Num reator provido de agitador e serpentina, adicionar água, ácido sulfúrico ou ácido clorídrico e neutralizar com o micronutriente que se deseja obter. Após neutralizado, proceder a análise do lote e proceder a filtragem total da solução. Após obtida a solução

filtrada de um ou mais micronutrientes, bombear a solução ao reator, aquecer a solução e proceder a formulação equilibrada de acordo com a fórmula em peso-peso. Após a dissolução de todos nutrientes desejados, iniciar a quelatização dos micronutrientes através da combinação ou envolvimento dos cations metálicos com colóides orgânicos, com estrutura complexa em forma de anel.

A quelatização em si é feita através de uma calda com quelatizantes orgânicos naturais e mais a adição de complexos sintéticos conhecidos como Quelatos (do grego Chele) que quer dizer "garra ou pinça". Quelato é a combinação ou envolvimento de cations metálicos com certos colóides orgânicos.

Os quelatizantes mais usados são: EDTA (ácido Etileno Diamino Tetracético), Ácido cítrico, Ácido tartárico e Ácido Oxálico. As constantes de estabilidade de alguns quelatos estão na Tabela 1.

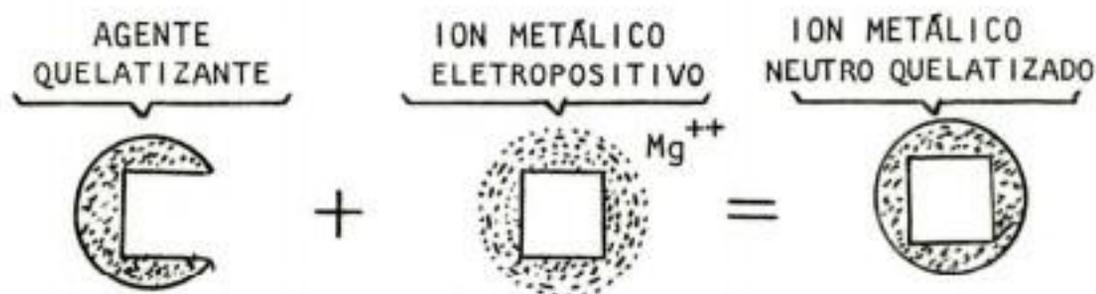
Tabela 1. Constantes de estabilidade de alguns quelatos.

Quelados	Const. de estabilidade (log k)
Eddha (ácido etilenediamino dihidroxifenilacético)	9,3
Nta (ácido hitritotriacético)	10,6
Edta (ácido etilenediaminotetracético)	16,3
Otpa (ácido dietilenetriamino pentacético)	18,3
Matéria orgânica natural	8,0

A principal vantagem da quelatização é a absorção mais rápida pela planta e do qual decorrem todas as consequências práticas e o fato de que o elemento metálico envolvido perde seu caráter iônico tornando-se neutro.

As outras vantagens da quelatização estão a seguir:

- Os íons de micronutrientes metálicos tais como:  $Mg^{++}$ ,  $Mn^{++}$ ,  $Fe^{++/+}$ ,  $Cu^{++}$  e  $Zn^{++}$  não quelatizados são carregados positivamente e passam para forma de óxidos e hidróxidos tornando-se insolúveis e inaproveitáveis pelas plantas. Os íons metálicos (eletro-positivos) com agentes quelatizantes tornam-se neutros e totalmente disponíveis para as plantas.
- Após sua fabricação permanecem inalteráveis na calda de pulverização ou na solução do solo;
- Após absorção rápida, os elementos são prontamente absorvidos pelas plantas;
- Mínima possibilidade de acarretar reações químicas secundárias com outros produtos químicos;
- Não há risco de queimar as folhas, desde que se respeite as concentrações indicadas;
- Redistribuem os cátions em excesso, evitando toxicidade da planta;
- Possuem maior capacidade de translocação dentro da planta;
- Devido às vantagens citadas, conclue-se que para se obter um mesmo efeito na planta, pode-se utilizar teores muito menores dos diversos elementos, quando os mesmos estiverem quelatizados, do que na forma de sais simples em solução.



## Neutralização e pH das soluções

O pH da solução é de grande importância para a eficiência da formulação, tanto no tocante ao aproveitamento dos nutrientes como em relação à compatibilidade e mistura com defensivos agrícolas. Em termos gerais para formulação completa acredita-se que a faixa ideal de pH esteja em torno de 4,5 a 5.

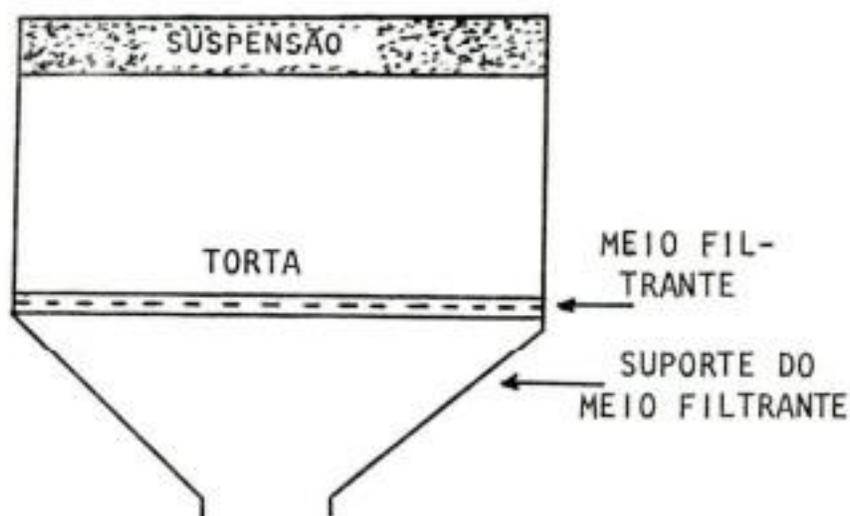
As formulações de adubos foliares NPK fluidos, tem seu pH ligeiramente ácido, principalmente as mais concentradas em fósforo.

Na sua diluição para aplicação no campo, a calda irá permanecer com pH ao redor de 5,5 o que facilitará a absorção do fósforo, bem como com a maioria dos fertilizantes e defensivos agrícolas.

## 4. FILTRAGEM

Filtrar significa fazer passar líquidos por filtros e consiste em separar mecanicamente as partículas sólidas de uma suspensão líquida com o auxílio de um leito poroso. Quando se força a suspensão através do leito, o sólido da suspensão fica retido sobre o meio filtrante, formando um depósito chamado "torta" e cuja espessura vai aumentando durante a operação. O líquido que passa através do leito recebe o nome de "filtrado". Há uma enorme diferença entre a filtração e os métodos de separação sólido-líquido, no que se refere ao movimento das fases. Na filtração é a fase líquida que se movimenta através do sólido estacionário e na decantação o sólido que se movimenta através do líquido. Um filtro funciona da seguinte forma: Há um suporte do meio filtrante sobre o qual vai se depositando a "torta", à medida que a suspensão passa através do filtro. A força propulsora da operação varia de um modelo de filtro para outro, podendo ser: a) o próprio peso da suspensão; b) uma pressão aplicada sobre o líquido; c) vácuo; d) uma força centrífuga. Em muitas situações o meio filtrante é previamente recoberto com um material inerte que se destina a reter os sólidos contaminantes da suspensão. O sólido em-

pregado é denominado "auxiliar de filtração", e os mais comuns são: areia fina, polpa de celulose, gesso, carbonato de cálcio, amianto, perlita, carvão, terras de infusórios. A quantidade a empregar varia com uma série de fatores. Recomenda-se 1 a 2 kg de auxiliar de filtração por kg de contaminante.



Dentre os diversos modelos de filtros existentes, o tipo mais indicado para filtração de fertilizantes é o filtro-prensa de placa e quadros. Neste tipo de filtro as placas são quadradas, com faces planas e bordas levemente ressaltadas. Entre duas placas sucessivas da prensa há um quadro que nada mais é do que um espaçador das placas. De cada lado de um quadro há uma lona que encosta na placa correspondente. Assim sendo, as câmaras onde será formada a torta ficam delimitadas pelas lonas. A estrutura de suporte do conjunto tem barras laterais que servem de suporte para as placas e os quadros. O aperto do conjunto é feito por meio de um parafuso ou sistema hidráulico. As principais vantagens do filtro prensa são: 1) grande área de implantação; 2) Flexibilidade (pode-se aumentar ou diminuir o número de elementos para variar a capacidade; 3) Não tem partes móveis; 4) Os vazamentos são detectados com grande facilidade; 5) Trabalham sob pressões; 6) A manutenção é muito simples e econômica, apenas substituição periódica das lonas. E além dessas vantagens, melhora o aspecto físico do fertilizante.

## 5. CONTROLE DE QUALIDADE

É um sistema integrado que intervem em todas as fases da administração, desde as vendas até a entrega do produto; passa pelo planejamento, projeto, compra de matéria prima, processos de fabricação e produtos finais.

É de vital importância o controle químico de qualidade na aquisição de matérias primas, na investigação do processo de fabricação e no comércio dos produtos acabados.

A análise química aplicada ao exame das matérias primas e dos produtos intermediários e acabados tem feito grandes progressos, provocados pelo aperfeiçoamento e extensão da indústria, do comércio e do consumo. Existem métodos de controle e normas para análises industriais que, por serem oficialmente recomendadas e reiteradamente comprovados, dão segura confiança para serem postos em prática na fabricação, permitindo à indústria e ao agricultor, confiabilidade no produto acabado.

## 6. FÓRMULAS COMERCIAIS DISPONÍVEIS NO MERCADO

Existe no mercado uma variedade muito grande de fórmulas NPK e de Micronutrientes separados ou em coqueteis que são capazes de atender a maioria das necessidades das culturas brasileiras.

Abaixo, uma mostra das disponibilidades

Fórmulas N-P-K  
14-04-07 + 0,2%Mg  
15-05-10  
07-14-07  
05-15-05  
10-30-00  
30-00-00 + Zn+Bo

Fórmulas de macronutrientes secundários e  
micronutrientes

Cálcio a 6%

Cálcio a 10% + 0,5%B

Zn a 7%

Zn a 7% + 0,5%B

Mg a 4% + 4,0%S

Co a 1,5% + 3,0%Mo

Mo a 4%

Mo a 6%

Mn a 5%

Café (N-10%, Zn-4%, Mg-1,5%, B-0,5%, Fe-0,5%,  
S-2,0%)

Citrus (N-10%, Zn-3%, Mn-2%, B-0,4%, Fe-0,5%,  
Mg-1%).

BIBLIOGRAFIA

BARRIER, G.E. e LOOMIS, W.E., 1957. Absorption and translocation of 2,4-dichloro-phenoxyacetic acid, and P.32 by leaves. *Plant Physiol.*, 32: 225-236.

CAMARGO, P.N. e SILVA, O., 1975. Manual de adubação foliar. Ed. Herba, São Paulo, 258p.

EGLI, U., 1978. Princípios básicos dos micronutrientes. CIBA-GEIGY, São Paulo, 26p.

FORSHEY, C.G., 1963. A comparison of soil nitrogen fertilization and urea sprays as sources of nitrogen for apple trees in sand culture. *Proc. Am. Hort. Sci.*, 83: 32-45.

HAYNES, R.J. e GOH, K.M. Review on Physiological Pathways of foliar absorption. *Scientia Horticultural*, 7: 291-302.

IGUE, K.; BLANCO, H.G. e ANDRADE SOBRINHO, J., 1962. Influência do zinco na produção do milho. *Bragantia*, 21: 263.

- KOFFLER, B.F. et alii, 1979. Adubação Foliar. Revisão bibliográfica (CPG). Disciplina "Nutrição Mineral de Plantas. ESALQ, Piracicaba, SP, 32p.
- LARSEN, F.E. e CROMARTY, R.W., 1967. Microorganism inhibition by hydroxyquinoline citrate as related to cut flowers senescence. *Proc. Am. Soc. Sci.*, 90: 546-549.
- MALAVOLTA, E. et alii, 1959. Tracer Studies in the coffee plant (*Coffea arabica* L.). *Anais ESALQ, Piracicaba, S.P.*, 16: 65-78.
- MALAVOLTA, E., 1978. Efeito de diversos fatores na absorção foliar do zinco pelo cafeeiro. Postila da disciplina Nutrição Mineral de Plantas (CPG), 10ª semana. 5p.
- MALAVOLTA, E., 1979. Micronutrientes: as exigências das culturas e os efeitos de sua inclusão. *Agropecuária*, julho, 1979, 33-37.
- PRIMAVESI, O. e COSTA, D., 1978. Um estímulo à produção agrícola. CIBA-GEIGY, São Paulo. Separata de *A Granja*, agosto, 1978. 15p.
- SILVA, O., 1977. Nutrição das culturas pela aplicação de adubos foliares. *A Granja*, outubro, 1977, 22-27.
- THOMAZIELLO, R.A.; OLIVEIRA, E.G. de e TOLEDO FILHO, J. A. de. Adubação foliar do cafeeiro. Em: *Análise Química e Adubação foliar*. CATI, no prelo.
- WALLACE, A., 1971. Regulation of micronutrients status of plants by chelating agents one other factors. Arthur Wallace ed., pp.59-62.
- YAMADA, Y., WITWER, S.H. e BUKOVAC, M.J., 1965. Penetration of ions through isolated cuticles. *Plant Physiol.*, 38: 28-32.

# UTILIZAÇÃO DE QUELATOS EM ADUBAÇÃO FOLIAR

Carlos Alvarez<sup>1</sup>

## INTRODUÇÃO

Um objetivo ou melhor, uma preocupação constante no desenvolvimento da agricultura tem sido a obtenção de sistemas de produção que permitam atingir cada vez mais altas produtividades.

No tocante a nutrição das culturas nós podemos aplicar bons balances de fertilizantes com o objetivo de atingir boas produtividades, ótimas produtividades, máximas produtividades econômicas ou ainda produtividades mais previsíveis e é neste sentido que vemos como grande parte dos agricultores e dos técnicos brasileiros empenham os seus esforços. Mesmo assim, porém nunca falamos em máximas produtividades.

Por que?

A variação que pode provocar a nutrição na produtividade de uma cultura é sem dúvida enorme, sem considerar outros fatores de produção. Esta variação, está condicionada pela ação e relação entre os muitos fatores que afetam a nutrição, tais como: textura do solo, saturação em bases, pH, disponibilidade de água, erosão,

---

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup>, MS.  
Arbore Agrícola e Com. Ltda.  
13.030 - Campinas-SP. Tel. (0192): 32-5288  
Rua das Pedras, 123.

compactação, níveis de matéria orgânica, níveis de adubação já praticados, níveis de calagem já praticados, interação entre os nutrientes, características próprias de cada um dos nutrientes considerados essenciais: N, P, K, S, Ca, Mg, Zn, Fe, Cu, Mn, Mo e Cl, o método usado para fertilizar, o estágio fisiológico da cultura e outros.

Se aceitamos que para cada um destes 25 fatores selecionados podemos ter apenas 3 situações: favorável, média e desfavorável para a cultura e que nenhuma das situações exclua outra situação, teremos 75 possibilidades que sempre deverão combinar em grupos de pelo menos 25, que nos levarão a alguma produtividade. A possibilidade de nós termos a condição de todos os favoráveis será de 1 em  $C_{25}^3$ , essa é o máximo!

Ainda se conhecermos todos estes fatores, muitos deles mudam de um dia para o outro de forma que nós cultivamos em uma condição dinâmica. É por isso que usamos a estatística na pesquisa para estimar até que ponto nossas expectativas estarão perto da realidade.

Se nós entendermos isto podemos aceitar que é impossível ter continuamente o correto ou o desejado balance de nutriente no solo continuamente.

Mais difícil pode ficar se ainda aumentarmos um complicador a mais, como por exemplo, o correto balance para uma cultura pode não sê-lo para a cultura que o segue ou ainda para outra variedade da mesma cultura.

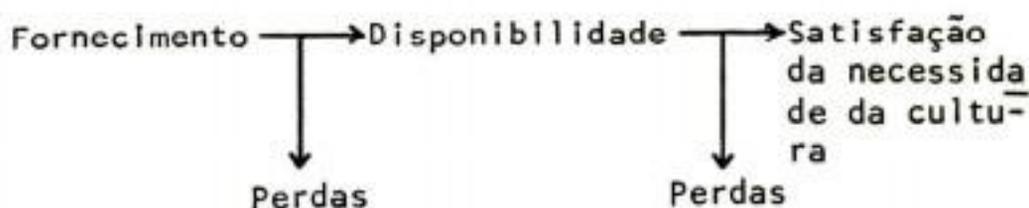
Duas coisas podemos fazer para melhor resolver esta complicada situação.

1. Estudar os fatores com detalhe, medindo (ex. análise de nutrientes no solo e folha) e observando a evolução dos mesmos, tentando as melhores combinações através de Assistência Técnica.

2. Desenvolver técnicas que permitam maximizar o efeito de cada fator na nutrição. (ex. descobrir como trabalhar cada pH ou aproveitar cada pH, como evitar a interação entre nutrientes, etc.).

## Desenvolvendo uma técnica para máxima produtividade

O desenvolvimento e utilização da técnica de adubação foliar visa maximizar o aproveitamento dos nutrientes evitando os fatores que interferem no seu aproveitamento a nível de solo e também a nível de planta.



Quando fornecemos um nutriente geralmente através de uma adubação ele deve passar de uma fonte menos disponível a uma mais disponível, ou partindo de uma fonte com o nutriente disponível ele deve manter a sua disponibilidade e finalmente ser absorvido pela planta. Se isto está ocorrendo no solo, são muitos os complicadores que fazem que a distância entre o fornecimento do nutriente e a satisfação da necessidade da cultura seja muito grande e cheia de perdas.

Prova disto é a baixa recuperação dos nutrientes aplicados no solo (Quadro 1).

A aplicação, pois, dos nutrientes via solo é sem dúvida necessária, mas na forma como está sendo feita é, também sem dúvida, muito ineficiente.

Uma opção que primeiro pensamos é em evitar o solo pela aplicação foliar, já recomendada como muito mais eficiente, em virtude de evitar os "complicadores". (Quadro 2).

A outra opção que também podemos usar é a proteção dos nutrientes tirando-os de fontes salinas nas quais facilmente são perdidos no caminho entre o fornecimento e a satisfação da planta. Na procura de soluções, WALLACE & MUELLER (1959), demonstraram que quelatos de Zn podem ser bem sucedidos em aplicações no solo. Ao mesmo tempo LEONARD *et alii* (1957), mostraram que o quelato de Zn penetra melhor no solo que sais inorgânicos de de Zinco.



WALLACE (1966), citou Chesnin (1964) e outros autores, comprovando que para as culturas se necessita aplicar de 5 a 10 vezes mais Zinco quando se opta por um sal inorgânico em lugar de um quelato de Zinco.

CHESNIN (1963), já reporta resultados semelhantes na aplicação de diversos quelatos de Zn (sintéticos e naturais) superiores a aplicação de sulfato de Zinco na cultura de milho e deixa com isto o caminho aberto para se trabalhar em quelatos orgânicos naturais.

Já WALLACE (1966), resume as possibilidades de se aplicar micronutrientes e inclui nas recomendações a utilização de quelatos orgânicos em citrus e em outras frutas.

Se a adubação foliar e a quelatização são instrumentos para o melhor aproveitamento dos nutrientes, por que não fazê-las simultaneamente?

O próprio WALLACE (1966), já recomenda a aplicação foliar de quelatos em citrus.

Não teríamos desta forma uma multiplicação de efeitos favoráveis?

Agora, se optarmos pela adubação foliar para evitar que aconteçam perdas no solo não é uma incoerência permitir que aconteçam perdas na solução a ser aplicada ou nas folhas?

Esta mesma linha é a que tem permitido o desenvolvimento de produtos aditivos para utilização em soluções pulverizadas com o objetivo de seu melhor aproveitamento e impedir algumas das causas das perdas.

Quais os nutrientes que podemos aplicar via foliar?

Quais os nutrientes que podemos aplicar via foliar na forma de quelatos?

Vamos analisar por separado:

Podemos aplicar todos os nutrientes via foliar, porém o lógico é pensar que são mais adaptados a técnica aqueles que a planta precisa em quantidades menores ou em períodos críticos do seu desenvolvimento fisiológico. Dizemos isto porque são pequenas quantidades de nutrientes são necessárias para obter o balanço de nutrientes de sejado na planta. Vamos ver algum exemplo: No caso do Nitrogênio níveis de 2 a 4% são normalmente bons, níveis de 0,2% de Mg são tidos como bons, níveis de Zn de 20 ppm são considerados bons. Isto dá idéia do baixo nível de nutrientes num hectare de cultura.

Se uma cultura tem 6 ton. de matéria seca por hectare, são necessárias as seguintes quantidades de nutrientes para aumentar sua concentração na planta.

- 60 Kg do nutriente para aumentar 1% na planta
- 6 Kg do nutriente para aumentar 0,1% na planta
- 6 g. do nutriente para aumentar 1 ppm na planta
- 60 g. do nutriente para aumentar 10 ppm na planta

Isto também nos dá uma idéia das grandes quantidades que aplicamos ao solo para termos pequenos aumentos na planta.

Quando as plantas são pequenas, normalmente quando mais necessitam dos micronutrientes, elas tem menos de 2 t. de M.S. por ha e precisamos 20 g. do nutriente para incrementar 10 ppm na planta. Isto comumente é a diferença entre os níveis de deficiência e suficiência, de suficiência e toxidez, para a maioria dos micronutrientes.

Para colocar pouca quantidade dos nutrientes e ao mesmo tempo eles serem aproveitados eles devem estar protegidos, quelatizados. STOLLER (1982), afirma que quelato tem especialmente alta utilidade, quando pulverizamos 1 ou 2 vezes ao ano, pois, existe uma absorção secundária dos nutrientes quelatizados que caem no solo, pelas raízes. No solo os nutrientes continuam sendo protegidos e disponíveis a planta. Normalmente 50% de uma pulverização aérea cae no solo.

Quais os nutrientes então que podemos quelatizar?

Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Mn, para o resto existe atualmente a nível de pesquisa uma procura de substâncias aditivas que possam melhorar o seu aproveitamento e com isto reduzir de alguma maneira a resposta errática que está ocorrendo no campo na utilização principalmente de N, P, K na adubação foliar (STEIN & STOREY, 1986).

LOPES (1986), faz um resumo dos nutrientes quelatizados, nas concentrações que existem disponíveis no Brasil.

Agora, se é importante proteger o nutriente quelatizando-o não é da maior importância a seleção do quelato?

Se uma função do quelato é de evitar que o nutriente reaja com outros no solo, na solução a pulverizar, ou na parte aérea da planta, então é importante medir quanto o quelato pode evitar isto.

A utilização do Log K da constante de equilíbrio é uma maneira de indicar com que força o quelato retém ou segura o nutriente.

Cada quelato tem um Log K diferente e se comporta diferente de acordo ao cátion que o acompanha, por isto ele tem um Log K diferente para cada cátion.

Isto sugere também o contrário, quer dizer: cada cátion tem um quelato que melhor o acompanha. Veja-se o exemplo de WALLACE (1966) no Quadro 3.

Um quelato com Log K = 25,1 para Fe não troca o Fe nem por Cu para o qual tem um Log K de 18,8 nem pelo Mn que tem um Log K de 14,0. Se este quelato tem Ca com o qual o Log K é 10,6 este rapidamente o trocará se esta numa solução com Fe com o qual tem um Log K mais elevado.

Torna-se de grande importância, pois, a seleção correta do quelato apropriado para cada cátion.

Quadro 3. Log K de três substâncias quelatizantes.

Nutriente	Quelato					
	Fe <sup>+3</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Cu <sup>+2</sup>	Zn <sup>+2</sup>	Mn <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>
EDTA	25,1	10,6	18,8	16,5	14,0	8,7
HEEDTA	19,6	8,0	17,4	14,5	10,5	7,0
NTA	15,9	6,4	12,7	10,5	7,4	-
Quelato Arbore	14,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0

Fonte: WALLACE (1986) e STOLLER (1982)

STOLLER (1982), sugere como quelato ideal aquele que tenha um Log K alto e constante para todos os cátions.

### As funções do quelato na adubação foliar

1. A primeira é a proteção do nutriente, mantendo o mesmo na situação de solubilidade, disponibilidade à planta e facilitando a absorção.

2. O quelato permite um aproveitamento até 10 vezes mais eficiente do nutriente em comparação com fontes salinas. Isto faz com que fórmulas com baixa concentração sejam eficientes quando efetivamente quelatizadas. O contrário também é válido: Fórmulas com baixa concentração sem quelatizar ou com quelatos de baixa qualidade, são ineficientes.

3. A modificação do pH de solução é uma característica diferencial dos quelatos.

Quelatos capazes de acidificar a solução são mais convenientes por duas razões:

- a. Porque isto promove a absorção dos nutrientes mais facilmente (WALLACE 1963).
- b. Porque numa solução ácida a maioria dos defensivos (que normalmente são aplicados junto à adubação foliar) são mais estáveis. Prova disto são os dados do Quadro 4 e o trabalho de CLARK et alii (1987) em maçã, mostrando a queda da eficiência dos defensivos em função do aumento da concentração do  $\text{CaCl}_2$  na solução (Quadro 4).

4. É uma característica desejável que o quelato seja também um agente espalhante da solução.

5. Traduzindo WALLACE (1963), podemos ler: "Tem sido observados agentes quelantes trazendo incrementos de produtividade supostamente além de sua habilidade de suprir micronutrientes deficientes para a planta. Existem

Quadro 4. Efeitos de pH na calda na hidrólise de alguns defensivos.

NOME COMUM	NOME TÉCNICO	TEMPO PARA 50% HIDROLISE	REF
	Diazinon	pH 6 - 37 hrs hidrolise rápida em solução fortemente ácida ou alcalina	(1)
Guthion	Azinphosmethyl	pH 5.0 - 17 dias pH 7.0 - 10 dias pH 9.0 - 12 horas	(2)
Lannate	Methomyl	pH 9.1 - 1.5% hidrolise em 6 hrs, estável em soluções ligeiramente ácidas	(3)
Sevin	Carbaryl	pH 6 - 100 à 150 dias pH 7 - 24 à 30 dias pH 8 - 2 à 3 dias pH 9 - 24 horas	(2)
Benlate	Benonyl	pH 8.0 - 95% continua ativo na solução depois de 49 horas	(4)
Captan		pH 4 - 4 hr	(5)
Cholorothalonil	Bravo	pH 10 - menos que 2 min. pH 9 - 38 horas pH menor 7 não ocorre hidrolise	(6)

REFERENCIAS

1. The use and significance of pesticides in the environment 1979 538pp
2. Loveland Industries Inc.
3. Amer. Fruit Grower 8/74:17 -18
4. Agr. Food Chem Vol 21 No 6
5. J. Agr. Food Chem. 24(5): 1041-1045
6. J. Agr. Food Chem. Vol 25 # 1.977.

Extraído de: Citrus & Vegetable Magazine. August 1.985.

algumas possíveis razões para isto e mais de uma deve estar envolvida. Isto inclui um melhor balanço de micronutrientes, inativação do cálcio no citoplasma, efeitos de regulador de crescimento, e efeitos estimulatórios em algumas reações enzimáticas.

Estas razões estão sendo pesquisadas, lamentavelmente não tão depressa como outros fatores apontados no início do nosso relatório, talvez porque adubação foliar e quelatos não estão na moda.

#### 6. Finalmente o quelato deve ou não ser absorvido?

Com base nas observações nas quais a absorção é mais eficiente ou facilitada pelos quelatos, começou a ser aceito de que a absorção incluía o próprio quelato junto com o nutriente. Existem trabalhos tentando elucidar este ponto. Na busca de estabelecer o comportamento dos quelatos na planta, foram feitos estudos de determinações até de níveis tóxicos, distribuição e estabilidade dos mesmos (WALLACE et alii, 1955). Por outro lado é do maior interesse conhecer quais as condições nas quais a absorção se limita ao nutriente não acompanhado pelo quelato (WALLACE, 1963).

### COMENTÁRIOS FINAIS

A técnica de adubação foliar com quelatos reúne uma série de características que lhe permite melhorar o aproveitamento dos nutrientes.

A utilização de produtos de baixa concentração se baseia no aumento do aproveitamento do nutriente, isso está condicionado a qualidade do quelato, e ao fornecimento de quantidades suficientes do nutriente para a cultura.

Muitos pontos precisam ser melhor conhecidos e para isto é necessário maior volume de pesquisa.

Existem sem dúvida maiores possibilidades para desenvolver este tema, mas pensamos que o mais atual e central foi lembrado ou pelo menos sugerido.

Existe um grande volume de informações de campo disperso entre produtores e técnicos que lidam com adubação

foliar quelatizada. A transformação desta informação em material de utilidade para o desenvolvimento das culturas é um desafio a classe agrônômica.

Para quem trabalha com a técnica de quelatos em nutrição é uma satisfação dizer que quando os agrônomos não encontram um método para corrigir um problema de nutrição pela aplicação no solo, eles se voltam à aplicação foliar quelatizada como última alternativa ou possibilidade. Isto está dando credibilidade à aplicação foliar quelatizada.

Nós podemos acrescentar à questão duas reflexões:

- Se a adubação foliar quelatizada é um método como última alternativa, por que não preferí-la como técnica de primeira alternativa?
- Se outros fatores de produção tem trazido grandes progressos a produtividade das culturas, a nutrição pode trazê-las inovando nas fontes ou materiais usados.

Sugerimos mudar um pouco o enfoque dos trabalhos em nutrição: não é só quantidade de nutrientes, é também qualidade de nutriente usado.

## BIBLIOGRAFIA

CLARK J.M., BROOKS, M.W.; WOODS, S.A. & COLI W.M. Enhanced Degradation of Pesticides in Aqueous Formulations Due to Addition of Calcium Chloride. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112(2): 260-263. 1987.

CHESNIN, L. Chelates and the Trace Elements Nutrition of Corn. Agr. Food Chemistry, Vol. 11, nº 2, 1963.

- LEONARD, C.D.; STEWARD, J. & EDWARDS G. Effectiveness of Different Zn Fertilizers on Citrus, the Citrus Industry, 38: 9-15. 1957.
- LOPES, A.S. Uso Eficiente de Fertilizantes com Micronutrientes. Anais Simpósio Fertilizantes na Agricultura Brasileira - EMBRAPA. 1984.
- ROSOLEM, C.A. Adubação Foliar. Anais Simpósio Fertilizantes na Agricultura Brasileira - EMBRAPA. 1984.
- STEIN, L.A. & STOREY, J.B. Influence of adjuvants on Foliar Absorption of Nitrogen and Phosphorus by Soybeans. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 111(6): 829-832.
- STOLLER, J.H. Technical Paper. Stoller Chemical Company, Inc. Houston, Texas, 1982.
- WALLACE, A. Chelated Metals for Supplying Micronutrients to Fruit Crops. In: Chelated Growing Plants. Los Angeles, California. 1966.
- WALLACE, A. Review of Chelation in Plant Nutrition. Agr. Food Chemistry Vol. 11, nº 2. 1963.
- WALLACE, A.; NORTH, C.P.; MULLER, R.T.; SHANNON, L.M. & HEMAIDAN, N. Behavior of Chelating Agents in Plants. Amer. Soc. Hort. Sci. Vol. 65. 1955.
- WALLACE, A. & MULLER, R.T. Responses of Plants to Zn and Mn Chelates. Soil. Sci. Amer. Proc. 23: 79. 1959.

## BIOESTIMULANTES E HORMÔNIOS APLICADOS VIA FOLIAR

*Paulo Roberto de Camargo e Castro*<sup>1</sup>  
*Eunice Melotto*<sup>2</sup>

### 1. ABSORÇÃO FOLIAR

Absorção vem a ser o movimento de moléculas dissolvidas e íons a partir de um meio aquoso externo através de membranas semipermeáveis da célula (plasmalema e tonoplasto), para o interior do citoplasma e vacúolo da célula, e sua retenção nesses locais. Como as substâncias não são somente absorvidas (influxo), mas também podem se mover da célula vegetal para o meio externo (efluxo), a absorção líquida é o resultado dos dois processos (influxo menos efluxo). A membrana plasmática, com 7 a 10 nm de espessura, pode possibilitar a passagem tanto de íons hidrofílicos como de moléculas, que se difundem passivamente através dos poros da membrana, com diâmetro de aproximadamente 10 nm; sendo que moléculas lipofílicas podem também passar através da estrutura da membrana, assim como os íons que penetram ativamente na membrana através de carregadores, com a utilização de energia metabólica (trifosfato de adenosina, ATP). O ATP da respiração ou da fosforilação é utiliza

---

<sup>1</sup> Professor Titular.

<sup>2</sup> Departamento de Botânica, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, 13400 Piracicaba, SP. Cx. Postal 9 - Tel. (0194) 33-0011 - Telex (019) 1141.

do durante a regeneração do carregador (ISERMANN, 1980).

A planta não absorve todas as substâncias, apesar de requerer muitas delas, mas recolhe aquelas que é capaz de absorver, dependendo das propriedades físicas (dimensão da molécula ou diâmetro dos íons hidratados; hidrofílicos ou lipofílicos) e químicas (configuração eletrônica dos íons) das substâncias, além da combinação de fatores genéticos e do meio ambiente relevantes (aqueles que influenciam a composição e a distensão das membranas plasmáticas).

Deste modo, íons ou moléculas, se disponíveis em quantidades comparáveis, são frequentemente absorvidos com intensidade e a um grau, semelhantes, sejam eles importantes ao metabolismo vegetal (potássio, ácido giberélico) ou tóxicos à planta (rubídio, metanol).

Todas superfícies externas e internas das partes aéreas das plantas são cobertas com uma camada gordurosa lipoidal conhecida como cutícula. Embora possa variar em espessura, é encontrada dentro das aberturas estomáticas, sobre as superfícies livres das células do mesófilo, e sobre as paredes epidérmicas internas quando são expostas a espaços de ar internos. Obviamente, a cutícula é a primeira barreira que deve ser transposta antes que produtos aplicados nas folhas possam entrar em contato com o protoplasma das plantas vivas. Penetração estomática, quando ocorre, não é equivalente à absorção, nem evita a necessidade da penetração cuticular, visto que substâncias nos espaços intercelulares ainda devem passar através da camada de cutina e da parede celular.

No seu lado externo ou exposto, a cutícula de muitas folhas é coberta por diminutas projeções submicroscópicas de cera, as quais são expelidas ou migram para a superfície foliar. A frequência e extensão da cera de superfície e das projeções de cera, variam com a espécie e o ambiente. A capacidade de molhar de uma solução aplicada na ausência de um detergente é negativamente correlacionada com a quantidade e natureza da cera presente. No seu lado interno, adjacente à parede celular, a cutícula é usualmente ligada por uma camada fina de pec-

tina, e este material pectináceo pode se estender através da cutícula, alcançando o lado externo da folha. Rachaduras e outras imperfeições na cutícula, ou uma cutícula embricada de pequenas placas semelhantes a cera, cimentadas por substâncias pecticas (lamela hidrofílica) pode resultar penetração de substâncias aplicadas via foliar, através da cutícula. Isto constituiria na passagem intercuticular.

A presença de camadas finas subjacentes de pectina, entre a cutícula e a parede celular epidérmica, permitiu o isolamento de membranas cuticulares de superfícies foliares com ou sem estômatos, pelo uso de enzimas pecticas e outras. Assim, pôde-se estudar a penetração de íons em membranas cuticulares isoladas. Tais filmes de cutícula foram caracterizados como membranas trocadoras de cátions semilipoidais. A passagem intracuticular foi sugerida. Foi estudada a permeabilidade de cutículas isoladas para vários íons nutrientes. Foi encontrado que a penetração era linear com o tempo, típica de simples difusão e independente da presença de estômatos. Membranas cuticulares mostraram-se geralmente mais permeáveis a cátions do que a ânions. Assim, mesmo que a cutícula seja uma barreira para a penetração de nutrientes aplicados à folha, ela não é impermeável. A aderência de gotículas aquosas e a permeabilidade da cutícula é maior quando a mesma é fina e hidratada. Hidratação da cutícula causa entumescimento, as placas de cera espalhadas através da cutícula são separadas e a penetração é facilitada. Quando a cutícula está seca, pela falta de umidade na planta ou pela ausência de umidade na superfície foliar, a estrutura restringe e impede a entrada. É bem conhecida que a absorção foliar é mais rápida na presença de umidade na superfície da folha.

Depois da absorção e penetração da cutícula, existe ainda a barreira da parede celular e da membrana plasmática. Entretanto, o protoplasto penetra a parede celular através de várias pequenas protusões designadas ectodesmas. Plasmodesmas, por sua vez, interconectam todas as células vivas, mantendo o protoplasto da planta inteira como um todo orgânico. Muitos dos ectodesmas penetram na parede externa da epiderme e terminam abaixo

da cutícula. A distribuição e frequência destes ectodesmas têm uma estreita relação com o fenômeno de absorção foliar. Existem evidências indicando que rotas preferenciais de absorção através de superfícies foliares incluem células epidérmicas acima de nervuras, pêlos foliares, paredes anticlinais de células epidérmicas e paredes de células guardas dos estômatos. Por sua vez, esses sítios são consistentemente equipados com o maior número de ectodesmas. Folhas túrgidas contêm mais ectodesmas do que folhas murchas e o número é maior durante a noite e as primeiras horas da manhã do que durante o dia. Além disso, sabe-se que a absorção foliar é favorecida quando estômatos existem ou ocorrem em grande número. Ectodesmas, da mesma forma, ocorrem em grande número ao redor das células guardas. Leves escovações de superfícies foliares também facilitam muito a absorção. Isto pode ser explicado pela remoção da cera superficial e pela quebra de pêlos.

Após os nutrientes terem penetrado pelos ectodesmas, transporte através da parede de células epidérmicas e nos ectodesmas pode se dar por difusão ou por um processo ativo dependente de energia.

Existe ainda a questão da absorção foliar através de estômatos e espaços intercelulares. Sob condições normais, as cavidades estomáticas estão cheias de ar e não permitem a entrada de água. Soluções contendo surfactantes, entretanto, entram prontamente. Mas, entrando, estão dentro das folhas e não dentro das células. O problema da absorção é simplesmente passar da superfície foliar externa para a superfície dos espaços intercelulares. Alta frequência de ectodesmas, cutícula fina, e grandes áreas superficiais, favorecem a penetração através das paredes de células epidérmicas pelos mesmos caminhos descritos acima. Assim, na prática, agentes molhantes ou detergentes podem ajudar a absorção foliar de duas maneiras. O ângulo do contato das gotículas com a superfície cuticular externa da folha é diminuído, a penetração para a cavidade estomática se realiza e, em consequência, há um grande aumento de superfície absorvente disponível.

Existem grandes lacunas no nosso conhecimento, so-

bre mecanismos de absorção foliar de todas as substâncias aplicadas. Evidências sugerem que, com a possível exceção do N na forma de uréia, os mecanismos de absorção de nutrientes pelas folhas se assemelham aos das raízes. Absorção de sais pela célula vegetal é controlada por muitos fatores externos e internos. Com a folha existe uma complicação adicional de uma cutícula com depósitos de ceras superficiais, as quais variam com a espécie, ambiente e idade. Mesmo na mesma folha, as duas superfícies variam não somente em espessura de cutícula e em natureza e extensão dos depósitos de cera, mas também em presença ou ausência e frequência de estômatos.

Os experimentos tradicionais de nutrição estão relacionados com absorção radicular, as raízes são imersas em uma solução, cujos componentes podem ser regulados e o ambiente facilmente padronizado. Na nutrição foliar, maiores concentrações são empregadas do que aquelas toleradas pelas raízes. Normalmente ocorre evaporação da fase aquosa destas soluções minutos após a aplicação e a absorção de resíduos ocorre em todos os estados de desidratação, com as soluções variando grandemente na concentração. Essas variações, juntamente com a dificuldade de distinção entre absorção e transporte subsequente, são problemas ainda a serem resolvidos.

Duas fases são geralmente distinguidas na absorção de nutrientes pelas plantas. A primeira é um processo não metabólico inicial, no qual a superfície foliar pode absorver, trocar, difundir ou efetuar uma combinação de todos. Penetração inter e intracuticular são importantes nesta fase, similarmente, alguma penetração através da parede de células epidérmicas é possível. A absorção foliar inicial de todos os nutrientes é extremamente rápida. Alguma penetração epidérmica de radiofósforo ocorre em menos que 5 segundos nas folhas de plantas de trigo e aveia. A absorção inicialmente rápida é maior para Ca do que para P, sendo geralmente maior para cátions do que para ânions. Moléculas apolares e não dissociadas (uréia) entram mais prontamente do que cátions. Poderia parecer que difusão e troca constituem processos básicos na absorção inicial de

todas as substâncias pelas folhas. Aparentemente, absorção passiva é maior com N na forma de uréia e cátions, sendo menor com ânions (cloreto, fosfato, sulfato). Rápida difusão inicial de nutrientes para as folhas é suportada por diversos trabalhos, onde o espaço livre aparente (ELA) de tecidos foliares verdes de várias espécies foi determinado. Os valores de ELA estão livres entre 5-20%, medidos por radio-sulfato. Uma alta umidade da superfície foliar não somente altera as propriedades físicas da cutícula, como indicado anteriormente, mas pode também aumentar o potencial de difusão do ELA de nutrientes aplicados via foliar.

A segunda fase de absorção de nutrientes é ativa, ocorrendo um acúmulo irreversível contra um gradiente de concentração por um longo período de tempo. Existem consideráveis evidências de que um importante papel é exercido por mecanismos ativos, particularmente na absorção de ânions, através de superfícies foliares. A absorção é dependente de temperatura, requer uma fonte de energia e pode ser alterada por inibidores metabólicos (WIT-TWER et alii, 1964).

## 2. ADJUVANTES E REGULADORES VEGETAIS

O termo adjuvante é um coletivo que inclui todos os aditivos químicos que intensificam ou modificam as soluções ou sistemas pulverizados. Devemos considerar que todos os surfacantes podem ser incluídos como adjuvantes. Surfactantes são agentes ativos em superfícies, com a função primária de reduzir a tensão superficial de um líquido (solução pulverizada) ou a tensão interfacial entre dois líquidos. Adjuvantes são produtos que facilitam a ação de substâncias pulverizadas, modificando as características da formulação aplicada ou alterando as propriedades do composto utilizado. Os adjuvantes podem ser agrupados de acordo com o tipo de ação em três grandes grupos: (a) ativadores, agentes molhantes, penetrantes e óleos; (b) modificadores da pulverização, adesivos, espalhantes, depositadores, formadores de filme, espumantes e agentes espessantes; (c) modificadores de utilidade, emulsificantes, dispersantes, agentes estabi-

lizantes agentes acopladores, co-solventes, agentes compatibilizantes, agentes tampão e agentes anti-espumantes.

Dependendo de sua ionização em água, os surfactantes podem ser classificados em não-iônicos e iônicos. Os surfactantes não-iônicos pouco ou não se ionizam em água e não possuem partícula carregada. Os surfactantes iônicos ionizam-se em água e a porção ativa da molécula pode apresentar carga positiva (catiônica) ou negativa (aniônica).

A maioria dos reguladores e os estimulantes vegetais utilizados são sistêmicos e precisam ser absorvidos pelas plantas para exercerem sua atividade. Adjuvantes que aumentam o molhamento, espalhamento, fixação e penetração da substância pulverizada, são de grande utilidade na aplicação de reguladores vegetais, podendo ser utilizados da seguinte maneira:

(a) Formulação - muitos adjuvantes são comumente utilizados como uma parte integrante da formulação do produto, como um agente emulsificante, molhante, anti-espumante, tampão, dispersante, acoplador e estabilizante. Esses adjuvantes são necessários para facilitar a transformação de um ingrediente ativo em um produto comercial, na forma de um pó molhável, um concentrado emulsionável líquido ou um fluido. Apesar da maioria desses adjuvantes serem conhecidos, o método e a taxa de uso por um determinado formulador são mantidos como segredos industriais.

(b) Molhamento - a maioria das superfícies da planta são naturalmente hidrofóbicas e quando elas entram em contato com líquidos, formam um grande ângulo de contato com suas gotas. A adição de um agente molhante à solução aplicada reduz o ângulo de contato da gota, aumenta a cobertura da pulverização e a eficiência dos reguladores vegetais.

(c) Favorecendo a Penetração e Translocação - vários surfactantes possuem propriedades polares e apolares combinadas na mesma molécula, promovendo compatibilidade com sistemas hidrofílicos e lipofílicos. Esses sur

factantes podem influenciar na atividade do regulador vegetal em diferentes locais: (1) sobre a superfície da cutícula por tensão superficial; (2) no interior das camadas da cutícula aumentando a penetração; (3) dentro ou na superfície das células epidérmicas, modificando a parede celular ou a plasmalema. O efeito combinado do surfactante sobre a penetração através do estômato, cutícula e plasmalema pode incrementar a taxa de translocação e a atividade de reguladores vegetais sistêmicos.

(d) Melhorando a Resistência dos Produtos Pulverizados às Intempéries - apesar da adição de espalhantes adesivos à mistura a ser aplicada não ser comum com reguladores vegetais, sua utilização melhora a ação dos reguladores em culturas com superfícies foliares providas de muita cera e sob condições de clima chuvoso.

(e) Modificando a Taxa de Evaporação - com o aumento do uso de pulverizações em baixo e ultra-baixo volume, a taxa de evaporação das soluções aplicadas adquire um papel relevante na atividade dos reguladores vegetais. Adjuvantes capazes de reduzir a taxa de evaporação podem exercer uma função importante, principalmente sob condições de alta temperatura e de déficit hídrico, para prolongar o molhamento e aumentar a absorção.

(f) Reduzindo o Impacto - como os defensivos, os reguladores vegetais possuem utilização específica em determinadas culturas. Os adjuvantes capazes de reduzir o impacto da pulverização podem mostrar-se altamente interessantes. Alguns adjuvantes podem aumentar a dimensão das gotas sem reduzir a eficiência do regulador sistêmico, tais como: agentes espessantes, emulsões invertidas, polímeros que se dilatam em água, hidroxietil celulose e polissacarídeos formadores de gomas (ABDEL-RAHMAN, 1977).

Agentes surfactantes, em virtude de suas propriedades, têm merecido atenção especial na formulação dos reguladores vegetais, previamente à aplicação desses compostos nas plantas cultivadas. Existem vários tipos de surfactantes disponíveis, com propriedades características, como solubilizantes, dispersantes, molhantes e espalhantes. Novos surfactantes não-iônicos, capazes

de formar filme sobre a folha, tendo por princípio ativo a acrilamida, são atualmente disponíveis.

Os surfactantes, devido sua natureza polar e apolar combinada, frequentemente facilitam e acentuam a emulsificação, dispersão, espalhamento, molhamento, solubilização e outras modificações nas propriedades de formulações agrícolas aplicadas em superfícies foliares. Reduzindo a tensão superficial ou das interfaces e o ângulo da gota com a superfície foliar, aumenta o espalhamento e o molhamento a tal ponto que favorece a penetração da substância aplicada, através da pulverização. Entretanto, a obtenção de interações mais adequadas e específicas entre regulador vegetal - surfactante - superfície foliar, devem ser levadas em consideração, além de simplesmente melhorar o molhamento. Estabeleceu-se a existência de uma via polar (hidrofílica) e de outra apolar (lipofílica) na absorção de substâncias através da cutícula.

Diversas classes de surfactantes, com diferentes propriedades, encontram-se disponíveis: aniônicos, catiônicos, não-iônicos e anfóteros. Dentre os inúmeros surfactantes disponíveis, a American Cyanamid lançou os sulfosuccinatos, com a denominação de Aerosol, na década de 1930, tendo posteriormente introduzido novas estruturas com características capazes de aumentar a tolerância das plantas ao déficit hídrico, em adição a outras propriedades, como: molhamento e espalhamento, remolhamento, dispersão e solubilização, suspensão e adsorção. Dentre os aniônicos existem os sulfosuccinatos diésteres (Aerosol TR-70), sulfosuccinatos meio ésteres (Aerosol A-268) e alquilaril sulfonato (Aerosol 05); o catiônico Aerosol C-61; os não-iônicos Surfactant 604 (polimérico) e finalmente o anfotérico Aerosol -30 (cocoamido propil betaína). Os surfactantes poliméricos não-iônicos são emulsificantes-dispersantes pouco espumantes, apresentando uma concentração micelar altamente crítica. Esses dispersantes são recomendados para utilização quando se deseja a formação de filmes. Verificou-se experimentalmente que esses filmes sobre as folhas podem manter a alta umidade sem serem lavados, o que pode ser de utilidade para se encapsular ingredientes ativos sobre a superfície das plantas (BARUA, 1977).

Foi estudado o aumento na penetração de ácido naftalenacético (NAA) por surfactantes, através da indução da produção de etileno pelo NAA, utilizando discos foliares de caupi (*Vigna unguiculata*) como um índice de penetração. A concentração de NAA foi mantida constante (250 ppm) enquanto as dosagens dos surfactantes variaram de 0,00 a 10% (v/v). Os surfactantes estudados foram Tween 20 (monolaurato de polioxietileno sorbitan), X-77 (uma mistura de alquilaril polioxietileno glicóis, ácidos graxos livres e isopropanol) e Regulaid (polioxietileno polipropoxi propanol dihidroxi propano). Todos os surfactantes incrementaram a penetração do NAA, determinada pela produção de etileno, mas a concentração de maior eficiência variou para os diferentes surfactantes. Regulaid nas concentrações de 0,01 a 10% apresentou efeitos semelhantes, X-77 promoveu a máxima produção de etileno em concentrações entre 0,01 e 5%, sendo que Tween 20 aumentou a penetração de NAA a concentrações acima de 1%. Em um ensaio semelhante, utilizando folhas de *Prunus cerasus*, verificou-se uma relação linear entre o incremento na penetração de NAA e concentrações crescentes de Tween 20 entre 0,01 a 5%. Além disso, apesar da penetração de NAA ter sido quase 20 vezes maior na superfície dorsal da folha com relação à ventral, a porcentagem de aumento dado pelo Tween 20 mostrou-se semelhante para ambas as superfícies.

Alterações promovidas pelo surfactante, nas características físicas e químicas das gotas, foram estudadas com relação ao incremento na penetração do NAA. A tensão superficial decresceu significativamente com o decréscimo paralelo no ângulo de contato. A razão gota/área de interface na superfície foliar mostrou-se inversamente relacionada com o ângulo de contato. Além disso, o tempo para o secamento da gota foi significativamente aumentado sob concentrações de 1 a 10% do surfactante. O aumento no tempo de secamento teve pouco efeito na penetração do NAA. O efeito do surfactante no incremento da penetração do NAA pode ser parcialmente relacionado com um aumento na área da interface. Entretanto, ocorrem também alterações nas soluções e nas gotas com relação à interface na superfície foliar, modificando o processo de penetração. Alguns surfactantes induzem fitotoxicidade foliar em concentrações acima de

0,01%. Os danos nas folhas se caracterizam por descolamento e por uma degradação da epiderme seguida por um colapso do tecido abaixo da gota. Juntamente com o desenvolvimento dos sintomas foliares, foi observado um aumento na produção de etileno 7 a 10 vezes superior ao controle (LOWNDS & BUKOVAK, 1983).

A maioria dos primeiros trabalhos com surfactantes em árvores frutíferas envolvia combinações com NAA ou outras auxinas aplicadas para evitar a queda dos frutos antes da colheita. Carbowax, lanolina e óleos são exemplos de alguns desses primeiros aditivos utilizados como adesivos, espalhantes ou auxiliares da absorção. A incorporação desses materiais com um regulador vegetal a ser aplicado em pulverização foliar foi substituída por Tweens ou Tritons, na década de 1950, quando o NAA e o ácido naftalenacetamina (NAAm) entraram em uso para desbaste químico. Foi verificado que a absorção do NAA era aumentada com a adição de Tween 20 0,125%. Esses resultados foram determinados em experimentos de campo sobre o efeito no desbaste do NAA e de sua combinação com o surfactante e em ensaios de laboratório com NAA marcado com  $^{14}C$ .

A utilização de Tween 20 parece promover uma absorção mais uniforme do NAA e outros reguladores vegetais sob um largo espectro de condições de temperatura e umidade, inevitavelmente encontradas em condições de campo. O uso de um surfactante com NAA ou NAAm, no desbaste químico, tornou-se uma recomendação comum em muitas regiões. A síntese de novos complexos químicos, a combinação de dois ou mais produtos e a reavaliação de outras substâncias com propriedades interessantes, têm originado novos surfactantes. Gliodim e clorotalonil são exemplos desses últimos.

O objetivo do uso desses surfactantes com reguladores vegetais, na atualidade, é de aumentar a absorção e o efeito de uma certa quantidade do regulador, sob diferentes condições, em diversas espécies de frutíferas. As características de molhamento e de absorção das superfícies das folhas e frutos estão relacionadas com as condições do ambiente e com as diferenças entre as espécies. Para se obter um bom molhamento, uma desejá-

vel retenção por filme e um secamento uniforme da superfície da planta, são necessários surfactantes com diferentes características. Com um grande número de surfactantes, com diferentes características, atualmente disponíveis, de aniônico e catiônico a não-iônico e anfótero, essas necessidades podem ser geralmente atendidas.

Além do aumento na uniformidade da resposta que pode ser obtida com o adjuvante apropriado, existe a possibilidade de se restringir um efeito colateral indesejável, capaz de ocorrer com alguns reguladores vegetais, sob certas condições. Isto pode ser conseguido pelo aumento na absorção e atividade de uma determinada quantidade do regulador vegetal e redução nos níveis residuais do regulador no tecido vegetal, capaz de causar o efeito colateral. A incidência ocasional de gomose em *Prunus* sp. após o uso de ethephon, é um exemplo deste efeito colateral (EDGERTON, 1977). O secamento do painel de *Hevea brasiliensis* pelo uso contínuo de altas concentrações de ethephon é outro exemplo; assim como a ocorrência de rachaduras dos frutos de tomateiro sob ação do ácido giberélico, e a incidência da anomalia caracterizada pelo aumento no número de frutos triloculares, por efeito da daminozida (CASTRO & INOUE, 1977).

Árvores de macieira (*Malus domestica* cv. Starkrimson Delicious) com 14 anos de idade, sob duas diferentes altitudes, foram tratadas com Promalin (N-(fenil metil)-1 H-purina-6-amina + GA<sub>4</sub> + GA<sub>7</sub>) e com o estimulante vegetal misturado com os adjuvantes: Aim (53% base amina de coco, sem álcool ou éter), Biofilm (Alquilaril-polietoxietanol, livre e combinado com ácidos graxos, ésters glicólicos, di-alquil benzeno dicarboxilato, isopropanol 2,3%), Sorba - Spray ZKP (álcool hexahídrico, alquilbenzenosulfonato de ácido fosfórico, sulfato de zinco), Surfynol TG-e (mistura de líquido não-iônico acetilênico), Triton CS-7 (alquil aril polietoxiato, sal sódico de alquilato alquilsulfonato 80%), Tween 20 e X-77. Os resultados indicaram que a razão comprimento/diâmetro dos frutos respondeu tão bem ao efeito de Promalin + adjuvante aplicado na metade da dosagem (0,62 ml/l) com relação ao uso de Promalin (1,25 ml/l), sem adjuvante (YOUNG, 1978).

Verificou-se que a utilização de uréia 2% como adjuvante, incrementou o efeito do ethephon, aplicado como agente maturador de frutos em cafeeiro (CASTRO et alii, 1981).

Harvade (2,3-dihidro-5,6-dimetil-1,4-ditiin-1,1,4,4-tetraóxido) tem-se mostrado muito eficiente como agente desfolhante em algodoeiro e como dissecante da folhagem de plantas de batata. A eficiência da ação desfolhante do Harvade é afetada diretamente pela mistura com vários surfactantes. Verificou-se que o desfolhante de plântulas de algodoeiro foi mais eficiente quando Harvade foi aplicado com polioxietileno-20 oleil éter (OAL-20) com relação a outros surfactantes. Observou-se que certos óleos de petróleo também incrementam a ação de Harvade como dissecante da folhagem de plantas de batata. A combinação de OAL-20 com óleo sun spray 11N na mistura com Harvade provocou uma desfolha mais consistente, principalmente sob condições de baixa umidade. Um verdadeiro desfolhante somente pode atuar após sua penetração através da cutícula foliar. Consequentemente, o aumento na atividade do desfolhante observado com o surfactante OAL-20 resulta provavelmente de uma penetração cuticular mais eficiente. Testou-se essa hipótese com a aplicação de Harvade com  $^{14}\text{C}$ , pulverizado com e sem o adjuvante. O ensaio mostrou que a aplicação de OAL-20 5.000 ppm incrementou significativamente a penetração de Harvade marcado nas folhas de algodoeiro (AMES & CORKINS, 1978).

Porém, aplicação de Harvade em *Coleus* inibiu o aumento na atividade da celulase e aumentou força necessária para promover abscisão, sendo que efeito semelhante foi observado em feijoeiro, sugerindo que o desfolhante pode inibir a síntese protéica. Harvade também retardou o efeito positivo do etileno na abscisão de *Phaseolus*. Aplicação do surfactante UBI-1126 acelerou o processo de abscisão em *Coleus*, aumentando rapidamente a atividade da celulase e reduzindo a força necessária para causar abscisão (BAIRD & REID, 1986).

### 3. TRANSLOCAÇÃO DO ÁCIDO INDOLILACÉTICO

O transporte polar de auxina foi notado em 1928 por

Went. Usando segmentos de coleóptiles de *Avena* e blocos de ágar contendo material que tinha difundido da extremidade do coleóptile, ele mostrou que o movimento de auxina foi maior na direção basípeta. Esta observação foi posteriormente repetida com ácido indolilacético (IAA) sintético e em segmentos da parte aérea de várias diferentes espécies. O transporte polar de IAA na parte aérea está em uma direção basípeta, embora seja possível transporte lateral por estímulo trópico. Em segmentos de raízes, o transporte polar é acrópeto.

O transporte de IAA em plantas intactas tem sido bem estudado. IAA marcado aplicado no ápice de plântulas de ervilha é transportado a uma taxa de 11 mm/h, isto é, uma velocidade similar ao transporte polar nas secções. O transporte é inibido por ácido 2,3,5-triidobenzoico - um inibidor do transporte polar de IAA. O transporte polar específico de IAA, portanto, ocorre em plantas intactas.

O transporte polar de IAA nas raízes e parte aérea requer energia metabólica, uma vez que o IAA não é transportado sob condições anaeróbicas. O sistema de transporte polar é específico para auxinas ativas, e ácidos fracos inativos, tais como, ácido benzóico, não são transportados. Ácido alfa-naftalenacético é transportado rapidamente em uma direção polar, enquanto que o ácido inativo beta-naftalenacético não é transportado. Meta-bólitos de IAA não se movem no sistema de transporte polar de coleóptiles de *Zea mays*.

O tempo de transporte de uma dada quantidade de IAA aumenta aproximadamente linearmente com a distância e não com o quadrado da distância, como seria o caso da difusão. Quando fornecido nas concentrações  $0,5$  a  $5 \times 10^{-3}$  mol  $\times$  m $^{-3}$ ,  $^3\text{H}$ -IAA moveu-se em coleóptiles de *Zea mays* com uma velocidade ao redor de 12 mm/h. Velocidades similares têm sido registradas em outras plantas.

Foi demonstrado o envolvimento de um sítio saturável no transporte de IAA. Quando uma pulsação de  $^3\text{H}$ -IAA foi aplicada a secções de coleóptiles equilibrados com  $10^{-2}$  mol  $\times$  m $^{-3}$  de IAA, a taxa de transporte foi reduzida e o IAA marcado não se moveu como uma pulsação discreta.

A teoria clássica do transporte polar de IAA sugere que o IAA move-se no citoplasma e é secretado no final basal das células da parte aérea (no final apical de células das raízes), por um mecanismo dependente de energia e mediado por um carregador. Este mecanismo é atraente, uma vez que IAA seria requerido para atravessar a membrana plasmática somente uma vez e portanto, passaria através de plasmodesmas e permaneceria no simplasto. Um carregador seria, naturalmente, requerido para providenciar a especificidade necessária. Não está claro como a direção do transporte seria estabelecida.

Mais recentemente, uma segunda teoria de transporte de auxina foi proposta. Esta teoria também não esclarece o mecanismo que estabelece a direção do transporte. É baseada no fato de que o pH do interior das células é mais alto que o pH da solução que banha as paredes celulares e que ácidos entram nas células na forma não dissociada e não como ânions. O pH da solução da parede celular de coleóptiles de *Avena* é 5, enquanto que o do citoplasma e do vacúolo são 7,1 e 5,5, respectivamente. Assim, o IAA dentro da célula seria ionizado a um maior grau que o de fora, e as células acumulariam IAA. Polaridade seria obtida se um final de célula fosse mais permeável ao ácido dissociado do que outro final.

Em raízes de milho, é possível separar os tecidos das regiões cortical e do cilindro central. Foi demonstrado que o transporte polar de IAA ocorre predominantemente no cilindro central. Estudos de transporte de IAA com  $^{14}\text{C}$  da gema apical de plântulas de ervilha intactas, usando técnicas de dissecação e autoradiografia, indicaram que o transporte ocorre no câmbio e tecidos vasculares diferenciados. Como o IAA marcado não pôde ser extraído por afídeos, os elementos maduros parecem não estar envolvidos.

A presença de IAA na seiva do floema foi demonstrado por espectrometria de massa. Determinações das concentrações mostraram de 4 a 13 ng/l. IAA fornecido a folhas exportadoras maduras de várias espécies é transportado a taxas similares a aquelas de glucose com  $^{14}\text{C}$

e se acumula nos drenos metabólicos. Seguindo a aplicação de IAA marcado, a radioatividade pôde ser detectada em afídeos que estão se alimentando da seiva do floema. A velocidade de transporte varia de 100 a 240 mm/h e não existe polaridade fixada. Esta rota de transporte do IAA parece estar separada do sistema de transporte polar, uma vez que IAA aplicado na gema apical não parece entrar na seiva do floema.

Reconheceu-se que a semente é uma fonte rica em auxina na germinação. Isso foi demonstrado pelo corte de pequenos blocos de endosperma, umidécimento e aplicação dos mesmos assimetricamente na parte aérea de coleóptiles de aveia em crescimento. A parte aérea respondeu pelo crescimento mais rapidamente no lado em que o bloco tinha sido colocado. Um estudo fisiológico foi efetuado para caracterizar melhor este precursor de auxina de sementes. Foi demonstrado que alguma coisa difundiu da semente para a parte aérea, que não era auxina, mas poderia ser convertida em auxina pelo contacto prolongado com o tecido da parte aérea. Substâncias como a triptamina possuíam propriedades aproximadas dos precursores de auxinas das sementes. Recentemente, tem havido renovado interesse pelo precursor de auxina das sementes. Triptofano marcado com alta atividade específica é disponível comercialmente e IAA marcado e IAA-mio-inositol são prontamente preparados a partir do triptofano, ou sintetizado quimicamente. Assim, é possível com esses 3 compostos, determinar se eles podem servir como precursor de auxina de semente e mover do endosperma para a parte vegetativa. Aplicação de IAA marcado, triptofano e IAA-mio-inositol no endosperma, levou ao aparecimento de 0,015, 0,15 e 6,3 pmol x parte aérea<sup>-1</sup> x h<sup>-1</sup>, respectivamente, de IAA ou IAA-éster, na região estudada. Assim, a semente pode fornecer algum do IAA requerido pela parte aérea como o IAA-mio-inositol.

Em resumo, o uso agrônômico de substâncias químicas reguladoras de crescimento, frequentemente depende de seu transporte seletivo basípeto ou acrôpeto, portanto, o conhecimento do transporte hormonal é importante. Não existe ainda, um acordo geral de como o rápido e específico transporte basípeto de IAA é realizado, havendo somente o início do conhecimento a respeito do transpor-

te acrópeto de sementes para a parte aérea. Mutantes deficientes em carregadores e transporte, juntamente com capacidade analítica melhorada para IAA e seus conjugados, além do uso de ensaios fotosensíveis proporcionariam maiores progressos (BANDURSKI & MONHEBEL, 1984).

#### 4. TRANSLOCAÇÃO DE GIBERELINAS E CITOCININAS

Pouco é conhecido se outras substâncias além da auxina, se movem na planta por: (a) difusão, (b) movimento no xilema, (c) movimento no floema ou (d) transporte polar. O efeito da concentração, distância e duração do transporte, bem como inibidores metabólicos do movimento desses hormônios, não tem sido sistematicamente investigado. Além disso, é bom lembrar que auxinas aplicadas nas partes aérea e radicular podem se mover no xilema e no floema, enquanto que auxinas endógenas se movem por transporte polar. Assim, o transporte no tecido vascular de ácido giberélico e de cinetina aplicados a plantas intactas ou semi-intactas, não provam que hormônios endógenos são translocados desta maneira. Estudos, com sucesso, do movimento de citocininas e giberelinas endógenas dependem do conhecimento do local de síntese destes hormônios.

Giberelinas (GA) marcadas com  $^{14}\text{C}$  são aparentemente bastante estáveis na planta, e a rápida distribuição da radioatividade na parte aérea e raízes, mostrada em radioautografia, quando giberelinas com  $^{14}\text{C}$  são aplicadas em folhas, parece refletir a distribuição de giberelinas. Ácido giberélico aplicado a um folíolo de planta de ervilha se move acropetamente a  $50 \text{ mm} \times \text{h}^{-1}$ . O movimento se dá provavelmente pelo floema porque o padrão de movimento de GA lembra o de outros compostos orgânicos; GA não se move para folhas opostas aquelas onde é aplicado, move-se de folhas maduras para imaturas e permanece em uma folha em expansão.

O movimento de GA em seções isoladas de epicôtilos de ervilha estiolados não é polar; entretanto, seções de epicôtilos de ervilha são capazes de muito mais absorção e movimento de GA do que pedaços de tubérculo de batata.

O movimento de giberelina endógena também parece ser não-polar. Em ervilha e girassol, giberelinas endógenas sintetizadas na extremidade do caule, provavelmente nas folhas jovens, movem-se basípetamente como é indicado pelo seu efeito sobre o crescimento de entrenós jovens. Movimento acrópeto de giberelina endógena é aparente em girassol, onde o crescimento do quarto entrenó é reduzido pela metade, retirando-se o par de folhas imediatamente abaixo deste entrenó. Em girassol, a região de síntese máxima de giberelina se correlaciona bem com a proporção de alongamento do entrenó. Aparentemente, a giberelina produzida nas folhas influencia o crescimento dos entrenós imediatamente adjacentes, e a distância que a giberelina deve ser transportada não necessita ser grande.

Em girassol, giberelinas também são sintetizadas nos 3 a 4 mm apicais das raízes e também têm sido detectadas na seiva exsudada de girassol, tremoço, ervilha e bálamo. Esta seiva, que apresenta baixos teores de açúcar e pode ser coletada acima da região anelada do caule, sendo exsudada do xilema quando a planta é cortada ao nível do solo. A presença de giberelinas nesta seiva sugere que elas são fornecidas pelas raízes, na corrente transpiratória, para o caule e folhas maduras. Provavelmente, elas podem entrar no floema e mover-se para porções imaturas da parte aérea.

Até recentemente, o movimento de citocininas dentro da planta pensava-se ser restrito. Por exemplo, aplicação direta de cinetina em gemas laterais de plântulas de ervilha, quebra a dominância apical, enquanto que aplicação a 2 mm das gemas inibidoras é ineficiente. Além disso, cinetina com  $^{14}\text{C}$  migra prontamente em plântulas de feijoeiro.

Em certa proporção, o movimento da citocinina, benziladenina (BA), em secções de 5,4 mm de pecíolos de feijoeiro parece ser similar ao do IAA. Após 24 hs, cerca de 5% da absorção de qualquer dos dois hormônios é recuperada em receptores basais, mas o grau de polaridade é algo maior para auxina (10 a 20) do que para BA (~ 7).

Diferente de IAA, o movimento de BA não é notavelmente polar no início do experimento, mas a polaridade aumenta após cerca de 10 hs, especialmente se IAA, que aumenta o movimento basípeto mas não o acrópeto de BA, é também fornecido.

Embora esses resultados sejam convincentes, outro laboratório não encontraria polaridade no movimento de BA em experimentos similares com uma variedade de tecidos, incluindo pecíolos. Essa diferença nos resultados é inexplicável.

Evidências são acumuladas que, assim como gibberelinas, quantidades consideráveis de citocininas endógenas podem também ser sintetizadas nas raízes e exportadas para a parte aérea no xilema. A formação de raízes adventícias em pecíolos atrasa a senescência de folhas destacadas do mesmo modo que a aplicação de citocininas nos seus limbos. Isto sugere que raízes forneceriam citocininas às folhas. Esta sugestão é suportada pela descoberta de atividade de citocinina em seiva do xilema de várias plantas. Em girassol, a concentração de citocininas no exsudato do xilema permanece alta mesmo em um período de vários dias, sugerindo que citocininas devem ser continuamente produzidas nas raízes e translocadas no xilema para a parte aérea.

Experimentos recentes indicam que diferentes substâncias de crescimento podem interagir para promover o movimento de cada uma. O movimento basípeto de auxina em plântulas decapitadas ou secções isoladas é aumentado por cinetina ou GA, e similarmente, o movimento basípeto de citocinina em plântulas de feijoeiro decapitadas é promovido por IAA. IAA é particularmente efetivo em aumentar o movimento de BA em pecíolos isolados que ficaram por 18 hs sem qualquer substância de crescimento.

Em vista da promoção do movimento de uma substância de crescimento por outra, não é surpresa que em estudos de dominância apical, auxina fornecida com GA ou cinetina é um substrato mais efetivo para o ápice intacto do que a auxina isoladamente. Entretanto, o aumento

da dominância apical pela presença de um segundo hormônio poderia não ser resultado de um maior transporte de auxina. Citocininas são especialmente notadas por causar movimento de aminoácidos, íons, e outras substâncias para o local onde foram aplicadas, e similarmen- te, o movimento de metabólitos para o talo decapitado, e portanto, longe dos laterais, é maior quando cinetina e auxina estão presentes no ápice (GOLDSMITH, 1969).

## 5. TRANSLOCAÇÃO HORMONAL NO FLOEMA

É de alta importância para o conhecimento da participação dos reguladores vegetais na regulação correlativa dos processos de desenvolvimento, saber se os mesmos podem ser transportados no sistema vascular da planta. Em relação com o transporte do IAA na planta, por exemplo, é frequentemente generalizado que o transporte polar estrito somente ocorre no parênquima e não nos elementos crivados do floema, onde a direção do transporte pode ser revertida se as posições relativas das fontes e dos drenos se modificam (ZIEGLER, 1975).

Existe uma forte evidência de que o IAA pode se translocar nos elementos crivados. Nesse caso, ele segue, como todos os outros compostos, a direção do fluxo de assimilados. A primeira evidência da presença de substâncias semelhantes ao IAA foi a demonstração de atividade no teste da curvatura de aveia de compostos isolados da seiva do elemento crivado em *Robinia*, *Fagus* e *Aesculus*. Mais tarde verificou-se que IAA marcado com  $^{14}\text{C}$ , aplicado exogenamente, pode mover-se no floema. N-(indolil-3-acetil) aspartato, ao contrário, não se movimentou no floema, aparentemente porque não pode entrar nos elementos crivados. No exsudato do floema de *Ricinus communis* a concentração média de IAA foi estimada em 0,0105 ppm. Auxina pode ser detectada na secreção de diversos afídios. Substâncias ativas no teste do mesocótilo de aveia foram também encontradas na secreção coletada de afídios se alimentando no floema de salgueiro. Existem indicações de que as auxinas transportadas no floema não somente afetam a ativação dos elementos crivados e iniciam a atividade cambial em árvores após a dor-

mência invernal, mas também exercem uma influência considerável no transporte de açúcar, tanto no sentido tangencial (carregamento de açúcar do parênquima de reserva para o interior dos elementos crivados), como longitudinal.

A atividade de substância semelhante a giberelina no exsudato do floema, foi primeiramente reportada em *Robinia*, *Tilia*, *Fagus* e *Quercus*; por meio do teste com milho anão. Concentrações da ordem de  $230 \times 10^{-4}$  foram detectadas em *Ricinus comunis*. Principalmente com substâncias que ocorrem nessas baixas concentrações, existe a possibilidade de que elas possam ter sido lavadas das células adjacentes ao elemento crivado pela seiva em exsudação. É portanto, relevante saber que foi também detectada atividade de giberelina na secreção de afídios se alimentando no floema de *Taraxacum*, *Vicia* e *Salix*. Os resultados obtidos em salgueiro mostraram que a concentração de substâncias semelhantes a giberelina na seiva do elemento crivado é dependente do fotoperíodo; altos níveis estão presentes em plantas sob dias longos, sendo que baixos níveis são encontrados em plantas sob dias curtos. Ainda não está esclarecido se as substâncias semelhantes a giberelina no floema são exportadas das folhas maduras ou se elas são sintetizadas nas raízes e atingem a seiva do floema como resultado de transferência lateral.

O teste do calo de soja indicou que a secreção de afídios se alimentando nos elementos crivados de *Xanthium strumarium* continha uma substância com atividade de citocinina. A concentração deste composto ativo parece ser mais alto na secreção de plantas em florescência do que aquelas vegetativas. A ausência de citocinina na secreção de afídios alimentados com uma dieta quimicamente definida, indica que os insetos por si só não produzem citocinina. Com o teste de preservação de clorofila em folha de cevada, três princípios, com atividade de citocinina puderam ser determinados por cromatografia, no exsudato do floema de *Ricinus comunis*. Um coincidiu com o Rf da cinetina e zeatina, com atividade correspondente a 0,004 ppm. Os outros dois princípios ativos mostraram níveis estimados da ordem de 0,0037 e 0,0036 ppm.

Encontrou-se ácido abscísico (ABA) na secreção do afídio *Tuberolachnus salignus* alimentando-se em salgueiro. Verificou-se que o nível do inibidor mostrou-se mais alto sob condições de dias curtos do que sob dias longos; sendo que sob este aspecto, ABA e GA comportaram-se de forma inversa.

Com referência à mobilidade de reguladores vegetais sintéticos no floema, deve-se considerar quais os pré-requisitos estruturais na molécula que determinam o transporte da substância aplicada exogenamente, no floema ou no xilema. JACOB et alii (1973), em sua revisão sobre o assunto, verificaram que não existe relação entre a solubilidade do composto em água ou a velocidade de sua degradação metabólica e sua mobilidade no floema. Também a substituição  $Cl^-$  que se mostra tão importante para a atividade de muitas substâncias, não possui nenhuma função decisiva com relação a mobilidade de auxinas. Existe, entretanto, uma estreita correlação entre a ocorrência de grupamentos carboxílicos e a translocação no floema, em diferentes compostos. O 2,4-D, por exemplo, perde sua mobilidade se o grupamento acetil é substituído por um grupamento metil. Existem algumas exceções e regra de que a ocorrência de grupamentos carboxílicos está correlacionada com a mobilidade no floema. A hidrazida maleica (MH), um inibidor de crescimento, move-se tanto no floema como no xilema. Esse regulador vegetal, geralmente formulado na forma anidrida, pode atuar como um ácido monovalente. Nos reguladores vegetais como o Alar (ácido succínico-2,2-dimetilhidrazida) e Morfactina (chlorflurenol), existem grupamentos carboxílicos, sendo que os mesmos são capazes de se mover no floema (e mais ou menos no xilema); enquanto que os padrões de translocação dos retardadores de crescimento AMO 1618 e cloreto (2-cloroetil) trimetilamônio (CCC), que não possuem grupamentos carboxílicos, não são ainda conhecidos.

Em resumo, podemos considerar que as citocininas e giberelinas podem ser produzidas nas raízes, mas parecem se mover prontamente através da planta, tendo sido encontradas em exsudatos do xilema e do floema. ABA e IAA, podem ser produzidos no caule mas podem se translocar para as raízes, sendo que ambos são encontrados na

seiva do floema (LUTTGE & HIGINBOTHAM, 1979). IAA é bem conhecido por apresentar transporte polar em médias distâncias, como por exemplo, do ápice para a base do coleóptile de aveia; sendo que esse movimento se processa através do parênquima. Existe a possibilidade de que o mecanismo de transporte do IAA seja dado por um modelo de difusão passiva que obedece princípios eletroquímicos. Verificou-se que sob valores de pH da ordem de 6 e 7, a permeabilidade do ânion,  $IAA^-$ , é de  $10^{-3}$  ou  $10^{-2}$  da auxina não dissociada, IAAH. Se a razão  $P_{IAA^-}/P_{IAAH}$  na extremidade superior da célula, difere significativamente da base da célula, um fluxo polar de  $IAA^- + IAAH$  pode ocorrer, desde que a solução externa à base da célula possua 3,8 vezes a concentração do ápice. GOLDSMITH (1977) também considerou que o ácido abscísico, giberelinas e várias citocininas não apresentam movimento polar ou ele é muito fraco nesses reguladores vegetais. Auxinas sintéticas como o ácido alfa-naftalenacético e o 2,4-D parecem se mover semelhantemente ao IAA (CRAFTS & CRISP, 1971).

## 6. REGULADORES VEGETAIS E NUTRIÇÃO MINERAL

Quase 35 anos atrás, foi publicado um trabalho a respeito dos efeitos do IAA sobre os níveis de 9 elementos importantes para a nutrição mineral de plantas. IAA foi aplicado a 2% em pasta de lanolina, em anéis de 2mm de largura, nos caules de plantas de feijoeiro, *Phaseolus vulgaris*, e os efeitos notados sobre os elementos a intervalos de 6 horas, por 6 dias. Os resultados foram direta e enganosamente simples. Acréscimos altamente significativos foram observados nos níveis de potássio, magnésio, manganês e boro de plantas tratadas em relação ao controle, 30 horas após o início o experimento, e os níveis de K e Mg aumentaram linearmente com o tempo. Mudanças nos níveis de B e Mn foram irregulares. O P aumentou exponencialmente. Cálcio e alumínio flutuaram irracionalmente. Assim, algumas das primeiras bases experimentais foram colocadas para o estudo das interações entre reguladores vegetais e nutrientes em plantas. Os resultados pareceram satisfatória —

mente conclusivos e as aproximações experimentais bastante diretas. Mas, 2 anos mais tarde, em 1950, trataram-se plantas de tomateiro, *Solanum lycopersicum*, cultivado em areia, com doses sub-letais de MCPA análogo à auxina, através das raízes. Os resultados contrastaram com aqueles obtidos com IAA. Porções superiores e inferiores dos caules das plantas apresentaram níveis significativamente menores de K e as quantidades foram inversamente proporcionais às concentrações de MCPA. Entretanto, os níveis de potássio foram superiores em raízes em relação ao controle, tendo-se verificado uma relação diretamente proporcional entre o aumento dos níveis de K e as concentrações de MCPA. Em outro ensaio, pulverizaram-se teores excessivos de MCPA em folhas e caules de tomateiro em contraste com o estudo prévio, verificando-se que não ocorreram efeitos notáveis na absorção de K, Ca e Mg.

Devido à natureza dinâmica dos sistemas vegetais, o entendimento das interações de reguladores vegetais com macro e micronutrientes torna-se bastante complexa. Portanto, em atenção a alguma aproximação sistemática, os dados podem ser divididos em 3 áreas.

- (1) Efeitos dos reguladores vegetais sobre o estado nutricional;
- (2) Efeitos do estado nutricional sobre hormônios endógenos;
- (3) Considerações teóricas.

Os resultados obtidos das áreas (1) e (2) são críticos se estamos cultivando plantas para maior eficiência, procurando maior economicidade.

De todos os reguladores vegetais, tem sido mais escrito sobre o possível modo de ação do IAA do que qualquer outro. Ainda relativamente pouco tem sido reportado sobre qualquer auxina, ou seus análogos com respeito a mudanças indutivas nos níveis de nutrientes minerais de plantas. No caso de sementes, estudos recentes foram estabelecidos com tratamentos pré-plantio de *Pisum sativum* e *Arachis hypogaea*. Reguladores vegetais, especificamente IAA, NAA, 2,4-D, GA e MH, foram usados isoladamente ou em combinações. Seus efeitos sobre a produção de

sementes e vagens foram avaliados. IAA aumentou o número e tamanho das vagens em ambas leguminosas, quando usado individualmente, ou em combinação, e a composição química foi caracteristicamente modificada por estes tratamentos, desta forma, sementes de ervilha apresentaram pequenas mudanças (-1%) nos níveis de Ca e P com certos tratamentos. Os níveis de Ca em amendoimzeiro foram também moderadamente aumentados (1%) pelo pré-tratamento, mas os efeitos mais dramáticos foram notados no aumento dos níveis de fósforo.

Experimentos similares foram efetuados com sementes de trigo usando IAA e NAA. As sementes foram embebidas a 2 doses: 20 mg e 40 mg/l, e os efeitos foram notados sobre a produção de grãos e palha, na colheita. Também foram incluídas no experimento, soluções de ácido ascórbico, ácido succínico, sulfato de zinco,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , sulfato de manganês e uréia. Excluindo o tratamento com NAA, todos os outros aumentaram a absorção de N, P e K, e a absorção foi diretamente correlacionada com a concentração do tratamento. Com NAA, os níveis de N, P e K foram paralelos com relação às plantas controle.

Os efeitos de IAA sobre a absorção de fosfato têm também sido observados em plântulas de *Pisum sativum*. Foi notado que a absorção de fosfato aumentava se as plântulas crescessem em concentrações crescentes da solução de Knop e em solução de Knop padrão, na qual  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  era constantemente aumentado. Mas é interessante notar que enquanto a absorção de fosfato aumentava com fosfato de potássio adicional, esta também aumentava pela adição de IAA. Contrariamente, clo-rofenicol inibia a absorção de fosfato.

Uma das mais interessantes partes da pesquisa envolvendo IAA e os níveis de nutrientes é aquela concernente a níveis de IAA em extremidades de raízes deficientes em boro, em girassol, *Helianthus annuus*. Deficiências de boro, nesta cultura foram consideradas ser influenciadas pelos altos níveis de IAA endógeno nas raízes, as quais, sob estresse de deficiência de boro, exibem mudanças singulares na morfologia. Usando a técnica de radioimunoensaio e extratos metanólicos de extremidades de raízes (5 mm), foi verificado que não exis-

tem diferenças significativas entre plantas cultivadas em soluções não contendo boro e plantas controle, com boro, entre 6 e 72 hs após transferência. Dos resultados, parece que a taxa de crescimento de raízes reduziu no meio deficiente em boro a 1/3 daquela do controle, o que erroneamente levaria a uma possível conclusão que níveis excessivos de IAA estariam presentes, resultando em inibição do crescimento pela produção de etileno. Mas, de fato, as concentrações de IAA em plantas deficientes em boro eram em média 113 ng/g PF contra 139 ng/g PF para o controle. Assim, os sintomas clássicos de deficiência de B em girassol não podem ser atribuídos às variações nos níveis endógenos de IAA.

Em trabalhos com segmentos de hipocótilo de girassol, observou-se o efeito do IAA sobre a absorção dos cátions monovalentes potássio e amônio. Usando IAA a  $1 \times 10^{-4}$  e  $5 \times 10^{-5}$  M, foi mostrado que a maior absorção de  $K^+$  ocorreu em ambos os níveis, enquanto que a absorção de  $NH_4^+$  foi significativamente reduzida ao nível 0,01. Em contraste, IAA não teve efeito sobre o movimento de sódio dentro ou fora das células. Foi concluído que IAA exerceu uma influência inibidora na passagem de amônio para dentro da célula e também exerceu um efeito estimulador na sua liberação; com  $K^+$  houve uma resposta contrária: a absorção foi estimulada e a liberação inibida. Houve também um significativo estímulo na absorção de lítio. Este trabalho foi posteriormente expandido em alguns detalhes e novamente o IAA aumentou a absorção de  $K^+$  e  $Rb^+$  especificamente para o volume osmótico de seções de hipocótilo de girassol. Quando cátions foram usados, ocorreu uma lag fase antes dos efeitos do IAA serem notados nos tecidos com relação a água destilada. Também, o estímulo à absorção de cátion poderia ser decrescido aumentando as concentrações de manitol na presença de íons. O estudo também mostrou que a absorção de  $K^+$  foi fortemente inibida pelo  $NH_4^+$ , com e sem adição de IAA. Foi sugerido que  $K^+$ ,  $Rb^+$  e  $NH_4^+$  competem por sítios carregadores e que IAA provavelmente modifica o carregador de uma tal maneira que aumenta sua afinidade por  $K^+$  e  $Rb^+$ . A mesma modificação também abaxaria a afinidade por  $NH_4^+$ .

Em um estudo complexo que envolveu as interações entre reguladores vegetais, incluindo IAA e GA<sub>3</sub>, relacionados aos níveis de nutrientes e potenciais osmóticos foliares, além da ocorrência de podridão estilar em tomateiro (condição considerada ser devido à deficiência de cálcio e provocada por aplicações pesadas de nitrogênio), foram encontrados altos níveis de N, Ca e Mg nos caules de tomateiros tratados com CCC. SADH causou uma elevação nos níveis de N. Nem IAA nem GA<sub>3</sub> aumentaram os níveis de nutrientes (CASTRO & MALAVOLTA, 1977).

Uma revisão sobre o assunto foi realizada em trabalho de CASTRO et alii (1984). Nesta síntese, considerou-se a tendência mostrada na literatura sobre a ação de reguladores vegetais na nutrição mineral de plantas cultivadas. Verificaram-se aumentos nos teores de N em plantas tratadas com CCC, daminozida e GA. Os níveis de P revelaram-se mais elevados nos tratamentos com CCC, daminozida e IAA. Concentrações mais altas de K foram verificadas em plantas tratadas com CCC, daminozida e IAA. Níveis mais elevados de Ca foram observados em plantas pulverizadas com CCC, daminozida e IAA. Teores mais altos de Mg foram notados em plantas tratadas com CCC, daminozida e GA. Níveis superiores de S foram verificados em tomateiros tratados com CCC e daminozida, e em plantas de zínia pulverizadas com GA e IAA.

Os estudos mais claros, em termos da possível interpretação dos efeitos de reguladores vegetais sobre o estado nutricional, parecem terem sido conduzidos com ABA. Em plantas de *Phaseolus vulgaris* tratadas com soluções de ABA, ocorreu um aumento no acúmulo de <sup>36</sup>Cl, Cl<sup>-</sup> total e Na<sup>+</sup> nas raízes. ABA inibiu o transporte destes íons das raízes para a parte aérea, sendo que foi inibida a absorção e transporte de <sup>42</sup>K e K<sup>+</sup>. Experimentos usando raízes excisadas de *Hordeum distichon* demonstraram que ABA inibe a absorção, acúmulo e transporte de Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> em 93-98%, sendo que este fenômeno podia ser revertido pela remoção das raízes da presença de ABA. Quando nitrato estava presente, o acúmulo vacuolar de K<sup>+</sup> aumentou no tratamento com ABA, e o acúmulo

e absorção de  $\text{Na}^+$  foram melhorados com ABA. Os autores consideraram que as respostas obtidas neste ensaio foram induzidas somente pelo 2,4-cis,trans isômero de ABA, que é a forma natural. O 2,4-trans, trans isômero e o metil éster não produzem estes efeitos. Duas proposições foram postas em evidência como os dois possíveis sítios de atividade do ABA. Primeiro a secreção de  $\text{K}^+$  ou  $\text{Na}^+$  para os vasos do xilema e segundo, o transporte de cátions e talvez ânions, para o vacúolo.

*Lemna gibba* exibe traços de dormência quando tratada com ABA. As folhas contêm níveis relativamente altos de amido e elas se agrupam. Dormência pode estar correlacionada com a idade e durante o último processo K e P são perdidos e ocorre um acúmulo de ferro e cálcio. Para se verificar porque o ABA induz à dormência, estudos foram iniciados para observar os efeitos do ABA sobre K, P, Ca, Fe e Mg. ABA foi introduzido em *Lemna* na dose de 1 mg/l. Análises indicaram que houve acentuado decréscimo em  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ , como havia sido previsto, um aumento em Ca, Mg e Fe, P insolúvel e um pequeno efeito sobre o P solúvel. Os tratamentos também causaram decréscimos nas taxas P/Fe e K/Ca, e estas foram 4 ou 5 vezes menores que o controle.

ABA também mostrou um efeito sobre o efluxo de  $\text{K}^+$  em discos foliares de tabaco (*Nicotiana tabacum*). Com uma concentração máxima de  $10^{-3}$  a  $10^{-4}$  M de ABA, o efluxo de  $\text{K}^+$  aumentou sob condições de transporte passivo e o fenômeno mostrou-se dependente da concentração.

Cinetina exerce um papel na recuperação de *Zea mays* sob deficiência de Mg. Quando esta deficiência ocorre, há uma redução no crescimento da planta com uma perda de biomassa, mas o problema pode ser retificado pela adição de Mg isoladamente ou em combinação com cinetina. Adição de cinetina aumenta a altura da planta e a produção de raízes, caule e folhas: peso verde e peso da matéria seca. Mas, cinetina também aumenta o conteúdo de N, P, Ca, e Mg nas folhas, enquanto que N, K e Ca são reduzidos nas raízes, e Mg aumenta nas raízes e caules. Parece que a cinetina aumenta a recuperação da deficiência pela ação direta sobre o sistema radicular.

Cinetina também tem um efeito sobre a absorção de potássio em raízes de plântulas de milho, e sobre a K<sup>+</sup>-ATP ase. Quando raízes destacadas de plântulas estioladas de 4 dias foram incubadas em soluções nutritivas contendo  $8,27 \times 10^{-4}$  M de K em pH 5,8, houve acentuada absorção de íon K<sup>+</sup> quando cinetina foi acionada a  $1 \times 10^{-6}$  M por 2 hs. A absorção de K<sup>+</sup> aumentou 23,4%. Simultaneamente, a atividade de ATP ase estimulada por K<sup>+</sup> aumentou 38,2%. Mas, tratamento prolongado com cinetina, durante 6 hs, reduziu a absorção de K<sup>+</sup> com um decréscimo concomitante de 25% na atividade de K<sup>+</sup>-ATP ase, com relação ao controle. Foi proposto que em tecidos vegetais, como oposição aos tecidos animais, a translocação de íons K<sup>+</sup> para as células está associada com o efluxo de H<sup>+</sup>, ao invés de K<sup>+</sup> e portanto, a ação reguladora de crescimento da cinetina pode estar ligada a mudanças na atividade de sistemas de K<sup>+</sup>-ATPase.

A citocinina, 7-benzilaminopurina (BAP), quando dissolvida em solução nutritiva a 1 mg/l, na qual raízes de plântulas de macieira (*Malus sylvestris*) estavam crescendo, causou um decréscimo nos níveis de absorção do K por um período de 28 dias. Cálcio e magnésio estavam a níveis relativamente altos no início do tratamento e então decresceram por todo o experimento, somente chegando aos níveis originais após 28 dias.

Ácido giberélico também mostrou-se implicado nas mudanças dos níveis nutricionais em plantas e frutos. Quando GA foi aplicado em inflorescências de citros (*Citrus reticulata*), a dose de 100 mg/l, foram observadas mudanças nos níveis de substâncias de crescimento difusíveis e nos principais nutrientes. Aplicações de regulador vegetal, foram efetuadas na época em que os estilos estavam em abscisão e isto levou a um número reduzido de abortos e estabelecimento de frutos, sendo que esses cresceram mais cedo que o usual. De 5 a 16 dias após o tratamento com GA, a quantidade total de N, P e K nas folhas das inflorescências decresceu, enquanto que os níveis de N, P e K nos frutos aumentaram, comparando-se ao controle. Entretanto, o estudo completo trazia informações interessantes. Foi mostrada que as quantidades de substâncias análogas ao GA aumentou até

o 4º dia após aplicação de GA e depois disso decresceu a zero no 9º dia. Além disso, as substâncias análogas à auxina, que tinham propriedades difusíveis, não caracterizadas e que puderam ser detectadas no controle, estavam no seu máximo no 2º dia. Os autores especularam que o aumento no estabelecimento do fruto foi provavelmente devido ao aumento dos níveis de nutrientes atraídos pelo tratamento com GA e então sugerem que os efeitos observados podem ter sido induzidos pelo GA, ou pelos materiais análogos à auxina ou, pelas substâncias análogas ao GA.

O exemplo anterior demonstra a principal falha na maioria dos experimentos que têm sido conduzidos para mostrar o efeito de reguladores vegetais sobre os níveis de nutrientes nas plantas. É geralmente inferido que o regulador sob estudo afeta diretamente o estado nutricional, enquanto que é mais provável que produtos intermediários, de molécula ativa, induzem a mudanças ou, a molécula ativa estimula a produção de outros hormônios endógenos, que por sua vez, regulam a absorção e o transporte de nutrientes.

Em girassol, *Helianthus annuus*, o comprimento do entrenó tem sido associado com a concentração de potássio. Entrenós curtos são obtidos quando os níveis de K são baixos. Esta observação levou ao exame da relação entre K e GA nesta planta. Potássio, de fato, mostrou influência sobre o crescimento do primeiro entrenó com tratamentos de 5 mM de K, sendo que plantas deficientes em K foram 89% menores em altura. Quando plantas de girassol tratados com baixas quantidades de K (0,5 mM), foram também tratadas com GA, produziram entrenós maiores do que plantas crescidas em níveis superiores de K (5 mM). Foi também verificado que havia distribuição desigual de K através da planta, com quantidades maiores de K nos entrenós superiores. Tratamentos com GA induziram a uma maior desigualdade entre os níveis de K ao longo do caule da planta. Foi concluído que entre outros papéis, GA influenciava o transporte de íons.

Poucos trabalhos têm abordado os efeitos do etileno sobre nutrientes vegetais. Quando etileno gasoso foi fornecido a raízes e base do caule de plantas de milho crescidas hidroponicamente, por 7 ou 14 dias a 0,1, 1,0 ou

5  $\mu\text{l/l}$ , a raiz seminal foi inibida e houve aceleração na emergência de raízes adventícias. A expansão foliar foi inibida e clorose não foi observada; a concentração de P na parte aérea foi 26-31% abaixo do normal.

Alguns estudos recentes com retardadores de crescimento foram conduzidos usando-se CCC, DMOMC e DEOMC. Os dois últimos materiais são produtos experimentais que dão respostas similares às do CCC. Plântulas de trigo e soja foram cultivadas em vasos com uma mistura de turfa e areia, em casa de vegetação e foram transplantadas, após completa lavagem das raízes com água destilada, para soluções hidropônicas contendo solução de Hoagland e concentrações variáveis de cada regulador vegetal. O trigo estava com 7 dias e a soja com 14, no início do experimento. Todas as plantas foram expostas aos tratamentos por 36 horas em pH 6,8. As plântulas foram colhidas, lavadas e analisadas para N, P, K, Ca, Mg, Fe e Zn. Em trigo, CCC estimulou a absorção radicular de N, Mg e Zn, enquanto que a absorção de K e Ca foi significativamente inibida. Não houve mudanças aparentes para P e Fe. Na parte aérea, a translocação de N, K, Mg, Fe e Zn das raízes foi estimulada por CCC. A translocação de P também foi estimulada por baixas concentrações de CCC (0,01 e 0,1 mM) mas foi iniciada por altas concentrações (1 e 10 mM). O movimento de cálcio das raízes para a parte aérea não foi afetado.

Em raízes de soja, CCC inibiu a absorção radicular de P, K, Ca e Fe e Zn e estimulou a absorção de Mg. A translocação de K, Ca e Zn foi melhorada com CCC. Baixas concentrações estimularam a absorção de Fe e P. O movimento de Mg das raízes para a parte aérea foi inibido.

O uso de DMOMC inibiu a absorção de K, Ca, Fe e Zn pelas raízes de trigo. N, P e Mg não foram afetados pelo composto. A translocação de N e P não foi alterada.

Em soja, a absorção radicular de todos os minerais usados, exceto Fe, foi inibida. Ferro foi estimulado. DMOMC melhorou a translocação de P, K e Mg das raízes para a parte aérea. Concomitantemente com o aumento da absorção de Fe pelas raízes, houve a inibição da

translocação para a parte aérea. A translocação de N, Ca e Zn permaneceu inalterada.

DEOMC inibiu a absorção de N, P, K, C, Mg e Fe pelas raízes de trigo, o que é interessante pelo fato de que DEOMC difere do DEOMC por um carbono extra. A absorção de Zn foi estimulada. Efeitos similares ocorreram em raízes de soja, onde a absorção de N, P, K, Ca e Mg foi inibida. Em contraste, a absorção de Fe foi altamente estimulada e de Zn inibida, em trigo. Translocações de P, K, Ca e Mg para a parte aérea de soja foi estimulada por DEOMC, mas a de Fe foi inibida. Todos os três reguladores vegetais mostraram pontos comuns de interesse. Absorção radicular de K e Ca, em ambas as culturas, foi inibida em todos os casos.

A literatura a respeito dos efeitos de nutrientes sobre os reguladores vegetais é algo mais coesa do que aquela que se refere a situação contrária, provavelmente como um resultado do grande volume de trabalhos sobre o isolamento e identificação de hormônios vegetais de ocorrência natural. Considerações da literatura revelam que durante o curso de crescimento da planta, sob condições controladas de temperatura, luz e umidade, a fim de se entender mais exatamente os níveis de fitohormônios nos vários estágios de crescimento, nutrientes minerais são adicionados para melhorar o desenvolvimento das plantas. Os resultados de tais adições são desastrosos devido aos seus efeitos sobre os níveis hormonais. Esses efeitos foram bem estabelecidos 20 anos atrás.

Alguns dos resultados experimentais oferecem manipulações únicas dos sistemas de plantas e levam ao uso prático em culturas. Foi efetuado um elegante estudo com híbridos de *Zea mays*. O Zn regula a síntese de triptofano e a produção subsequente de IAA. O efeito da adição de Zn, como  $ZnSO_4$ , foi observado em três híbridos. O primeiro foi um híbrido normal, Knezha-21-602, os outros dois foram híbridos com alto teor de lisina, Knezha-3 e Knezha-12. Os efeitos do Zn sobre a síntese de IAA nas brotações foram obtidos pelas seguintes alterações nas concentrações: Knezha-21-602,  $10^{-6}$  M  $ZnSO_4$ ; Knezha-3,  $10^{-5}$  M  $ZnSO_4$  e Knezha-12,  $10^{-4}$  M  $ZnSO_4$ . Como resultado,

altas concentrações de IAA foram produzidas nos híbridos com alta lisina, ainda que o triptofano livre fosse mais baixo. Os autores afirmaram que as implicações práticas são tais que as sementes de híbridos com alta lisina podem ser tratadas com sais de Zn para que os níveis de IAA possam ser regulados com subsequente efeitos sobre o crescimento primário da planta, talvez como resultado da translocação insuficiente.

Os efeitos da nutrição potássica e nitrogenada sobre o crescimento e conteúdo hormonal de plântulas de *Pinus sylvestris* foram estudados. As plântulas foram cultivadas em solução de Ingestad. Nitrogênio foi aplicado como  $\text{NH}_4\text{Cl}$  a 0 ou 500 mg N/l e as plantas cresceram a aproximadamente 20°C, sob intensidade luminosa de 500 e 1500 lux, com 16 hs de comprimento do dia. As plântulas foram analisadas para hormônios vegetais 8 semanas após o plantio. A primeira observação foi que o regime de alta intensidade luminosa estimulou raízes laterais e iniciação de acículas, e o alongamento das raízes e acículas, com um consequente aumento em peso verde e seco.

Estímulo das acículas foi correlacionado com aumentos em GA livre, citocininas e um inibidor análogo ao ABA. Auxinas decresceram. Nitrogênio poderia ser substituído por luz e produziu efeitos idênticos sobre a iniciação e crescimento das acículas e raízes laterais, enquanto que o alongamento de raízes foi inibido. O nível do inibidor foi diminuído. Variações na intensidade de luz produziram efeitos diferentes sobre os fitohormônios na presença de nitrogênio. Em baixa intensidade luminosa, N decresceu os níveis de GA e ABA, aumentou as quantidades de auxina e não teve efeito sobre a citocinina. Alta intensidade luminosa não induziu mudanças aparentes em GA e auxina, mas aumentou citocininas e o inibidor.

Quando K foi adicionado na solução nutritiva como KCl a 50 mg K/l e as plântulas cresceram sob 16 horas de luz, 23°C de temperatura e 400 lux, o crescimento das plântulas foi aumentado. Dentro de 4 meses, o comprimento dos hipocótilos, raízes, parte aérea e acícu-

las primárias e secundárias aumentaram. Houve um aumento nos pesos verde e seco. K aumentou as concentrações de GA livre e auxina, e decresceu a quantidade de GA ligado e material análogo ao ABA na parte aérea. Em raízes, K aumentou os níveis de GA livre e auxina. Mas, não houve efeitos aparentes sobre citocininas em folhas.

ABA, devido ao seu potencial de inibição do crescimento e ao seu papel na fisiologia de estresses, tem sido analisado sob pontos de vista diferentes. Um, tem sido o efeito das aplicações de nutrientes na forma de macro e micronutrientes. Quando K foi aplicado em trigo, crescido em vasos, a 0,6 e 120 mg por 100 g de solo, o período de enchimento do grão e a taxa de crescimento das cariopses foram ampliados. Assim como a quantidade de K foi aumentada até o ponto no qual o ABA alcançou um máximo, o enchimento dos grãos foi também atrasado e os níveis de ABA foram então reduzidos. Poderia parecer que o período prolongado de enchimento dos grãos, induzido pelos maiores níveis de K, foi não somente devido a uma melhor partição dos assimilados, mas também ao atraso e subseqüentes níveis mais baixos de ABA. Suporte para esta hipótese, baseado nos resultados experimentais, foi reforçado pela observação de que suprimindo água por períodos de uma semana durante o enchimento do grão, houve o aumento dos níveis de ABA e redução do peso das cariopses.

Em *Solanum tuberosum*, o processo de tuberização é controlado por temperatura, fotoperíodo e níveis de N. Quando N foi fornecido à planta de batata em solução nutritiva, elas cresceram a uma taxa constante, assim como as raízes, e não ocorreu tuberização. Com a retirada do N, iniciou-se a tuberização dentro de dois dias e o crescimento da raiz e da parte aérea declinaram. Sob o regime de N, os níveis de ABA das raízes e parte aérea flutuaram durante o experimento. Mas com a suspensão da adição de N, houve um aumento bem delineado no ABA, exceto nos estolhos. Nas raízes, ocorreu aumento de 10 vezes em ABA, 20 vezes no exsudato e duas vezes nos caules. Reaplicação de N levou a um decréscimo no conteúdo de ABA nas raízes e parte aérea dentro de 3 dias, enquanto que os níveis de ABA do exsudato permaneceram ambíguos. Os níveis de ABA nos estolhos e tubérculos

não foram afetados pela mudança nos níveis de N.

Foram investigados os efeitos de íons específicos, no acúmulo de ABA em trigo cultivado em areia. Sementes foram embebidas em 16 diferentes soluções de sais de Na, K, Ca e Mg (sulfato, nitrato, carbonato, cloreto) com potencial osmótico de -2 bar. Vinte e cinco dias após o plantio, análises de amostras de folhas indicaram que os níveis de ABA aumentaram sob estresses salino e osmótico. Os níveis de ABA foram significativamente menores em sais de K e Ca do que em sais de Mg e Na. ABA foi também acumulado a níveis maiores sob estresse osmótico induzido por polietileno glicol mais íons cloreto, mas foi menor sob sulfato e nitrato e menor ainda sob carbonato. O conteúdo de ABA foi muito alto sob fosfato dihidrogênio de K. É concluído que os níveis de ABA variam não somente com íons específicos mas também com os ânions associados.

Os efeitos do Zn sobre os níveis de ABA têm sido determinados em *Phaseolus vulgaris*. Diferenças significativas não foram observadas nas folhas, ou caules de plantas cultivadas em solução nutritiva a diferentes níveis de Zn. Entretanto, extremidades de parte aérea crescidas sob condições de deficiência de Zn continham níveis mais altos de ABA.

Citocininas, ou compostos análogos, foram comparadas em tecidos de *Betula pendula* e *Acer pseudoplatanus* a dois níveis de nutrição com nitrogênio. Em estudos associados, comparações foram feitas entre estes gêneros quando N foi fornecido como sulfato de amônia, nitrato de amônia e nitrato de cálcio. *B. pendula* com quantidades baixas de nitrato de amônia cresceu vagorosamente e *A. pseudoplatanus* formou gemas terminais dormentes e cessou o crescimento após 2-3 semanas. Somente baixos níveis de compostos análogos à citocinina foram extraídos de *B. pendula* sob baixos níveis de nitrogênio, enquanto que folhas de *A. pseudoplatanus* mostraram somente uma redução mínima nestes compostos.

Novamente, usando plântulas de *A. pseudoplatanus* e *B. pendula* cultivadas sob dias longos, suprimentos de

P ou N foram cortados, verificando-se que o desenvolvimento da parte aérea cessou, resultando na formação de gemas terminais dormentes em *A. pseudoplatanus*. Mas, *B. pendula* continuou crescendo até os sintomas de deficiência de N aparecerem, sendo que ocorreu uma redução no conteúdo de clorofila. Níveis endógenos de citocininas de base/nucleosídeos foram significativamente menores nas folhas de *B. pendula* em soluções deficientes em N. O mesmo tipo de resposta foi notado, ainda que a níveis menores, em plantas de *B. pendula* colocadas em soluções deficientes em P. Foi notado que níveis de atividade de citocinina nas frações nucleotídicas, sob deficiência de N, foram menores que aqueles observados para as frações nucleosídicas. Foi interessante notar que os níveis de citocinina de base/nucleosídeo ou frações nucleotídicas permaneceram inalterados em *A. pseudoplatanus* mesmo 4 semanas após cultivo em meios deficientes em N ou P. Os efeitos dos sintomas de deficiência em N em *B. pendula* foram revertidos pela aplicação de benziladenina, ocorrendo um reverdecimento e brotação das gemas laterais dentro de 2 dias.

Outro estudo, envolvendo *Plantanus occidentalis*, examinou as quantidades de citocininas na seiva do xilema em seguida ao tratamento com diferentes níveis de fósforo. Plântulas cresceram hidronicamente em casa de vegetação sob fotoperíodo de 16 horas. Tratamentos com P foram a 0,02, 0,10, 0,50 e 2 mM. Crescimento máximo foi verificado em plântulas de soluções 0,10 mM e aumentos do peso da matéria seca, diâmetro do caule, altura e áreas foliares foram obtidos com 0,10 e 0,50 mM de fósforo. Sintomas de deficiência de P não foram notados a baixas concentrações. Diâmetros do caule, altura, área foliar e peso seco pareceram estar correlacionados com níveis de citocinina no xilema. Já foram vistos os efeitos da deficiência de N sobre a produção de ABA em plantas de batata durante a tuberização. Foi examinada a atividade de citocinina em estolhos e tubérculos de *S. tuberosum* na tuberização. As plantas cresceram em solução nutritiva e os níveis de citocinina foram determinados em extremidades de estolhos e tubérculos recentemente iniciados, formação de tubérculos foi conseguida pela retirada do N. Antes da tuberização, a atividade de citoci-

nina era baixa em extremidades de estolhos, mas após iniciação dos tubérculos houve aumento em estolhos e tubérculos. Ocorreu uma mudança qualitativa concomitante nas citocininas e esta pôde ser revertida pelo fornecimento de altos níveis de N. Ainda que houvesse uma correlação aparentemente alta entre atividade de citocinina e tuberização, citocininas não são diretamente responsáveis pela iniciação de tubérculos, mas podem exercer um significativo papel no crescimento dos mesmos.

Citocininas foram quantificadas em *Helianthus annuus* crescidos em areia. Baixos níveis de N induziram rápida redução nas quantidades de citocininas extraíveis das raízes, exsudatos de raízes, folhas e gemas. Enquanto uma resposta similar foi notada em plantas deficientes de P, os níveis de citocininas em folhas mostraram-se menores. Quando plantas foram tratadas com uma fonte diferente de N,  $\text{NO}_3$ , ao invés de, ou nitrato de amônio, ou sulfato de amônio, os níveis de citocinina aumentaram. Em uma moderna aproximação, partes aéreas foram separadas das raízes, folhas foram destacadas das plantas e os níveis de citocininas foram analisados. Verificou-se um declínio nos níveis de citocinina em ambos, mas isso foi revertido, fornecendo-se aos caules e folhas solução nutritiva adequada. Assim, enquanto raízes podem suprir as folhas de citocininas, os níveis de citocininas em folhas excisadas podem ser aumentados pelo suprimento de nutrientes orgânicos. Essa pesquisa levou a algumas interessantes questões sobre a biossíntese de citocininas em tecido foliar.

O substrato físico no qual a cultura cresce, independente dos aspectos nutricionais, pode ter também uma influência direta nos níveis de citocininas. Consequentemente, estudos comparativos entre as mesmas espécies desenvolvidas em meios diferentes, devem ser cautelosos quando se trata de hormônios endógenos. Cultivou-se *Lycopersicon esculentum* em dois meios diferentes: solo e solução nutritiva de Cooper. Os resultados, repetidos a períodos de dois anos, mostraram que plantas crescidas em solução e em solo continham aproximadamente as mesmas concentrações de substâncias análogas a

citocinina nas raízes - 150 e 250  $\mu\text{g}/\text{kg}$  PS - de 7 até 18 semanas, após plantio. De 18-29 semanas após a semeadura, as plantas do solo exibiam um nível mais alto de compostos análogos à citocinina nas raízes e isto coincidiu com o tempo de amadurecimento do fruto. De 18-24 semanas, plantas crescidas em solução exibiam um rápido aumento de substâncias análogas a citocinina com um máximo de 850  $\mu\text{g}/\text{kg}$  PS. Após isso, de 24-31 semanas, houve uma queda drástica naqueles níveis.

Se as plantas, sob ambas práticas culturais, fossem induzidas a parada de crescimento pela retirada do ápice, um mês após a primeira antese, as quantidades de substâncias análogas a citocinina nas raízes seriam reduzidas e a diminuição nas plantas cultivadas em solução nutritiva seria a maior das duas. Surpreendentemente, as quantidades de materiais análogos a citocinina nas soluções nutritivas recirculadas permaneceram razoavelmente constantes a menos de 2 ppm.

No Japão, os níveis de evolução de etileno nas folhas de arroz crescidas sob diferentes níveis de N, foram mensurados. Sob altos níveis de N, plantas continham mais N, especialmente nas folhas, sendo que ocorreu rápido crescimento. Sob estas condições as quantidades de etileno produzido pelas folhas decresceram. Os níveis de N nas folhas e o etileno produzido pelas mesmas, foram inversamente proporcionais.

Devido às diferenças ambientais e à dinâmica dos sistemas vegetais, os estudos sobre efeitos de reguladores vegetais sobre os níveis de nutrientes e vice-versa, são extremamente complexos. A fim de se esclarecer os muitos aspectos dos reguladores vegetais e níveis de nutrientes, encontramos respostas para algumas questões. Verificamos que os resultados de experimentos anteriores apresentaram algumas respostas enganosamente simples e que como outros reguladores vegetais foram descobertos e usados, principalmente as citocininas, giberelinas, ABA e etileno, a elucidação da relação dessas substâncias com os níveis de nutrientes tornou-se mais ilusória. As questões fundamentais que devem ser respondidas antes de podermos entender o interrelacionamento dessas duas áreas, estão ainda presentes. Como um regulador funciona na

planta? Qual é o seu modo de ação? Seus efeitos sobre os níveis de nutrientes são de natureza primária ou secundária?

A demonstração da ambivalência desta área de pesquisa foi realizada recentemente em um trabalho intitulado "Possibilidades de Utilização de Controle de Nutrientes pelo Uso de Reguladores de Crescimento". Em continuação a alguns experimentos prévios, foi demonstrado que no trigo, a lâmina foliar inicial pode ser encurtada pelo uso de CCC e que a indução deste efeito é devida à inibição da síntese de GA. Prova disto é manifestada quando GA é adicionado e o efeito do CCC é anulado. Outro inibidor, o ácido 2,3-dicloroisobutírico, também inibe a biossíntese de GA, controla o crescimento foliar e é menos tóxico que o CCC. A hipótese levantada foi que se o conteúdo de GA decresce em trigo, então o comprimento da lâmina foliar é encurtado e é claro que sob condições naturais, os níveis de GA são afetados pelas circunstâncias ambientais. Além disso, o comprimento das lâminas foliares em trigo é afetado pelos níveis de N e disponibilidade de água.

A hipótese foi testada usando-se trigo de verão 'Hatri' cultivado em areia com quantidades suficientes de P, K, Mg e micronutrientes. Plantas controle receberam 0,3 g de N e 40% de capacidade máxima de água. Quando N foi aumentado para 1,5 g com um aumento paralelo na água a 70% da capacidade máxima, um aumento foi observado no comprimento da folha. Mas, efeitos similares foram obtidos pela pulverização de solução de GA (4 ml de 100 mg/l), quando N e água foram suprimidos. Portanto GA foi considerado como um substituto do N e da água no efeito sobre o crescimento. Produto inibidor da biossíntese de GA (composto 2081 - ácido 2,3-dicloroisobutírico) reprimiu o crescimento foliar, mesmo quando N e água aumentaram. Também foi observado que ocorreram mudanças nas concentrações de GA<sub>1</sub> e GA<sub>3</sub>, relativas ao comprimento foliar, a despeito dos altos níveis de N e água, mas o peso da matéria seca não foi alterado. Assim, pode ser estabelecido que os níveis de GA<sub>1</sub> e GA<sub>3</sub> foram inibidos pela ação do 2801, mas aquelas funções controladas pelo N e água não foram inibidas. Uma interessante relação existe entre água, N e

níveis de GA. Devido as suas implicações, esses experimentos são básicos para estudos futuros.

Foi encontrado que diterpenos de vários cultivares de tabaco tinham propriedades inibidoras do crescimento vegetal. Um desses, beta-4,8,13-duvatrieno-1,3-diol (DVT), uma molécula macrocíclica, foi ativa a  $10^{-5}$  M em inibir coleóptiles isolados de trigo, enquanto alfa-DVT foi aproximadamente 10 vezes menos ativo. Também, cis-abienol, 2-hidroxi-manool, esclareol e labdanediol foram ativos a  $10^{-3}$  e  $10^{-4}$  M. Com respeito ao modo de ação, nenhuma informação é presentemente disponível. Quando beta-DVT foi adicionado a culturas aquosas de organismos, o movimento de cílios foi prejudicado. O efeito foi diretamente proporcional à concentração de beta-DVT. Foi concluído que a resposta obtida ao beta-DVT e outros diterpenos sugeriu um fenômeno de membrana. Se for assim, então talvez estes tipos de reguladores vegetais sejam melhores ferramentas de pesquisa para o entendimento de mecanismos pelos quais reguladores vegetais controlam os níveis de nutrientes nas plantas, do que IAA, GA, citocinina, etileno ou ABA.

Talvez, a questão mais crítica é: será possível controlar os reguladores vegetais e os níveis de nutrientes de uma maneira tal que as culturas produzam de um modo mais econômico? A tarefa é difícil, mas se nós estamos dispostos a conservar recursos energéticos e hídricos, as soluções destes problemas altamente complexos são essenciais (CUTLER, 1982).

## 7. AÇÃO HORMONAL NO TRANSPORTE IÔNICO

Considera-se atualmente que os hormônios vegetais exercem funções importantes no transporte iônico. Torna-se necessário porém, que se estabeleça uma clara distinção entre os efeitos diretos dos reguladores vegetais em bombas iônicas pré-existentes e na estrutura da membrana, que se mostram evidentes pouco minutos após a aplicação (como exemplo na indução da extrusão iônica de  $H^+$  induzida por auxina em segmentos de coleóptiles,  $K^+$  no me-

canismo das células guarda dos estômatos), e aqueles que levam várias horas para se manifestarem (como por exemplo na indução de bombas iônicas em tecidos de reserva, alterações na seletividade iônica).

Verificou-se que a auxina, ácido indolilacético – (IAA), é um agente capaz de promover o funcionamento de uma bomba de prótons que transporta  $H^+$  para o interior de compartimento da parede celular, requerendo energia respiratória (ATP) para essa operação. A acumulação de prótons na parede celular aciona um processo enzimático (pela ativação de beta-glucam sintetase ou endo-trans-glicosilase), que leva a um afrouxamento de constituintes da parede celular, causando alongação da célula. Foi observado que essa excreção de  $H^+$  pode também ser promovida pela auxina sintética, ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D). Notou-se que  $Ca^{2+}$  mostra-se essencial na estimulação auxínica da absorção de  $K^+$  e  $Rb^+$  por segmentos estiolados de epicôtilos de ervilha. O  $Ca^{2+}$  revelou-se necessário para a operação do sistema de indução auxínica do efluxo de  $H^+$ . Observou-se que o IAA causou inibição na absorção de  $NH_4^+$  em segmentos de hipocôtilos de girassol. IAA e ácido alfa-naftalenacético estimularam a absorção de  $^{36}Cl$  por células de coleóptiles (VAN STEVENINCK, 1976).

As citocininas podem também afetar o transporte iônico em diversos sistemas. O mecanismo de abertura e fechamento das células guarda dos estômatos depende da rápida mudança na concentração de  $K^+$  e um ânion acompanhante (AWAD & CASTRO, 1983). Citocininas atuam na regulação da abertura estomática, através de seu efeito no transporte iônico. Esses hormônios vegetais parecem afetar a seletividade nos processos de transporte de íons. Foi observado que benziladenina (BA) reduziu as taxas de absorção de  $Na^+$  em folhas primárias de feijoeiro em expansão. Verificou-se um aumento na seletividade em favor da absorção de  $K^+$  na relação  $K^+/Na^+$ , em discos foliares e cotilédones de girassol, sob efeito de BA. Cinetina evita o desenvolvimento da atividade da invertase e a capacidade para absorção de fosfato inorgânico e  $SO_4^{2-}$ . Cinetina e BA tendem a evitar o acúmulo de  $Cl^-$ . Sugeriu-se que a BA inibe a exportação de íons das raízes para as partes aéreas da planta, sem

afetar a absorção a partir da solução externa, sendo que esses efeitos parecem ser dependentes de fatores do meio ambiente, como, temperatura e disponibilidade de nutrientes.

As giberelinas (GA) afetam a distribuição de eletrólitos e a permeabilidade da membrana, principalmente em sementes de cevada e trigo em germinação. Embebição durante 12 horas fez com que uma substância semelhante a citocinina, do endosperma, promovesse a retenção das reservas de  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  e fosfato inorgânico nas células, sendo que, posteriormente, durante a germinação, a giberelina originária do embrião reduziu a liberação dos íons retidos. Esse processo de indução foi inibido pelo ácido abscísico (ABA). Regulação hormonal pelo  $GA_3$  pode se constituir num efeito direto do mesmo sobre as propriedades físicas do componente fosfolipídico das membranas. Em altas concentrações,  $GA_3$  promove a extrusão de  $K^+$  e de  $Na^+$  em discos de raízes de beterraba. Isto provavelmente resulta de um aumento na permeabilidade da membrana induzida pelo hormônio.

O ácido abscísico tem sido estudado como um regulador do transporte iônico desde que se verificou uma rápida ação no mecanismo das células guarda dos estômatos, sendo que o ABA pode participar de um sistema regulador capaz de controlar o equilíbrio de sais e de água na planta. Existem indicações de que o efeito imediato do ABA no estômato é primariamente no suprimento de energia para o transporte ativo de íons nas células guarda, inibindo a extrusão de próton (em feijoeiro) ou a acumulação ativa de  $Cl^-$  (em milho). Foi observado que o ABA causa um aumento na condutividade hidráulica ( $L_p$ ) em discos de tecido de cenoura. Cinetina e  $CO_2$  mostraram apresentar um efeito oposto ao do ABA, sendo que o coeficiente de reflexão aparentemente não foi afetado pelo tratamento com ABA. Considerando que a principal barreira ao movimento de água em protoplastos de células vegetais parece existir na plasmalema, pode-se presumir que o ABA afeta primariamente a conformação dos elementos estruturais da plasmalema. Verificou-se que o ABA pode induzir uma mudança no grau de saturação do ácido graxo componente dos lipídios de folhas e caules de *Coleus*. Em segmentos de folhas em expansão, a absorção de  $K^+$  foi

fortemente inibida por ABA; sendo que este hormônio não afetou o influxo de  $K^+$  em tecidos originários de folhas maduras. ABA também inibiu a absorção de  $K^+$  e de  $Cl^-$  em segmentos de coleóptiles de aveia (VAN STEVENINCK, 1976).

## 8. LITERATURA CITADA

- ABDEL - RAHMAN, M., 1977. Adjuvants, their actions and uses with plant growth regulators. Proc. 4th. An. Meet. Plant Growth Regul. Work. Group, Hot Springs, 331-33.
- AMES, R.B. & J.P. CORKINS, 1978. The use of adjuvants to enhance Harvade foliar penetration. Proc. 5th. An. Meet. Plant Growth Regul. Work. Group, Blacksburg, 132-136.
- AWAD, M. & P.R.C. CASTRO, 1983. Introdução à Fisiologia Vegetal. Livraria Nobel Editora, São Paulo, 177p.
- BAIRD, L.M. & P.R. REID, 1986. Effect of Harvade and surfactant on abscission in *Coleus blumei*. Proc. 13th. An. Meet. Plant Growth Regul. Soc. Amer., St. Petersburg Beach, 131-135.
- BANDUSKI, R.S. & H.M. NONHEBEL, 1984. Auxins. In: WILKINS, M.B. Ed. Advanced Plant Physiology. Pitman Publishing, London, pp.1-20.
- BARUA, G.C., 1977. Surfactants - their role in PGR. Proc. 4th. An. Meet. Plant Growth Regul. Work. Group, Hot Springs, 314-317.
- CASTRO, P.R.C. & S. INOUE, 1977. Indução de ovário bilocular em tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.) pelo ácido succínico-2,2-dimetil-hidrazida. Ciência e Cultura, 29(1): 65-67.
- CASTRO, P.R.C. & E. MALAVOLTA, 1977. Influence of growth regulators upon mineral nutrition, osmotic potencial, and incidence of blossom-end rot of tomato fruit. Turrialba, 27(3): 273-276.

- CASTRO, P.R.C.; G.D. OLIVEIRA & B. APPEZZATO, 1984. Ação de reguladores vegetais na nutrição mineral do amendoineiro. *Revista de Agricultura*, 59(1): 49-58.
- CASTRO, P.R.C.; J.F. FRANCO; J.D. COSTA & C.G.B. DEMETRIO, 1981. Efeitos de ethephon e uréia na maturação de frutos e abscisão foliar do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). *An. Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz"*, 38: 281-288.
- CRAFTS, A.S. & C.E. CRISP, 1971. Phloem transport in plants. W.H. Freeman and Co., San Francisco, 481pp.
- CUTLER, H.G., 1982. Practical and theoretical considerations of the effects of bioregulators on plant nutrition. *Proc. 9th. An. Meet. Plant Growth Regul. Soc. Amer.*, Monterey, 161-175.
- EDGERTON, L.J., 1977. The effect of surfactants on performance of some growth regulators on fruit crops. *Proc. 4th. An. Meet. Plant Growth Regul. Work. Group, Hot Springs*, 336-337.
- GOLDSMITH, M.H.M., 1969. Transport of plant growth regulators. In: WILKINS, M.B. Ed. *Physiology of Plant Growth and Development*. McGraw-Hill, London, pp.127-162.
- GOLDSMITH, M.H.M., 1977. The polar transport of auxin. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 28: 439-478.
- ISERMANN, K., 1980. Recent findings in plant nutrition and new development in fertilizer research *Plant Research and Development*, v.12. Institute for Scientific Co-operation, pp.7-48.
- JACOB, F., St. NEUMANN & U. STROBEL, 1973. Studies on mobility of exogen-applied substances in plants. *Transactions 3rd. Symp. on Accumulation and Translocation of Nutrients and Regulators in Plant Organisms*. Warszawa, pp.315-330.

- LOWNDS, N.K. & M.J. BUKOVAK, 1983. Surfactant enhanced penetration of growth regulators. Proc. 10th. An. Meet. Plant Growth Regul. Soc. Amer., East Lansing, 42.
- LUTTGE, U. & N. HIGINBOTHAM, 1979. Transport in plants. Springer-Verlag, New York, 468pp.
- VAN STEVENINCK, R.F.M., 1976. Effect of hormones and related substances on ion transport. In: LUTTGE, U. e M.G. PITMAN Eds. Transport in Plants II, v.2, p. B., Tissues and Organs. Encyclopedia of Plant Physiology (N.S.). Springer-Verlag, Berlin, pp.307-342.
- WITTWER, S.H., M.J. BUKOVAK & H.B. TUKEY, 1964. Advances in foliar feeding of plant nutrients. In: Fertilizer Technology and Usage. pp.429-455.
- YOUNG, R.S., 1978. Improve 'Promalin' response with adjuvants. Proc. 5th. An. Meet. Plant Growth Regul. Work. Group, Blacksburg, 221-224.
- ZIEGLER, H., 1975. Nature of transported substances. In: ZIMMERMANN, M.H. e J.A. MILBURN Eds. Transport in Plants I, v.1., Phloem Transport. Encyclopedia of Plant Physiology (N.S.), Springer-Verlag, Berlin, pp.59-100.

# EQUIPAMENTOS E TÉCNICAS PARA APLICAÇÃO DE ADUBOS FOLIARES

Tomomassa Matuo<sup>1</sup>

## 1. INTRODUÇÃO

Os equipamentos para a aplicação de adubos foliares são os mesmos utilizados para a aplicação de defensivos agrícolas via líquida. No presente trabalho serão apresentados alguns aspectos relativos aos equipamentos denominados pulverizadores e algumas noções básicas relativas ao tema.

## 2. NOÇÕES BÁSICAS

### 2.1. Tamanho das Gotas

Tomando-se uma amostra de gotas, observa-se a existência de gotas de tamanhos variados. A idéia do tamanho da gota pode ser representada pelo valor de seu diâmetro, expresso em micrometro. Qual seria então o diâmetro que representa as gotas que compõem uma amostra de tamanhos variados?

A primeira idéia seria a média. Somando-se todos os valores dos diâmetros das gotas e dividindo-se esse valor total pelo número de gotas observadas, têm-se a mé

---

<sup>1</sup> Departamento de Defesa Fitossanitária da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP, "Campus" de Jaboticabal, SP.

dia aritmética dos diâmetros das gotas. No entanto, no estudo das gotas é mais conveniente fazer-se uso de outros parâmetros, a saber:

### 2.1.1. Diâmetro mediano volumétrico (dmv)

É o diâmetro da gota de volume mediano. Define-se o diâmetro mediano volumétrico como sendo o diâmetro da gota que divide o volume pulverizado em duas metades iguais: metade do volume é constituída de gotas maiores que o dmv e a outra metade, de gotas menores que esse valor.

Como o volume de uma gota é função cúbica de seu diâmetro ( $V = 4\pi R^3/3$ ) o valor da mediana do volume está sempre mais próximo do limite superior da distribuição. Um pequeno número de gotas grandes equivale a um grande número de gotas pequenas em termos de volume.

Como exemplo, pode-se calcular o volume de 1 gota de 100  $\mu\text{m}$ :

$$\begin{aligned}\text{Volume de 1 gota de } 1000 \mu\text{m} &= 523.598.775 \mu\text{m}^3 \\ \text{Volume de 1 gota de } 100 \mu\text{m} &= 523.598 \mu\text{m}^3\end{aligned}$$

Como se pode ver, o volume de 1 gota de 1000  $\mu\text{m}$  de diâmetro corresponde ao volume de 1000 gotas de 100  $\mu\text{m}$ .

### 2.1.2. Diâmetro mediano numérico (dmn)

É a mediana dos diâmetros das gotas. Define-se como sendo o diâmetro da gota que divide o número de gotas em duas metades iguais: metade do número de gotas é maior que o dmn e a outra metade, menor.

### 2.1.3. Coeficiente de dispersão (r)

É dada pela relação:

$$r = \frac{\text{dmv}}{\text{dmn}}$$

Expressa a uniformidade das gotas, sendo que, quanto mais próximo de 1,00, mais uniforme. Em aplicação de

signada como CDA (Controlled Droplet Application) o valor de  $r$  deve ser menor que 1,40.

Nos textos relativos à pulverização, quando se faz menção ao diâmetro de gotas, está se referindo ao valor  $dmv$ , expresso em micrometro ( $1 \times 10^{-6}$  m).

## 2.2. Cobertura

A cobertura é dada pela fórmula de COURSHÉE (1967):

$$C = 15 \frac{VRK^2}{AD}$$

onde:

C = cobertura (% da área)

V = volume de aplicação (l/ha)

R = taxa de recuperação (% do volume aplicado, captado pelo alvo)

K = fator de espalhamento de gotas

A = superfície vegetal existente no hectare

D = diâmetro de gotas.

Segundo a fórmula, para se conseguir uma elevada cobertura, devem-se manter altos os valores do numerador ou manter baixos os do denominador. Portanto, uma elevada cobertura pode ser conseguida às custas de grande volume de pulverização (V). Em aplicações a alto volume conseguem-se bom grau de cobertura, mesmo se empregando gotas grandes. O aumento da taxa de recuperação (R), em condições normais se consegue utilizando tamanho de gotas mais eficientemente coletado pelo alvo. Recentemente foi dado um avanço considerável no aumento no valor de R quando se conseguiu carregar as gotas eletrostaticamente. Gotas eletricamente carregadas induzem na superfície do alvo carga elétrica de sinal contrário e no momento seguinte são atraídas eletrostaticamente, aumentando consideravelmente a taxa de recuperação. O fator de espalhamento (K) atua sensivelmente na cobertura (função quadrática). O seu aumento se consegue com a adição de agentes tensoativos que diminuem a força de tensão superficial e fazem com que a gota se espalhe.

Quanto aos fatores do denominador, há a considerar que, aumentando-se a área foliar existente no hectare e mantendo-se as demais condições, a cobertura fatalmente será prejudicada. Por isso, à medida que a planta cresce e aumenta o índice de enfolhamento devem-se efetuar os necessários ajustes nos outros fatores. Normalmente, esse ajuste se faz através do aumento do volume de aplicação (V). A diminuição do tamanho de gotas proporciona aumento no grau de cobertura do alvo.

O Quadro 1 mostra que com o volume de aplicação mantido fixo em um l/ha, a cobertura decresce à medida que se aumenta o tamanho das gotas.

Quadro 1. Densidade de gotas teórica na aplicação de um litro por hectare.

Diâmetro de gotas ( $\mu\text{m}$ )	Número de gotas/cm <sup>2</sup>
10	19.099
20	2.387
50	153
100	19
200	2,4
400	0,3
1.000	0,02

O Quadro 2 mostra que, para se manter uma densidade de 50 gotas/cm<sup>2</sup>, à medida que se aumenta o tamanho de gotas é requerido maior volume de líquido por área. Inversamente, pode-se conseguir a mesma cobertura com gotas menores, empregando volumes reduzidos, porém a concentração dessas gotas deve ser proporcionalmente aumentada.

Portanto, para se conseguir uma boa cobertura da superfície a ser tratada, pode-se lançar mão de pulverização a alto volume (até escorrimento) usando-se grandes volumes de aplicação (caldas diluídas e gotas grandes)

ou então, o mesmo pode ser conseguido com volumes menores, usando-se gotas menores e mais concentradas.

Quadro 2. Volume de líquido necessário para cobrir 1 ha com 50 gotas/cm<sup>2</sup> e concentração necessária para distribuir 500 g de ingrediente ativo por hectare.

Diâmetro de gotas (µm)	Volume de aplicação (l/ha)	Concentração necessária para distribuir 500 g de i.a./ha (%)
60	0,56	89
80	1,34	37
100	2,62	19
150	8,83	5,6
200	20,94	2,4
250	40,91	1,2
300	70,68	0,71
400	167,55	0,33
500	327,25	0,15

A rigor, gotas menores são mais eficientemente captadas pelo alvo e por isso mesmo proporcionam melhores resultados. No Quadro 3 estão relacionados os tamanhos de gotas mais indicados para diferentes finalidades.

Quadro 3. Tamanho de gotas adequado para alguns alvos.

Alvo	Tamanho da gota (µm)
Insetos em vôo	10 - 50
Insetos sobre folha	30 - 50
Folhagem	40 - 100
Solo (e para evitar deriva)	250 - 500

Entretanto, a utilização de gotas menores implica em certas limitações, entre as quais a evaporação e a deriva são as principais.

### 2.3. Volume de aplicação

Na aplicação via líquida é usual classificar o processo em função do volume de calda aplicado por hectare.

Nos Quadros 4, 5 e 6 são apresentadas as diferentes classes de aplicação via líquida segundo diferentes fontes. Vê-se que não há concordância nos limites das classes nem nas denominações entre as propostas. A proposta de MATTHEWS (1979) parece reunir maior número de adeptos.

Atualmente existe um consenso entre os principais pesquisadores europeus que a denominação "volume alto" seja dada à aplicação feita até além da capacidade máxima de retenção das folhas, de tal modo que haja escoamento. Neste tipo de aplicação, o depósito de produto químico sobre a superfície tratada é proporcional à concentração da calda utilizada e independentemente do volume da calda aplicada (MATTHEWS, 1979). Portanto, a indicação da dosagem para a modalidade de alto volume (ou mais corretamente, volume alto) é dada via concentração (por exemplo, 200 g/100 litros de água; 0,2%) e se recomenda volume de aplicação suficiente para provocar escoamento. Esse volume é muito variável dependendo do grau de enfolhamento da lavoura. Por exemplo, para saturar todas as folhas e provocar escoamento em cultura de amendoim com 20 dias de idade bastam 100 l/ha, ao passo que, aos 60 dias de idade, essas plantas requerem mais de 700 litros na mesma área.

Em contraposição ao volume alto, o volume ultra baixo (ou ultra baixo volume) é hoje definido como o volume mínimo por unidade de área para se alcançar um controle econômico (MATTHEWS, 1979), independente de um limite rígido, pois esse volume mínimo também depende das características do alvo.

Quadro 4. Categorias de aplicação via líquida segundo ASAE (Standard S 327/1974), adaptado para sistema métrico.

Designações	Volume (litros/hectare)
Ultra-ultra baixo volume (U-UBV)	< 0,5
Ultra baixo volume (UBV)	0,5 - 5
Baixo volume (BV)	5 - 50
Médio volume (MV)	50 - 100
Alto volume (AV)	> 500

Quadro 5. Categoria de aplicação via líquida segundo MATTHEWS (1979).

Designação	Volume (litro/hectare)	
	culturas de campo	culturas arbóreas
Volume alto	> 600	> 1000
Volume médio	200 - 600	500 - 1000
Volume baixo	50 - 200	200 - 500
Volume muito baixo	5 - 20	50 - 200
Volume ultra baixo	< 5	> 50

Quadro 6. Categoria de aplicação por aeronaves, segundo JOHNSTONE & JOHNSTONE (1977).

Designações	Volume (l/ha)	Tamanho de gotas vdm ( $\mu\text{m}$ )
Volume baixo	20 - 50	200 - 250
Volume muito baixo	10 - 15	150 - 175
Volume ultra baixo	< 5	80 - 120

A tendência atual, devido ao alto custo do transporte de água ao campo e a perda do tempo representada pelas constantes paradas para reabastecimento do pulverizador, é a prática de modalidades que requerem menor volume de aplicação, visando com isso, diminuir o custo e aumentar a rapidez do tratamento.

A diminuição do volume de aplicação, por sua vez, implica no emprego de gotas menores, se quiser manter uma adequada cobertura do alvo.

#### 2.4. Diluentes para aplicação via líquida

Diluyente é material adicionado à formulação com o intuito de aumentar-lhe o volume para possibilitar a sua distribuição. O diluyente, segundo alguns autores, é também denominado de "veículo". Porém, para não confundir com o veículo, que é componente de muitas formulações, é preferível manter a denominação "diluyente" ou então especificar "veículo de aplicação" para essas substâncias.

A água é o diluyente mais comum nas aplicações via líquida por ser de fácil obtenção e de baixo custo (via de regra, o custo da água na fonte é muito baixo, porém deve-se considerar o seu custo no campo) e por contar com ampla opção de formulações compatíveis.

Entretanto, a água apresenta duas limitações:

a) **Tensão superficial:** a água apresenta alta tensão superficial. Isso faz com que a gota depositada numa superfície permaneça na forma esférica, fazendo com que tenha pouca superfície de contato. Para corrigir este problema, basta adicionar nela algum agente tensoativo (ou surfactante) que lhe diminua a tensão superficial. Com isso a gota se espalha facilmente na superfície, molhando maior área. Alguns adjuvantes integrantes da formulação como os agentes molhantes, emulsionantes etc. são agentes tensoativos e, portanto, a simples presença dessas formulações na calda pode ser suficiente para dimi-

nuir a tensão superficial da água até os níveis desejados. Outras vezes, há necessidade de adição desses agentes tensoativos, que na prática são conhecidos como espalhantes-adesivos.

b) **Evaporação:** a superfície do líquido é enormemente aumentada quando fragmentada em pequenas gotas e perde a porção volátil por essa superfície. A água é um líquido volátil e pode se evaporar no trajeto entre a máquina e o alvo.

Segundo AMSDEN (1962), o tempo de "vida" da gota de água pode ser calculado pela fórmula:

$$t = \frac{d^2}{80\Delta T}$$

onde,

t = tempo de "vida" da gota (seg);  
d = diâmetro da gota ( $\mu\text{m}$ );  
 $\Delta T$  = diferença de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) entre os termômetros de bulbo seco e bulbo úmido de psicrômetro

No Quadro 7 pode ser visto o tempo de "vida" da gota de água em duas condições diferentes de temperatura e umidade, e a distância que a gota percorre até a sua total extinção.

Em condições tropicais de alta temperatura, o fenômeno da evaporação das gotas de pulverização é bastante problemático, agravando-se sobremaneira em dias muito secos. Aplicações com gotas médias a pequenas, muitas vezes não chegam a atingir o alvo, desaparecendo antes.

JOHNSTONE & JOHNSTONE (1977), estudando as aplicações por meio de aeronaves, recomendaram as seguintes condições:

b.1) Aplicações com calda de formulação diluída em água, usando gotas de 200 a 250  $\mu\text{m}$  de diâmetro e volume de 20 a 50 l/ha - Interromper a aplicação quando a diferença de temperatura entre termômetro de bulbo seco e de

Quadro 7. Tempo de "vida" da gota de água e distância de queda.

Temperatura	(°C)	20		30
$\Delta T$	(°C)	2,2		7,7
Umid. Rel.	(%)	80		50
$\phi$ inicial ( $\mu\text{m}$ )	Tempo até extinção	Distância da queda	Tempo até extinção	Distância de queda
50	12,5 seg	12,7 cm	3,5 seg	3,2 cm
100	50,0 seg	6,7 m	14,0 seg	1,8 m
200	200,0 seg	81,7 m	56,0 seg	21,0 m

bulbo úmido exceder a  $8^{\circ}\text{C}$  ou quando a temperatura exceder a  $36^{\circ}\text{C}$ .

b.2) Aplicação com calda de formulação diluída em água, usando gotas de 150 a 170  $\mu\text{m}$  de diâmetro e volume de 10 a 15 l/ha - Interromper a aplicação quando  $\Delta T$  for superior a  $4,5^{\circ}\text{C}$  ou a temperatura exceder  $32^{\circ}\text{C}$ .

O problema da evaporação impede que a água seja subdividida em gotas muito pequenas, principalmente nos climas tropicais. Por isso, quando se utiliza calda à base de água, o volume de aplicação por hectare deve ser relativamente grande. Quando for necessário o emprego de pequenos volumes de aplicação (por exemplo, abaixo de 50 l/ha) é necessário controlar a evaporação da água ou, então, passar a utilizar outro diluente que não seja volátil.

O controle da evaporação da água não está muito pesquisado e até hoje, em que pese algumas tentativas feitas, não há produtos comerciais "antievaporantes".

Pesquisas com OED (orto-etileno docosanol) tem mostrado que este produto, em concentração próxima de 1% na calda, retarda e controla muito bem a evaporação da água (MURAI et alii, 1974).

Tem sido também recomendada a mistura de óleo emulsionável na calda para impedir a evaporação. Os resultados de ensaios (JOHNSTONE & JOHNSTONE, 1977; CORREA & MAZIERO, 1980; WODAGENEH & MATTHEWS, 1981) mostram que o óleo não atua como antievaporante da água. O que se observa é que a parte aquosa da gota acaba evaporando com a mesma velocidade da água e no final resta somente a porção correspondente ao óleo.

Uma alternativa interessante na redução da evaporação da água é o uso de melão de cana. Entretanto, para essa técnica funcionar a contento, a participação do melão na calda deve ser acima de 30%. Portanto, essa mistura só será viável para aplicações a volumes muito baixo ou ultra baixo.

O fenômeno da evaporação da água parece ser um problema não sentido pelos agricultores. Isso porque na maioria das aplicações tradicionais empregam-se gotas grandes e o bico está suficientemente próximo do alvo, de tal forma que esse fenômeno, ainda que manifeste, não chega a afetar o desempenho biológico do produto químico. Entretanto, quando se utilizam gotas pequenas que deve caminhar uma razoável distância até a sua deposição final (aplicação por aviões ou por "canhão" terrestre) o fenômeno da evaporação torna-se perceptível, influenciando negativamente no resultado da aplicação. Mesmo nas aplicações clássicas, existe um apreciável contingente de gotas pequenas entre as gotas grandes. As gotas que perdem peso ou se extinguem no percurso para o alvo, deixam o ingrediente ativo solto no ar (partícula fluante), que é captado pela corrente aérea e arrastado a regiões distantes onde posteriormente vem se depositar, principalmente fazendo parte de núcleo de condensação das nuvens. Esse mecanismo de transporte a longa distância é o principal responsável pela poluição de regiões não agrícolas remotas, como as calotas polares.

Quando se empregam aplicações de pequenas gotas, a água não é o diluente mais apropriado. Para esses casos, é usual lançar-se mão de líquidos não voláteis. A formulação UBV é não volátil, pronto para uso, recomendada para essas situações. Não havendo formulação UBV de um ingrediente ativo e necessitando-se de seu emprego em volumes reduzidos, a solução é lançar mão de diluentes não voláteis.

O diluente para esses casos é o óleo mineral agrícola (spray oil). Para que o óleo seja classificado como "agrícola" deve atender a certas especificações, sendo um desses requisitos a ausência de fitotoxicidade. Nem sempre, porém, as formulações podem ser diretamente diluídas em óleo pois elas foram desenvolvidas visando ser acrescentadas à água. Portanto, a miscibilidade da formulação ao óleo deve ser testada. Não sendo possível, pode-se lançar mão de um artifício que consiste em se diluir a formulação em um pequeno volume de água, adicionar emulsificantes e acrescentar o óleo, formando uma

mistura, que contém pouca água e muito óleo, conhecida como "emulsão invertida".

### 3. EQUIPAMENTOS

A aplicação de adubos foliares é efetuada por meio de pulverizadores. Para se ter idéia desse equipamento, é apresentado neste trabalho o circuito hidráulico (Figura 1) e comentários sobre pulverizadores tratorizados.

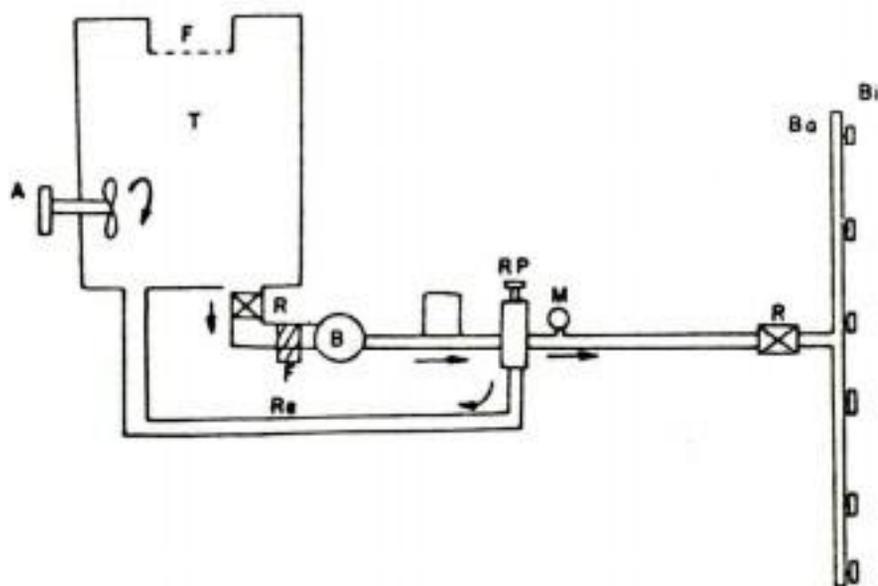


Figura 1. Circuito hidráulico de um pulverizador convencional. F = filtro; T = tanque; A = agitador; R = registro; B = bomba; C = câmara de compressão; RP = regulador de pressão; Re = retorno; M = manômetro; Ba = barra; Bi = bicos.

Tendo-se apenas o depósito, a bomba e os bicos é possível se pulverizar o líquido. No entanto, para se ter controle sobre as condições operacionais, muitos outros órgãos se tornam necessários.

### 3.1. Depósito

O depósito possui um filtro na sua boca de carga para reter as eventuais sujeiras que poderiam entupir as passagens estreitas do circuito hidráulico (válvulas e bicos). No depósito, normalmente existe o agitador mecânico, que é indispensável quando se está trabalhando com o pó molhável ou suspensão concentrada. A agitação também é provida pelo retorno do excesso de líquido bombeado. Para formulações que se diluem bem na água, essa agitação hidráulica proporcionada pelo retorno é suficiente.

### 3.2. Filtro

Antes que a calda entre na bomba, existe obrigatoriamente um filtro. A limpeza deste filtro deve ser frequente, no mínimo diário. Para possibilitar manuseio frequente, este filtro está posicionado para proporcionar fácil acesso e pode ser aberto sem o auxílio de ferramentas. Para poder abrir o filtro, estando o tanque com conteúdo, existe um registro antes do mesmo. Portanto, existe obrigatoriamente a sequência: tanque - registro - filtro - bomba.

### 3.3. Bomba

A função da bomba é pressionar a calda. Existem vários tipos de bomba, como bomba de pistão, de diafragma, de roletes, de engrenagens e centrífuga. No Brasil, para pulverizadores tratorizados, a esmagadora maioria das bombas é de pistão, existindo somente pouquíssimos modelos com outros tipos de bomba. A bomba de pistão é capaz de proporcionar pressões elevadas e a sua capacidade de bombeamento não é afetada pela pressão,

isto é, uma bomba com capacidade de 40 litros/minuto, bombeia esse mesmo volume, tanto a 40 psi como a 400 psi. Daí a razão da sua boa aceitação, apesar de ser uma bomba cara, tanto no seu custo inicial como na sua manutenção.

### 3.4. Câmara de compressão

A calda bombeada, sob pressão, passa pela câmara de compressão que é um compartimento parcialmente cheio de ar. Como o líquido não é elástico mas o ar é, esse volume de ar da câmara é que vai ser comprimido para manter a pressão. A principal função da câmara é de limitar as pulsações oriundas da ação aspirante-premente da bomba de pistão. Para bombas de ação contínua como as bombas centrífugas não seria necessária essa câmara. Para bombas de vários pistões (por exemplo, 6) a câmara também é dispensável.

### 3.5. Regulador de pressão

Eliminada a pulsação, a calda entra no regulador de pressão (Figura 2). O regulador, basicamente, é um divisor de volume. Por exemplo, suponha que a capacidade de bomba seja de 40 litros por minuto e que a vazão de cada bico seja de 1 litro por minuto, e que a barra tenha 10 bicos. Ora, se a bomba envia 40 litros e a saída total é de 10 litros, existe um excesso de 30 litros. O regulador de pressão é que faz com que esses 30 litros excedentes retorne ao tanque. Esta peça então deve apresentar uma entrada (que recebe a calda que vem da bomba) e duas saídas; uma que se comunica com os bicos e a outra que leva o excesso de volta ao tanque. Para poder variar essa proporção (do que vai para o bico e do que retorna ao tanque) basta girar um parafuso que comprime uma mola que comanda a passagem para o retorno. Quanto mais se comprime essa mola, mais difícil será o retorno e, portanto, mais líquido será enviado aos bicos. Como a saída dos bicos é pequena, a pressão nessa parte do circuito se elevará e vice-versa.

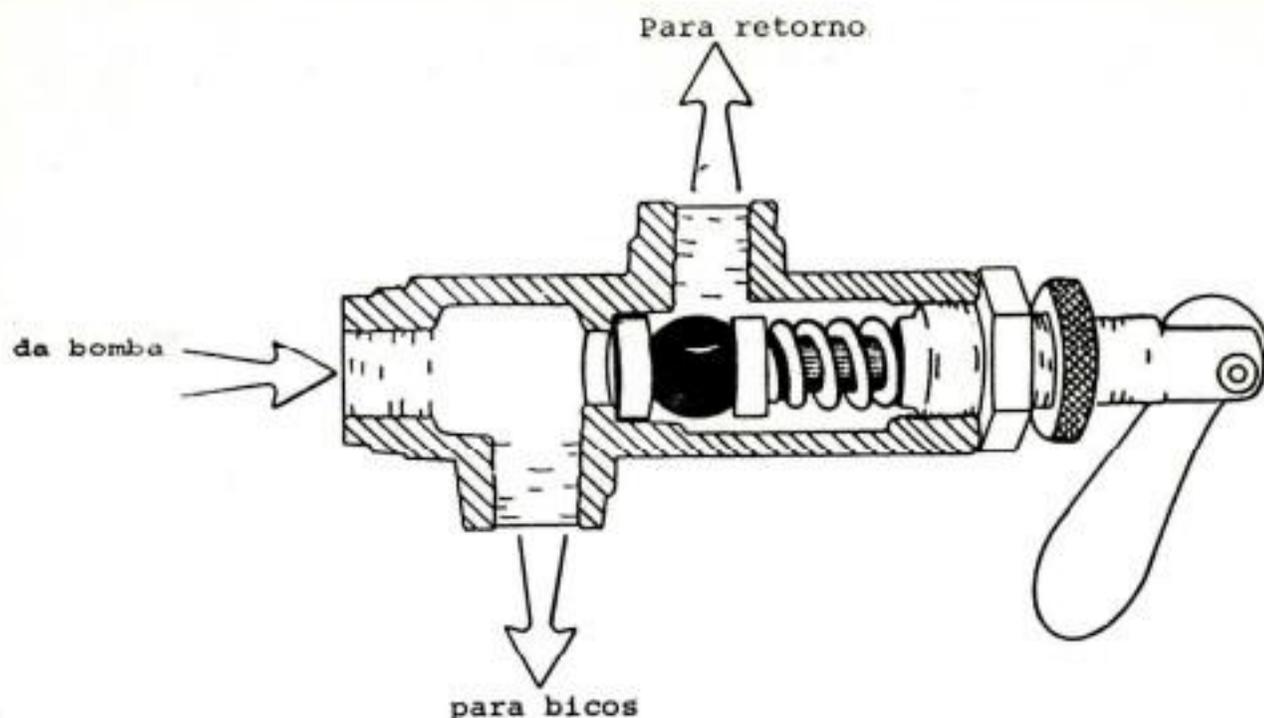


Figura 2. Regulador de pressão.  
Desenho: AKESSON & YATES.

### 3.6. Manômetro

A pressão no circuito dos bicos é lida em um manômetro. O manômetro comum traz escala em  $\text{lb/pol}^2$ , e  $\text{kg/cm}^2$  (ambas não oficiais, porém consagradas pelo uso). Normalmente, o manômetro comum apresenta problemas de durabilidade pois lhe falta robustez para suportar as árduas condições de trabalho (vibração e líquido agressivo circulando no seu interior). Recentemente está sendo adotado manômetro com banho de glicerina, pouco mais resistentes. Para quem quiser poupar o manômetro, a solução paliativa é utilizá-lo enquanto se regula a pressão e após isso, desacoplá-lo do circuito. Como o regulador pode-se manter travado, a pressão não se alteraria até que a nova regulagem fosse feita. Entretanto, por precaução, é bom conferir 2 ou 3 vezes ao dia.

### 3.7. Registro

Depois do regulador de pressão e manômetro deve ha-

ver um registro, que o operador comanda para abrir ou fechar a passagem do líquido para os bicos. Quando a barra estiver dividida em 3 secções: central, esquerda e direita, o registro deve ser de 7 posições, de tal forma que pode operar as secções independentes, aos pares ou toda a barra. Existem registros acionados eletricamente através de solenóides, que possibilitam o comando à distância. Essas válvulas solenóides seriam úteis quando se adotarem cabines fechadas, pois nessas cabines não seriam permitidas passagens de tubos conduzindo calda pressurizada. Enquanto não se adotam essas medidas de segurança, os registros acionados eletricamente, não estão em uso no Brasil.

### 3.8. Barra

A barra de pulverização contém os bicos. O comprimento da barra varia conforme o modelo do pulverizador. Quanto mais comprida a barra, mais larga será a faixa de tratamento e, portanto, maior a capacidade operacional do equipamento. Entretanto, quanto mais comprida a barra, maior será a oscilação da mesma e a deposição será mais heterogênea. Há, portanto, um compromisso entre a qualidade e a rapidez do trabalho, devendo o comprimento da barra ficar dentro de certos limites. Entretanto, uma longa série de estudos conduzidos na Inglaterra (NATION, 1977, 1980, 1982) na década passada, culminou na adoção pelas indústrias, na década de 1980, de sistema de acoplamento de barra que veio reduzir substancialmente o problema da heterogeneidade da deposição provocada pela oscilação da barra. NATION demonstrou que tanto as oscilações verticais como as horizontais são igualmente responsáveis pela heterogeneidade de deposição. A solução proposta pelo pesquisador levaram, basicamente, a tornar a barra independente da estrutura do pulverizador, nela se ligando através de um sistema de suspensão (com molas e amortecedores). Com isso as oscilações do trator não mais se transmitem diretamente à barra, sendo absorvidas pelo sistema de suspensão. Essa solução possibilitou construir barras bastante longas, denominadas auto-estáveis, sem problemas. As indústrias brasileiras aderiram entusiasticamente à idéia e hoje existem

pulverizadores de barras muito longas e de grande capacidade operacional no mercado nacional.

Os bicos se acham posicionados na barra em distâncias uniformes, fixadas por diferentes sistemas (Figura 3). Essa montagem está adequada para as situações mais comuns de cobertura do alvo que é a cobertura total da superfície do solo ou da cultura. Entretanto, para cada situação particular, deve-se procurar o melhor posicionamento do bico para que a maior quantidade do produto químico seja colocado no alvo, evitando-se os desperdícios. Se o alvo do tratamento se situa no topo das plantas em fileira, os bicos devem ser posicionados acima de cada fileira de plantas. Se o alvo está na posição abaixo do topo, os bicos devem ser posicionados de tal forma a cobrir melhor essa região e talvez a melhor solução fosse colocar dois bicos em cada entrelinha, posicionados em ângulo voltado para a fileira. Se o alvo está no baixeiro da planta, haverá necessidade de se usar pingentes para colocar o bico dentro da entrelinha e dirigir o jato para o baixeiro da planta (Figura 4). É sempre bom frisar que os pulverizadores, quando saem da fábrica, vêm em conformação para atender às condições médias da sua utilização. Cada usuário deve ter iniciativa e imaginação para adequar a conformação da máquina para atender ao seu caso particular.

### 3.9. Bicos

MATTHEWS (1979) classifica os bicos de acordo com a energia envolvida na formação de gotas (Quadro 8).

Na maioria das vezes, a vazão do pulverizador é estabelecida pela vazão do bico (ou da somatória das vazões dos bicos, quando existirem vários). Em alguns casos, a vazão do pulverizador pode ser regulada por dispositivos específicos e os bicos ficam somente com a função formadora de gotas. Portanto, o bico é o principal órgão do pulverizador, pois dele depende a vazão e a qualidade das gotas.

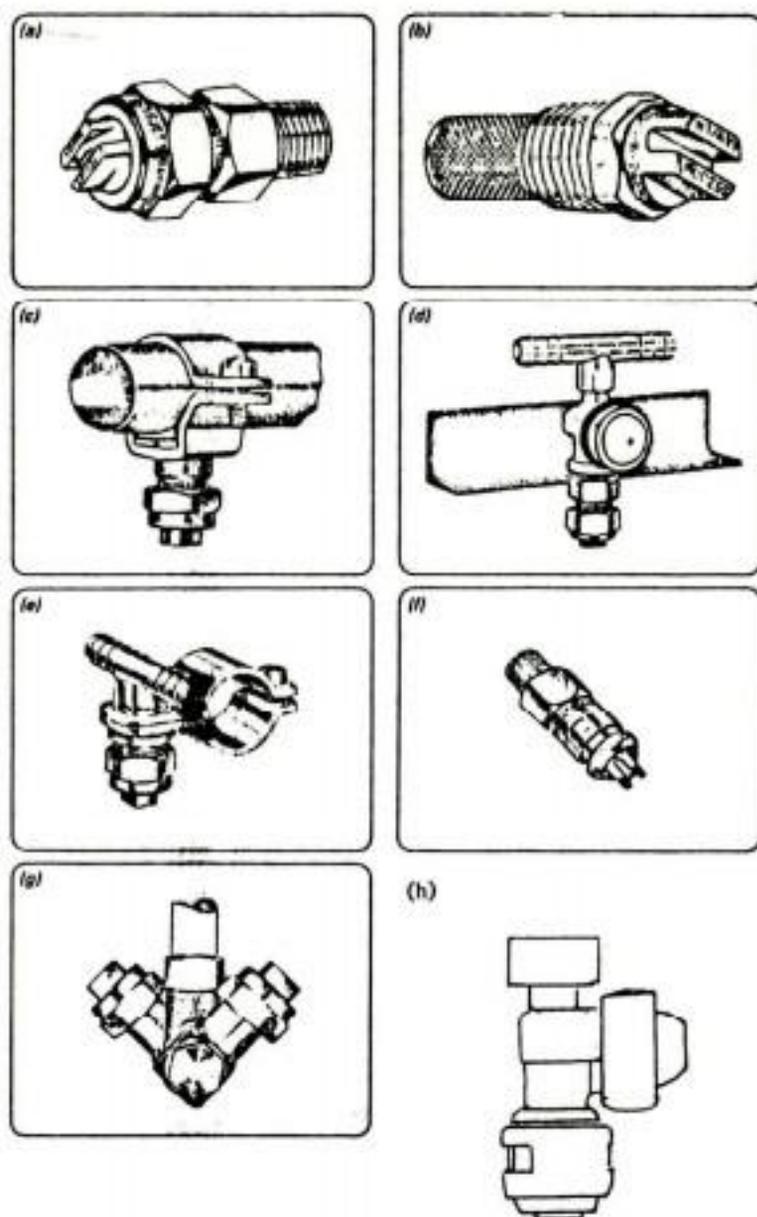


Figura 3. Diferentes fixações de bicos na barra. a e b) bico rosqueados diretamente na barra; c) bico grampeado na barra; d) bico fixo em suporte em L da barra e mangueiras ligando os bicos; e) bico grampeado em suporte circular da barra e mangueira ligando os bicos, distância facilmente ajustável; f) capa de bico tipo baioneta; g) bico duplo para pingente; h) bico com diafragma de fecho rápido e capa tipo baioneta.  
 Fonte: MATTHEWS, 1979.

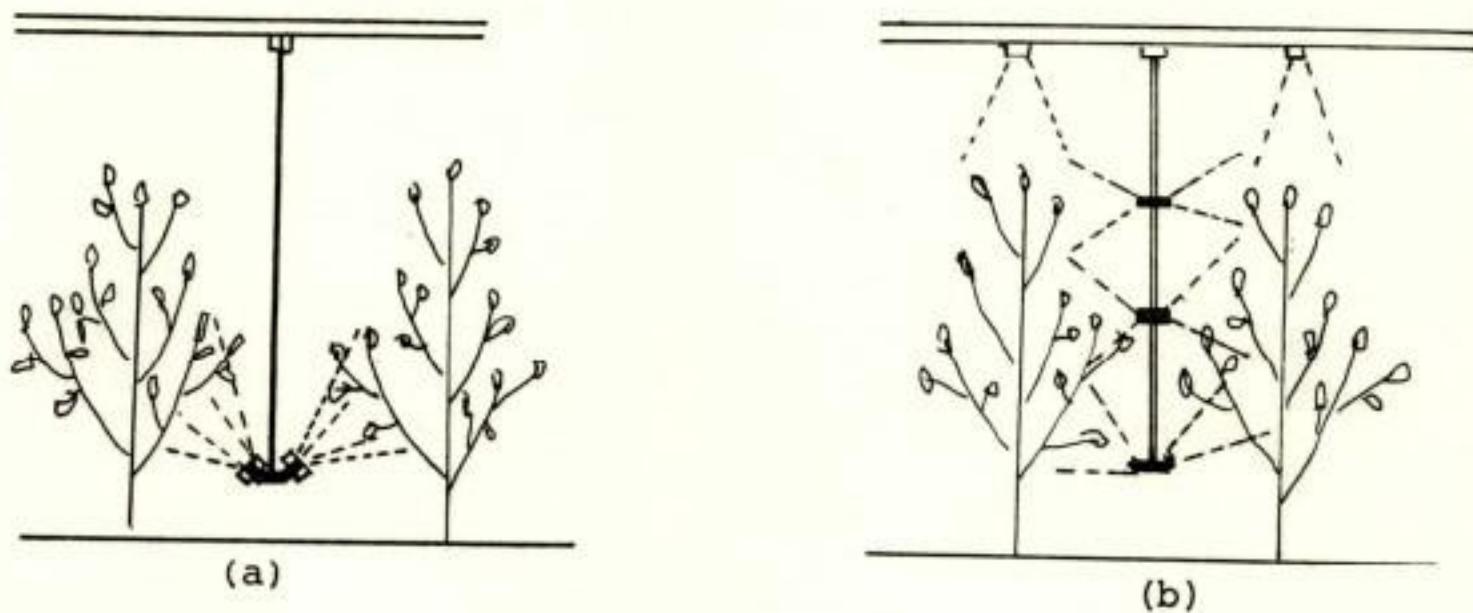


Figura 4. Posição de bicos em relação à planta: a) bico pingente para o baixeiro da planta; b) bicos pingentes e convencionais para cobertura total da planta.

Quadro 8. Tipos de bicos e suas ampliações (Adaptado de MATTHEWS, 1979).

Energia	Tipo	Usos
Hidráulica	Impacto	Bico de baixa pressão com gotas grandes. Aplicação de herbicidas.
	Leque	Para pulverização de superfícies planas como solo e parede.
	Cone	Para pulverização de folhagens.
Gasosa	Pneumático	Pulverização de folhagens, especialmente árvores e arbustos.
Centrífuga	Disco ou gaiola rotativa	Aplicação de volumes mínimos com controle do tamanho de gotas. Baixa rotação para gotas grandes. Alta rotação para gotas pequenas.
Cinética	Vibratório	Gotas grandes e uniformes para evitar deriva.
Elétrica	Eletrostático	Gotas eletricamente carregadas e atraídas por objetos aterrados.

### 3.9.1. Bicos de energia hidráulica

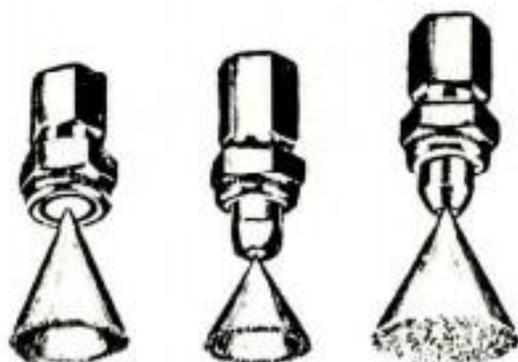
Líquido sob pressão é forçado através de uma pequena abertura, de tal forma que o líquido se espalha, formando lâmina que depois se desintegra em gotas de diferentes tamanhos. A pressão, as características físicas do líquido (tensão superficial, densidade, viscosidade) e condições do ar ambiente influem no desenvolvimento da lâmina líquida. O tamanho de gotas assim formadas varia bastante, isto é, o espectro é muito amplo. Não obstante, os bicos hidráulicos são os mais comuns e tradicionais e são designados como bicos **convencionais** e dominam amplamente o mercado mundial.

Quanto à forma do jato, os bicos hidráulicos se dividem em bicos de jato cônico e bicos de jato plano. Os de jato cônico se subdividem em bicos de cone cheio e bicos de cone vazio e os bicos de jato plano em bico leque e bico de impacto (Figura 5).

a) **Bicos cônicos** - Os bicos de cone vazio são os mais comuns dos bicos hidráulicos, sendo que os de cone vazio são os predominantes. A deposição de gotas, no cone vazio, se concentra somente na periferia do cone, sendo que no centro do cone praticamente não há gotas.

Nos bicos mais conhecidos da Spraying Systems, (bicos da série D e série X) os componentes podem ser vistos na Figura 6, sendo que a capa e o corpo são comuns para todos os bicos da marca.

Nos bicos da série D, o filtro é de ranhuras e não de malhas como nos demais bicos. O núcleo é conhecido por outros nomes como difusor caracol, espiral, "core" etc. e serve para proporcionar movimento helicoidal ao jato líquido que por ele passa. Após tomar esse movimento o líquido passa através do orifício circular do disco e então se abre em um cone, onde as gotas continuam com o movimento helicoidal. Daí a habilidade do bico cônico em cobrir alvos tridimensionais como é a folhagem, pois com esse movimento, as gotas podem contornar obstáculos e atingir pontos situados em planos poste



CÔNICO D2-25 CÔNICO X 2 CONE CHEIO



LEQUE 8002E

LEQUE 8002

LEQUE 11002

Bico Floodjet  
jato leque de 130°

Figura 5. Alguns tipos de bicos hidráulicos.  
Desenho: Spraying Systems.

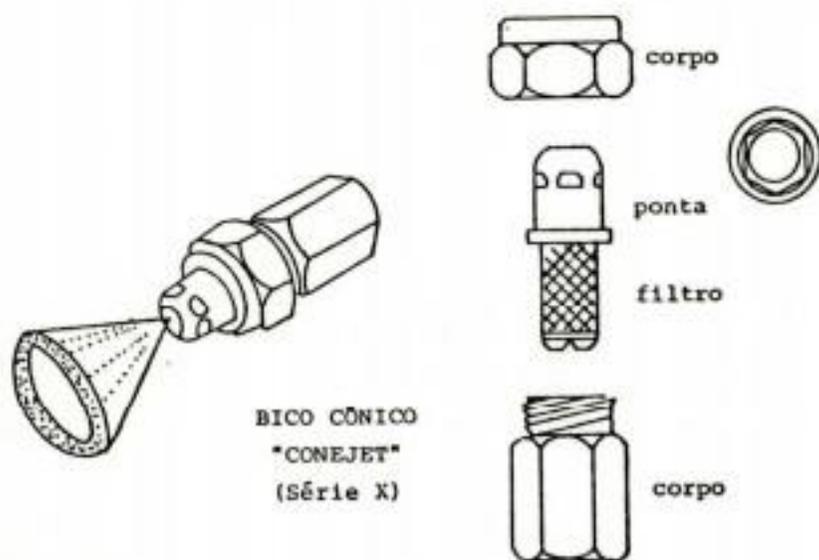


Figura 6. Bico da série D (acima) e da série X (abaixo).

riores. Nos bicos da Spraying Systems o núcleo recebe as numerações como 13, 23, 25, 45 etc. O primeiro algarismo indica o número de abertura existente no núcleo. Por exemplo, o nº 45 indica que existem 4 aberturas no núcleo. O segundo algarismo indica o tamanho da abertura. O disco recebe a numeração como D2, D4, D5 etc, sendo que o número após a letra D indica o diâmetro do orifício (ex.: 2/64", 5/64"). Da combinação núcleo - disco resulta a identificação do bico. Exemplo: D2-13, D4-45.

Nos bicos Jacto, o núcleo é identificado através do número de furos; o núcleo 1 possui um furo, o núcleo 2 possui dois. O disco Jacto pode ser 10 ou 14, sendo que esses números também indicam o diâmetro do orifício (1,0 mm e 1,4 mm, respectivamente). A identificação do bico Jacto é feita assim: JD14-1 (disco 14, núcleo de 1 furo); JD10-2 (disco 10, núcleo de 2 furos).

Quanto ao material, existem diversas opções, desde o bronze (menos resistente à abrasão, i.e. desgaste), ligas de metais mais duros e até de minerais fundidos ("cerâmica") de altíssima dureza e, portanto, resistente ao desgaste. Evidentemente, quanto mais nobre o material utilizado, mais caro é o bico. Entretanto, se analisar bem a situação, o bico deve ser de boa qualidade, não se importante o seu preço, pois esse preço, diante do preço do produto químico que atravessa esse mesmo bico durante um ano agrícola, torna-se completamente irrisório. O que importa é fazer uma boa aplicação para poder extrair do produto químico, o melhor desempenho.

Os bicos cônicos trabalham a pressões mais elevadas que os bicos de jato plano. Geralmente os bicos cônicos trabalham acima de 60 lb/pol<sup>2</sup>\*, podendo, conforme o bico, suportar até 100 lb/pol<sup>2</sup>. Cada fabricante pos-

---

\* A unidade de uso corrente para a pressão é lb/pol<sup>2</sup> (a rigor, lbf/pol<sup>2</sup>) que pode também ser abreviada como psi (pound per square inch). As outras unidades de pressão são: kgf/cm<sup>2</sup> (= 14,2 lbf/pol<sup>2</sup>); bar (= 14,5 lbf/pol<sup>2</sup>); kPa (= 100 bar); kN/m<sup>2</sup> (= 1 kPa).

sua tabela de vazão do bico que fabrica. A título de ilustração, são apresentadas tabelas de vazão de alguns bicos da Spraying Systems e da Jacto (Quadros 9 e 10).

b) **Bicos de impacto** - No bico de impacto o jato líquido bate em um plano inclinado e se abre em forma de leque (Figura 7). Estes bicos operam a pressões muito baixas (padrão de 10 psi). Por possuírem ângulo bastante aberto, são aptos a trabalhar muito próximo do alvo (solo) e, por isso mesmo, preferidas para equipar barras cobertas para aplicar herbicidas sob a saia de árvores e arbustos (pomares, cafezais). Normalmente são de alta vazão e produzem gotas grandes porém atualmente está em expansão a utilização de bicos de impacto de baixa vazão que produzem gotas relativamente pequenas (TK 0,5).

O padrão de deposição dos bicos de impacto não é muito regular e, devido a isso, a sua utilização em barras apresenta problemas de sobreposição, tornando a deposição bastante irregular (Figura 8).

Os bicos de impacto de alta vazão, utilizado dentro das especificações (10 a 20 psi) produzem gotas grandes e não haveria problemas de deriva. No entanto, observa-se na prática, que os bicos estão sendo utilizados a pressões muito superiores ao recomendado e nessas condições, os bicos de impacto geram muitas gotas pequenas, sujeitas à deriva.

A vazão de alguns bicos de impacto estão apresentados no Quadro 11.

Os bicos da série Floodjet da Spraying Systems são designados pelas letras TK seguidas de um número (Ex.:TK-2). O número indica a vazão do bico a 10 psi. No caso, TK-2 significa que a vazão à pressão de 10 psi é de 0,2 galão/minuto. Quando o material é de aço inoxidável, aparece ainda as letras SS (stainless steel).

O filtro para estes bicos é de malha 50 ou 100 (50 ou 100 aberturas em uma polegada) e deve ser adequado ao tamanho do orifício. Em bicos de orifício pequeno, como

Para pulverização de inseticidas a pressões mais altas e com mais volume. Especialmente adequados para pulverizar pós molháveis e outros produtos químicos erosivos. Os bicos de maior capacidade são usados também para pulverização com INJEÇÃO DE AR. Pode-se escolher entre filtros ranhurados de latão, alumínio ou nylon. As pontas e os discos podem ser usados com todos os tipos de conjuntos de corpos de bicos TeeJet. **MODELO DE PULVERIZAÇÃO DE JATO DE CONE OCO...** a pulverização é uniformemente distribuída em forma de cone com boa atomização. Podem-se escolher combinações de pontas e discos, o que proporciona uma gama completa de capacidades.



Tipo 1/4 T  
com rosca  
fêmea de  
1/4" NPT



Tipo 1/4 TT  
com rosca  
macho de  
1/4" NPT

Materiais: possibilidade  
de escolher entre latão,  
aço inox., e alumínio.

Peso: latão e aço inox.  
71 gr., alum. 29 gr.

**MODELO DE PULVERIZAÇÃO  
DE JATO DE CONE OCO**

**BICO DE CINCO PEÇAS**



Corpo de bico TeeJet.  
Escolher com rosca  
macho (1/4 TT) ou  
fêmea (1/4 T).



Filtro  
ranhurado  
4514

Ponta



Cone



Disco



Parte de  
Isação

\*\* O disco deverá ser  
montado com o orifício  
para o lado do filtro

Quadro 9. Vazão de bicos da série D ("Spraying Systems")

Combinação Tamanho de Ponto e Distância Entre as Flechas nominais, m <sup>2</sup>	Previsão de Esped. de Solo, kg/cm <sup>2</sup>	Capacidade, tonel. por hect.	LITROS POR HECTARE - 75 CM DE SEPARAÇÃO DE FLECHAS									LITROS POR HECTARE - 100 CM DE SEPARAÇÃO DE FLECHAS								
			UM BICO POR FLECHA			DOIS BICOS POR FLECHA			TRÊS BICOS POR FLECHA			UM BICO POR FLECHA			DOIS BICOS POR FLECHA			TRÊS BICOS POR FLECHA		
																				
			S km/h	6 km/h	8 km/h	S km/h	6 km/h	8 km/h	S km/h	6 km/h	8 km/h	S km/h	6 km/h	8 km/h	S km/h	6 km/h	8 km/h	S km/h	6 km/h	8 km/h
D2-13 (4514-20)	3	0,34	53	44	33	106	88	66	159	132	99	40	33	25	79	66	50	119	99	74
	5	0,41	65	54	40	129	108	81	194	162	121	49	40	30	97	81	61	146	121	91
	7	0,47	74	61	46	148	123	92	220	184	138	55	46	35	111	92	69	166	138	104
	10	0,54	85	71	53	170	141	106	250	210	159	64	53	40	127	106	80	191	159	119
	15	0,63	99	83	62	199	166	124	300	250	186	75	62	47	149	124	93	220	186	140
20	0,70	111	93	70	220	185	139	330	280	210	83	70	52	167	139	104	250	210	156	
25	0,76	121	101	76	240	200	152	360	300	230	91	76	57	182	152	114	270	230	171	
D2-23 (4514-20)	3	0,43	69	57	43	137	114	86	210	172	129	51	43	32	103	86	64	154	129	97
	5	0,53	84	70	53	169	141	105	260	210	156	63	53	40	127	105	79	190	156	119
	7	0,61	97	81	60	193	161	121	290	240	181	73	60	45	145	121	91	220	181	136
	10	0,70	112	93	70	220	186	140	330	280	210	84	70	52	167	140	105	250	210	157
	15	0,83	132	110	82	260	220	164	390	330	250	99	82	62	197	164	123	300	250	185
20	0,93	148	123	92	300	250	185	440	370	280	111	92	69	220	185	139	330	280	210	
25	1,02	162	135	101	320	270	200	490	400	300	121	101	76	240	200	152	360	300	230	
D3-23 (4514-20)	3	0,46	73	61	46	146	122	91	220	183	137	55	46	34	110	91	68	164	137	103
	5	0,58	91	76	57	182	152	114	270	230	171	68	57	43	137	114	86	210	171	128
	7	0,66	106	88	66	210	176	132	320	260	198	79	66	49	158	132	99	240	198	148
	10	0,78	123	103	77	250	210	154	370	310	230	92	77	58	185	154	116	280	230	173
	15	0,92	147	123	92	190	250	184	440	370	280	110	92	69	220	184	138	330	280	210
20	1,05	167	139	104	330	280	210	500	420	310	125	104	78	250	210	156	380	310	230	
25	1,15	184	153	115	370	310	230	550	460	340	138	115	86	280	230	172	410	340	260	
D2-25 (4514-20)	3	0,67	98	82	61	196	164	123	290	250	184	74	61	46	147	123	92	270	184	138
	5	0,78	125	104	78	250	210	156	370	310	230	93	78	58	187	156	117	280	230	175
	7	0,92	146	121	91	290	240	182	440	360	270	109	91	68	220	182	137	330	270	210
	10	1,08	172	143	108	340	290	220	520	430	320	129	108	81	260	220	161	390	320	240
	15	1,30	210	173	130	420	350	260	620	520	390	156	130	97	310	260	195	470	390	290
20	1,49	240	198	149	480	400	300	710	590	450	178	149	111	360	300	220	540	450	330	
25	1,65	260	220	165	530	440	330	790	660	490	198	165	124	400	330	250	590	490	370	
D3-25 (4514-32)	3	0,75	119	99	74	240	199	149	360	300	220	89	74	56	179	149	112	270	220	168
	5	0,95	151	126	94	300	250	188	450	380	280	113	94	71	230	188	141	340	280	210
	7	1,10	178	146	110	350	290	220	530	440	330	132	110	82	260	220	165	400	330	250
	10	1,30	210	173	129	410	350	260	620	520	390	155	129	97	310	260	194	470	390	290
	15	1,56	250	210	156	500	420	310	750	620	470	187	156	117	370	310	230	560	470	350
20	1,78	280	240	178	570	470	360	850	710	530	210	178	133	430	360	270	640	530	400	
25	1,98	320	260	197	630	530	390	950	790	590	240	197	148	470	390	300	710	590	440	
D3-45 (4514-32)	3	0,90	144	120	90	290	240	179	430	360	270	108	90	67	220	179	135	320	270	200
	5	1,16	184	154	115	370	310	230	550	460	350	138	115	86	280	230	173	410	350	260
	7	1,36	220	181	136	430	360	270	650	540	410	163	136	102	330	270	200	490	410	310
	10	1,62	260	220	162	520	430	320	780	650	490	194	162	121	390	320	240	580	490	360
	15	1,98	320	260	197	630	530	390	950	790	590	240	197	148	470	390	300	710	590	440
20	2,28	380	300	230	730	610	450	1090	910	680	270	230	170	550	450	340	820	680	510	
25	2,54	410	340	260	810	680	510	1220	1010	760	300	250	190	610	510	380	910	760	570	
D4-25 (4514-32)	3	1,13	180	150	113	360	300	230	540	450	340	135	113	85	270	230	169	410	340	260
	5	1,44	230	191	144	460	380	290	690	570	430	172	144	108	340	290	220	520	430	320
	7	1,69	270	220	169	540	450	340	810	670	510	200	169	126	400	340	250	610	510	380
	10	2,00	320	270	199	640	530	400	960	800	600	240	200	150	460	400	300	720	600	450
	15	2,42	390	320	240	770	640	480	1160	970	720	290	240	181	580	480	360	870	720	540
20	2,77	440	370	280	890	740	550	1330	1110	830	330	280	210	660	550	420	1000	830	620	
25	3,08	490	410	310	980	820	610	1480	1230	920	370	310	230	740	610	460	1110	920	690	

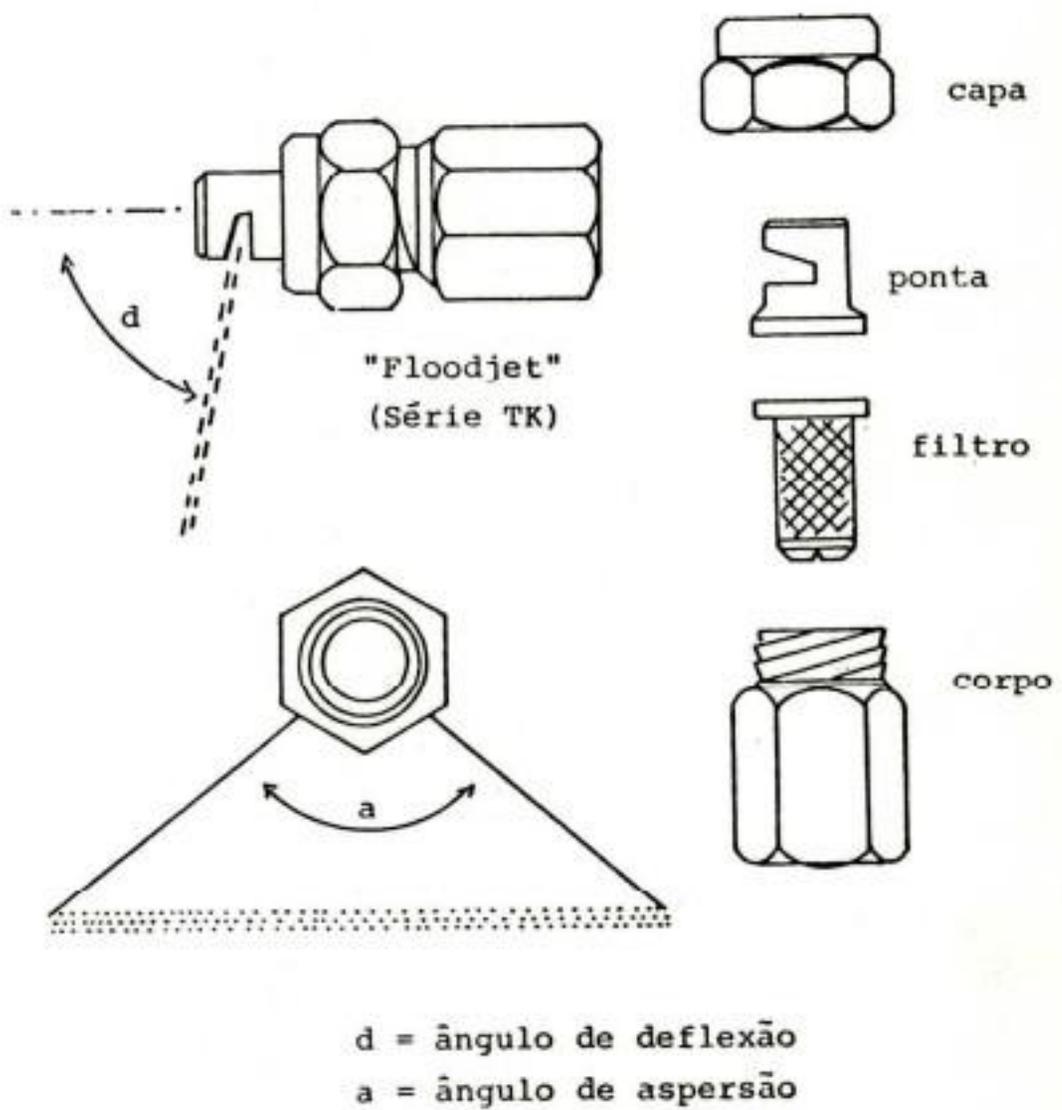


Figura 7. Bico de impacto.

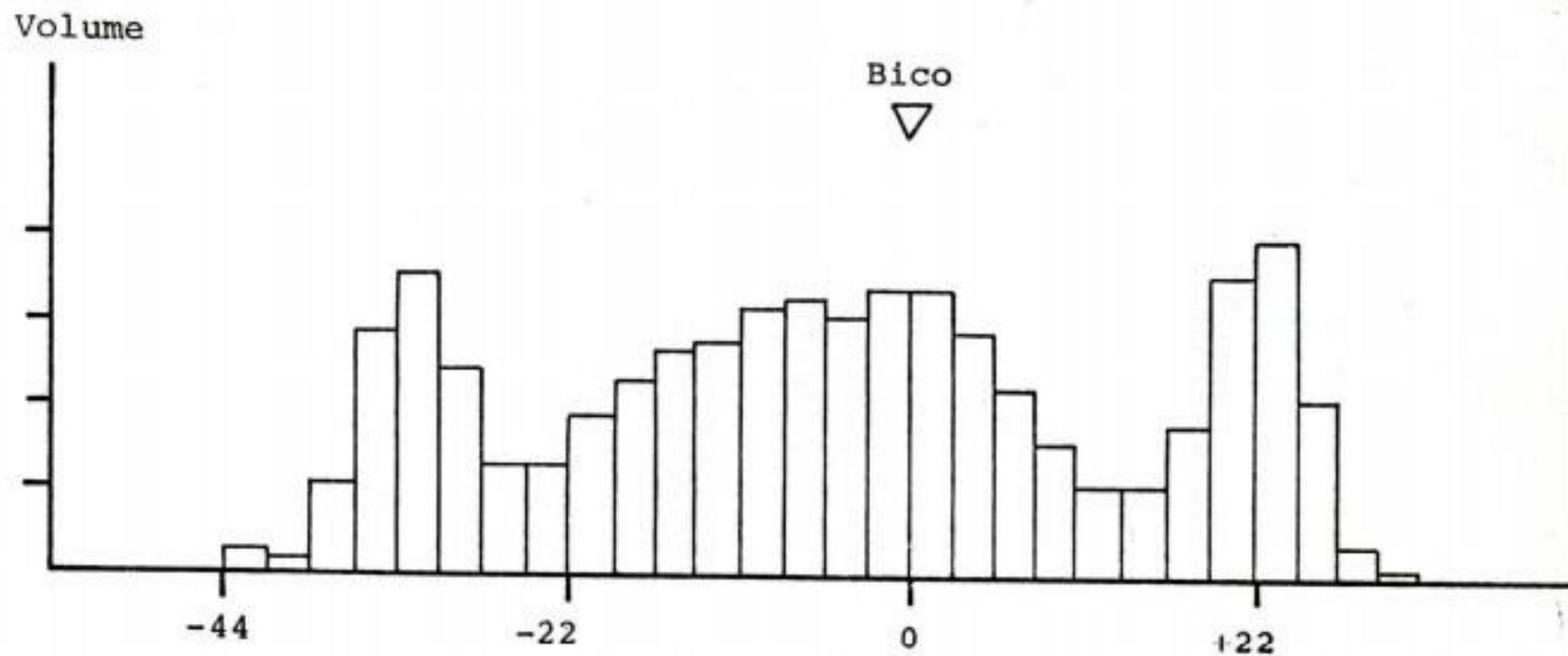


Figura 8. Padrão de deposição de bico de impacto TK-0,5 à pressão de 1 bar.

Quadro 10. Bicos Jacto - Indicação para os pulverizadores de barras com espaçamento entre bicos de 0,50m.

Bico (modelo)	Pressão		Vazão l/min	Velocidade do trator (km/h)				
	kg/cm <sup>2</sup>	lb/pol <sup>2</sup>		3	4	5	6	7
				Volume de pulverização (l/ha)				
JD 10-1	4,2	60	0,36	145	110	85	70	60
	5,3	75	0,40	160	120	95	80	70
	7,0	100	0,45	180	135	110	90	75
	10,5	150	0,55	220	165	135	110	95
JD 14-2	4,2	60	0,67	270	205	160	125	115
	5,3	75	0,75	300	225	180	150	130
	7,0	100	0,90	360	270	215	180	155
	10,5	150	1,70	430	320	355	215	185
JA-2 Duracone	10,5	150	0,95	380	285	230	190	165
	14,0	200	1,10	440	330	265	220	190
	17,5	250	1,18	470	355	385	235	200
	21,0	300	1,35	540	405	325	270	230
APT Lilás Albuz	7,0	100	0,42	170	125	100	85	70
	10,5	150	0,52	210	155	125	105	90
	14,0	200	0,62	250	185	150	125	105
	17,5	250	0,68	270	205	165	135	115

## *FloodJet* PONTAS E BICOS

As pontas e bicos Floodjet produzem um leque plano de ângulo largo por meio de deflector



de transpasse em cada extremo do leque



**TK-SS  
PONTA FLOODJET**



**BICO FLOODJET  
1/8 K-SS**

	TIPO		Líquido Pressão kg/cm <sup>2</sup>	Capa- cidade lit/min
	FloodJet PONTA Nº	FloodJet BICO Nº		
<i>FloodJet</i> PONTA/BICO MATERIAIS	TK-SS1 (100 Malhas)	1/8K-SS1	1,0	0,46
			1,5	0,56
			2,0	0,64
	TK-SS1.5 (50 Malhas)	1/8K-SS1.5	1,0	0,68
			1,5	0,84
			2,0	0,96
	TK-SS2 (50 Malhas)	1/8K-SS2	1,0	0,91
			1,5	1,11
			2,0	1,28
	TK-SS2.5 (50 Malhas)	1/8K-SS2.5	1,0	1,14
1,5			1,39	
2,0			1,60	
TK-SS3 (100 Malhas)	1/8K-SS3	1,0	1,36	
		1,5	1,67	
		2,0	1,92	
TK-SS4	1/8K-SS4	1,0	1,81	
		1,5	2,22	
		2,0	2,56	
TK-SS5	1/8K-SS5	1,0	2,27	
		1,5	2,77	
		2,0	3,20	
AÇO INOX	TK-SS7.5	1/8K-SS7.5	1,0	3,40
			1,5	4,16
			2,0	4,80
LATÃO	TK-SS10	1/8K-SS10	1,0	4,53
			1,5	5,55
			2,0	6,40

Quadro 11. Vazão de bicos de impacto da "Spraying Systems".

o TK-1, a malha deve ser mais fina (malha 100) enquanto para os de orifício maior a malha deve ser mais aberta (malha 50). Acima de TK-3, dispensa-se o filtro. Existem outros bicos de impacto no mercado que, em linhas gerais, segue as recomendações aqui apresentadas. Cada fabricante está apta a fornecer os dados referentes a seus bicos.

c) **Bicos Leque** - Os bicos leque produzem jato em um sô plano e o seu uso é indicado para alvos planos, como solo e parede. Como a maioria dos herbicidas é aplicada à superfície do solo, ficou arraigada a crença de que bico leque é bico para se aplicar herbicidas. Entretanto, o bico leque é também indicado para aplicar inseticidas e fungicidas ao solo (e parede, no caso de programas de saúde Pública), pois a escolha do bico é em função do alvo (tal como o caçador escolhe a arma em função da caça).

Os bicos leque podem ser de deposição contínua quando a distribuição do líquido na faixa de deposição é uniforme (Figura 5, bico 8002E) e pode ser de deposição descontínua, quando a deposição é maior no centro da faixa, decrescendo simetricamente para os bordos (Figura 5, bico 8002 e bico 11002). Na Figura 9 são apresentados os padrões de deposição dos dois tipos de bicos leque, obtido em bancada de prova.

O bico de deposição contínua, conhecido como bico "Even" é indicado para aplicações em faixa, sem haver superposição com bicos vizinhos. O bico de deposição descontínua é recomendado para ser usado em série, montado em barra, sobrepondo-se o jato com os bicos vizinhos.

Na Figura 10 é mostrado o esquema de bico leque da série Teejet. Nesta série, a numeração obedece à seguinte notação: os primeiros dois (ou três) algarismos indicam o ângulo de abertura do jato, à pressão de 40 psi. Os demais algarismos à direita indicam a vazão, em galão por minuto. Exemplificando: O nº 8002 (lê-se 80-02) indica que o bico, operado à pressão de 40 libras/pol<sup>2</sup>, produz jato com 80 graus de abertura e a sua vazão é de 0,2 galão/minuto. O nº 11004 (lê-se 110-04) indica bico que fornece 110 graus de abertura do jato e vazão de

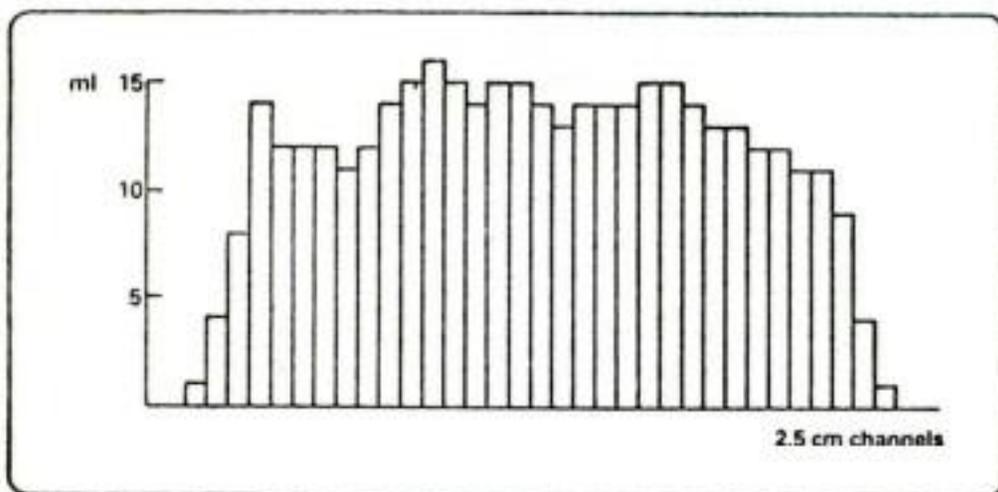
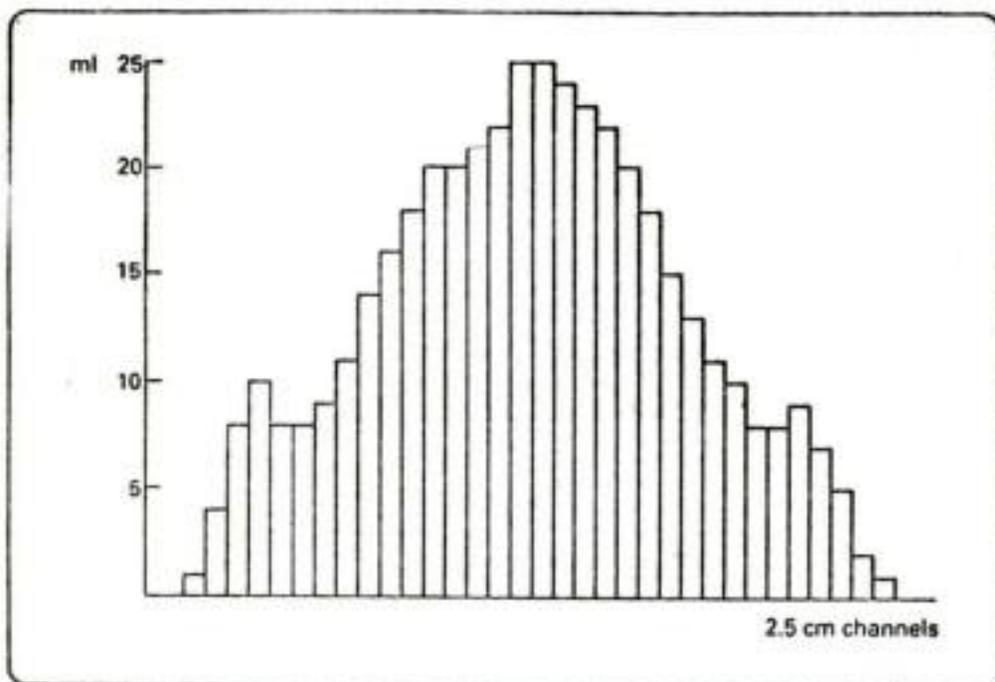


Figura 9. Padrão de deposição de bico leque de deposição descontínua (acima) e bico leque de deposição contínua "Even" (abaixo). Observe a maior concentração no centro (acima) e a formação de patamar (abaixo).  
 Fonte: MATTHEWS, 1979.

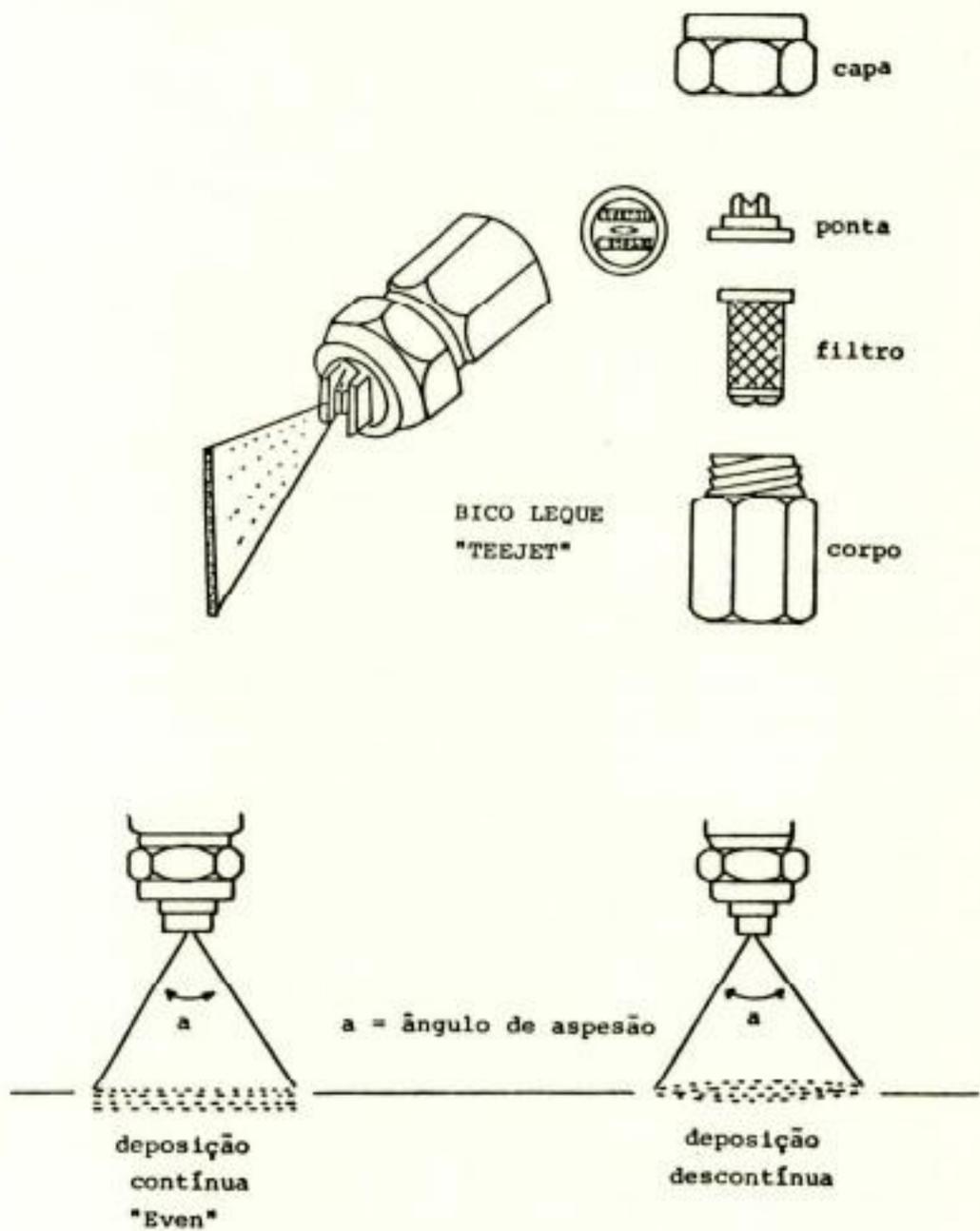


Figura 10. Bico leque, série Teejet.

0,4 galão/minuto, a 40 psi. Quando o bico é de deposição contínua (Even), acrescenta-se a letra E após o número: 8003E.

Os ângulos mais comuns são de 65, 80 e 110 graus e as vazões, de 0,2; 0,3 e 0,4 galão/minuto. Os bicos "Even" são raramente usados no Brasil.

Em relação ao material, os bicos da série Teejet podem ser confeccionados em bronze ou em aço inox (SS) tendo ainda versão codificada em cores (Quadro 11).

Os bicos da marca Albus (Jacto APG) são fabricados com material de altíssima dureza (conhecidos como bicos de cerâmica) e revestido de plástico colorido. A sua identificação é feita através da cor (Quadro 12).

d) **Outros bicos hidráulicos** - Existem outros tipos de bicos hidráulicos projetados para fins específicos.

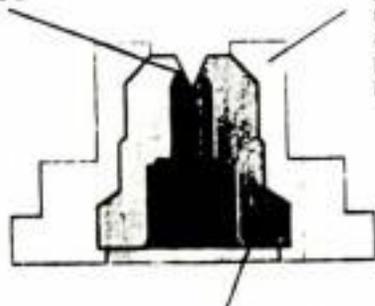
Um desses bicos, de grande interesse, é o bico Rain drop (Figura 12) desenhado com a finalidade de eliminar as gotas pequenas que se formam em bicos convencionais. A particularidade do bico Raindrop é que a capa apresenta uma segunda câmara, onde as gotas formadas se chocam e aprisionam as gotas menores. Após passar por essa câmara, o jato emerge em formato cônico. Entretanto, neste cone, as gotas saem em trajetória retilínea, ao contrário dos cones convencionais, onde as gotas estão na trajetória helicoidal. O bico Raindrop, portanto, é indicado para alvos planos, apesar de ser um bico cônico.

A eficiência deste bico em eliminar gotas pequenas (menores que 100 micra, sujeitas à deriva) pode ser constatada no Quadro 13. Além disso, este bico produz gotas maiores e com isso o problema da deriva é acentuadamente minimizado.

O bico Raindrop tem sido utilizado em condições onde haja necessidade de um rígido controle da deriva, como nos casos de aplicação de herbicidas hormonais.

## SÉRIE 80 E 110°

Orifício de aço  
mais resistente a  
danos quando  
em limpeza



Corpo  
plástico  
resistente a  
ataque químico,  
permite vedação  
perfeita.

Inserto de aço inox tratado, proporcionando  
resistência à corrosão e ao desgaste

- Cada ponta é usinada em aço inox com precisão para oferecer a vazão especificada e distribuição perfeita.
- O corpo da ponta é codificado em cores para fácil identificação da vazão da ponta montada na barra.
- Pontas Visiflo® TeeJet podem ser usadas com o Sistema Quick Tee-Jet como também com qualquer corpo de bico em uso nas barras de pulverização.

Laranja  
8001S/11001S



Verde  
8001SS/11001SS



Amarelo  
8002S/11002S



Azul  
8003S/11003S



Vermelho  
8004S/11004S



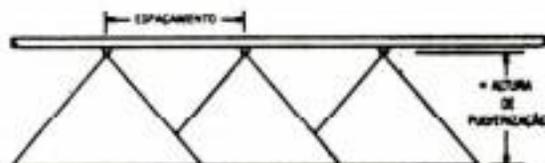
Marron  
8005S/11005S



Cinza  
8006S/11006S



Branco  
8008S/11008S



\* Ajuste as alturas de pulverização de modo que os leques tenham uma superposição de aproximadamente 30%.

Continua

-Continuação

COR	PONTA N°		Pressão Líquida kg/cm²	Capacidade 1 Ponta em litros	LITROS POR HECTARE - 50 CM DE SEPARAÇÃO								LITROS POR HECTARE - 75 CM DE SEPARAÇÃO							
	Filtro Mesh				8	9	10	12	14	16	18	8	9	10	12	14	16	18		
	88"	118"			l/ha	l/ha	l/ha	l/ha	l/ha	l/ha	l/ha	l/ha	l/ha	l/ha	l/ha	l/ha	l/ha	l/ha		
LARANJA	80015 (malha 100)	110015 (malha 100)	2,5	0,36	71	53	43	36	31	27	24	48	36	29	24	20	17,9	45,0		
			3,0	0,40	78	59	47	39	33	29	26	52	39	31	26	22	19,6	17,4		
			3,5	0,43	84	63	51	42	36	32	28	58	42	34	28	24	21	18,8		
			4,0	0,46	90	68	54	45	39	34	30	60	45	36	30	26	23	20		
VERDE	800155 (malha 100)	1100155 (malha 100)	2,5	0,54	107	80	64	53	46	40	36	71	53	43	36	31	27	24		
			3,0	0,59	117	88	70	59	50	44	39	78	59	47	39	33	29	26		
			3,5	0,64	127	95	78	63	54	47	42	84	63	51	42	36	32	28		
			4,0	0,68	136	101	81	68	58	51	45	90	68	54	45	39	34	30		
AMARELO	80025 (malha 50)	110025 (malha 50)	2,5	0,72	143	107	86	71	61	54	48	95	71	57	48	41	36	32		
			3,0	0,79	156	117	94	78	67	59	52	104	78	63	52	45	39	35		
			3,5	0,85	169	127	101	84	72	63	56	113	84	68	56	48	42	38		
			4,0	0,91	181	135	108	90	77	68	60	120	90	72	60	52	45	40		
AZUL	80035 (malha 50)	110035 (malha 50)	2,5	1,08	210	161	128	107	92	80	71	143	107	86	71	61	54	48		
			3,0	1,16	230	178	141	117	101	88	78	156	117	94	78	67	59	52		
			3,5	1,27	250	190	152	127	109	95	84	169	127	101	84	72	63	56		
			4,0	1,38	270	200	163	138	118	102	90	181	135	108	90	77	68	60		
VERMELHO	80046 (malha 50)	110046 (malha 50)	2,5	1,43	290	210	171	143	122	107	95	190	143	114	95	82	71	63		
			3,0	1,57	310	230	188	156	134	117	104	210	156	125	104	89	78	70		
			3,5	1,69	340	250	200	169	145	127	113	230	169	135	113	97	84	75		
			4,0	1,81	380	270	220	181	155	135	120	240	181	145	120	103	90	80		
MARROM	80055 (malha 50)	110055 (malha 50)	2,5	1,79	360	270	210	178	153	134	119	107	89	240	178	143	119	102		
			3,0	1,96	390	290	230	195	168	147	130	117	98	260	195	156	130	112		
			3,5	2,12	420	320	250	210	181	158	141	127	106	280	210	169	141	121		
			4,0	2,26	450	340	270	230	193	169	150	135	113	300	230	181	150	129		
CINZA	80065 (malha 50)	110065 (malha 50)	2,5	2,15	430	320	260	210	184	161	143	290	210	171	143	122	107	95		
			3,0	2,35	470	350	280	230	200	176	156	310	230	188	156	134	117	104		
			3,5	2,54	510	380	300	250	220	190	169	340	250	200	169	145	127	113		
			4,0	2,71	540	410	330	270	230	200	181	360	270	220	181	156	135	120		
BRANCO	80065 (malha 50)	110065 (malha 50)	2,5	2,86	570	430	340	290	240	210	190	380	290	230	190	163	143	127		
			3,0	3,13	630	470	380	310	270	230	210	420	310	250	210	179	156	139		
			3,5	3,38	680	510	410	340	290	250	230	450	340	270	230	193	169	150		
			4,0	3,62	720	540	430	360	310	270	240	480	360	290	240	210	181	161		

Quadro 13. Indicação para os pulverizadores de barras (distância entre bicos na barra: 0,50 m). Bicos Jacto - Série APG (Albuz).

Bico	Referência Cor	Pressão do líquido		Vazão l/min	Velocidade do Trator (km/h)			
		kg/cm <sup>2</sup>	lb/pol <sup>2</sup>		3	4	5	6
					Vol. de Pulverização (l/ha)			
APG 110 J	Amarelo	2,1	30	0,49	200	150	120	100
		3,2	45	0,60	240	180	145	120
		4,2	60	0,70	280	210	170	140
APG 110 O	Laranja	2,1	30	0,70	280	210	170	140
		3,2	45	0,85	340	260	205	170
		4,2	60	0,99	395	295	240	200
APG 110 R	Vermelho	2,1	30	0,99	395	295	240	200
		3,2	45	1,21	485	365	290	240
		4,2	60	1,40	560	420	335	280
APG 110 V	Verde	2,1	30	1,40	560	420	335	280
		3,2	45	1,71	685	515	410	340
		4,2	60	1,98	790	595	475	395

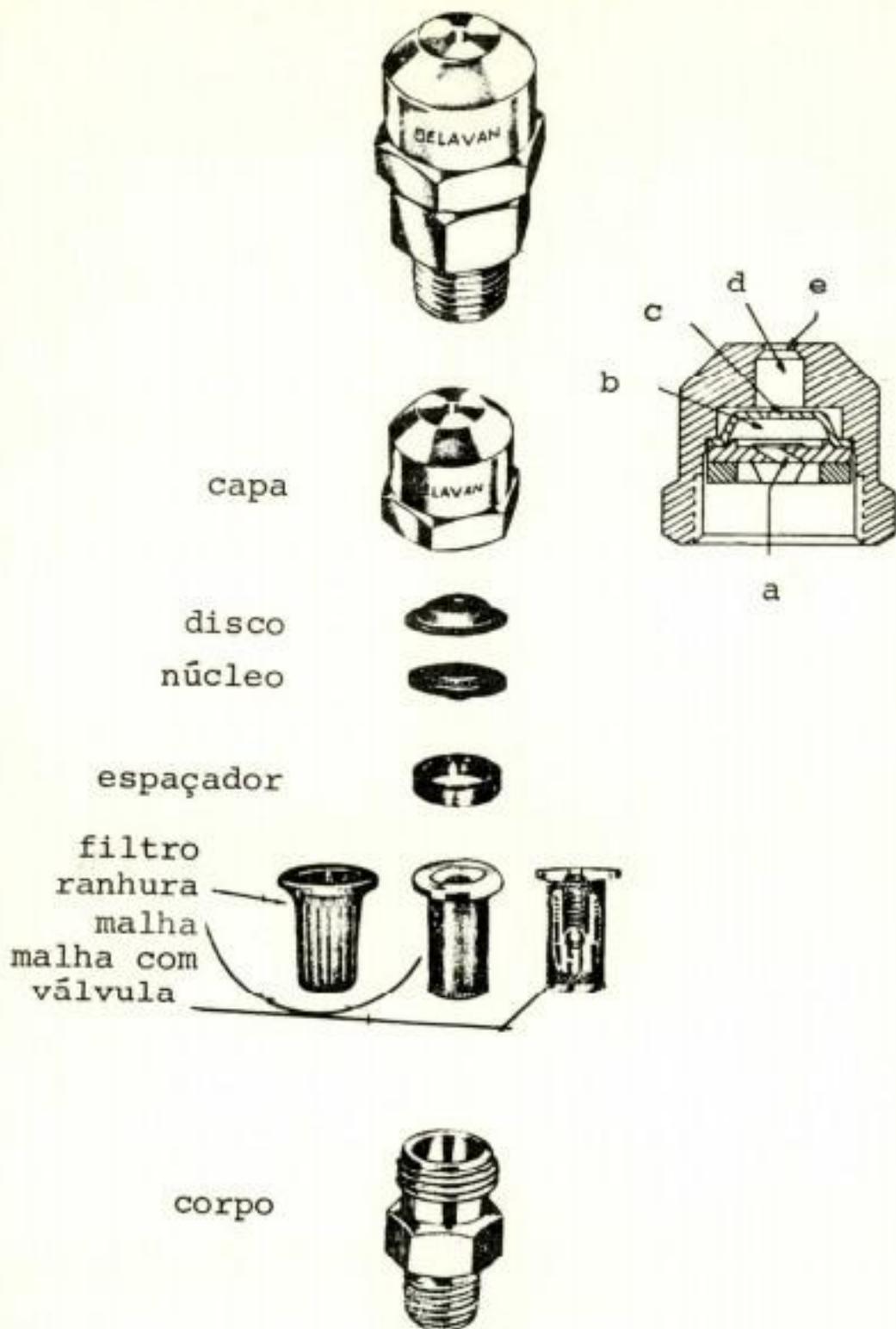


Figura 12. Bico Raindrop.  
 No detalhe: a - núcleo; b - câmara primária;  
 c - orifício primário; d - câmara secundária;  
 e - orifício secundário.  
 Fonte: DELAVAN.

Quadro 14. Tamanho de gotas e proporção de gotas sujeitas à deriva, de diversos bicos da marca Delavan.

Bico		Pressão (psi)	Vazão (gal./min.)	Vmd ( $\mu\text{m}$ )	% de vol. abaixo de 100 $\mu\text{m}$
Impacto	D-1,5	40	0,30	210	13,0
	D-2,5	14	0,30	306	8,7
Leque	LF-3	300	0,82	116	38,7
	LF-3	40	0,30	202	15,5
	LF-5	14	0,30	295	9,0
Cone	DC4-25	300	0,75	105	46,2
	DC4-25	40	0,29	195	15,9
	DC5-45	14	0,27	283	10,4
Raindrop	RD-2	300	0,75	163	18,5
	RD-2	40	0,29	410	0,8
	RD-7	40	0,84	865	0,4
	RD-9	40	1,36	1200	0,3

Fonte: Delavan Co.

Outro bico, cujo uso específico é de grande utilidade é o bico destinado a promover a mistura de ar e líquido e propiciar a formação de espuma. Esses bicos espumantes são empregados na ponta da barra para marcar o fim da faixa com flocos de espuma. Essa técnica ainda não é utilizada no Brasil.

Na Figura 13 estão apresentados os padrões de deposições dos bicos mais comuns.

### 3.5.2. Bicos de energia gasosa

Quando um fluido é lançado em uma corrente de outro fluido com maior velocidade, ocorre a fragmentação do primeiro, mais lento. O primeiro fluido pode ser a calda do defensivo agrícola e o segundo, o ar.

O exemplo mais conhecido da aplicação deste princípio encontra-se na bomba de Flit, largamente empregado na aplicação de inseticidas domissanitários, no passado. Os equipamentos agrícolas que empregam este tipo de bico possuem um ventilador que gera uma forte corrente de ar dentro de um tubo, geralmente com velocidade superior a 100 km/h. Próximo à saída do tubo é lançado o líquido que, em contato com o ar à alta velocidade, é fragmentado em gotas e lançado sobre a área a ser tratada.

Um exemplo deste tipo de equipamento está esquematizado na Figura 14 e é conhecido como "atomizador" costal motorizado. Dentro do tubo de ar, a corrente à alta velocidade cria, por efeito Venturi, uma forte sucção, de tal modo que, mesmo que o nível do bico esteja acima do depósito, a calda ainda é "puxada" ao bico. O tamanho das gotas formadas é diretamente proporcional à vazão do líquido e inversamente à velocidade do ar.

### 3.9.3. Bicos de energia centrífuga

Molhando-se um disco que está girando, haverá formação de gotas na periferia do mesmo (Figura 15). Se o regime de molhamento do disco não for excessivo, as gotas que se formam apresentam um espectro bastante homogêneo.

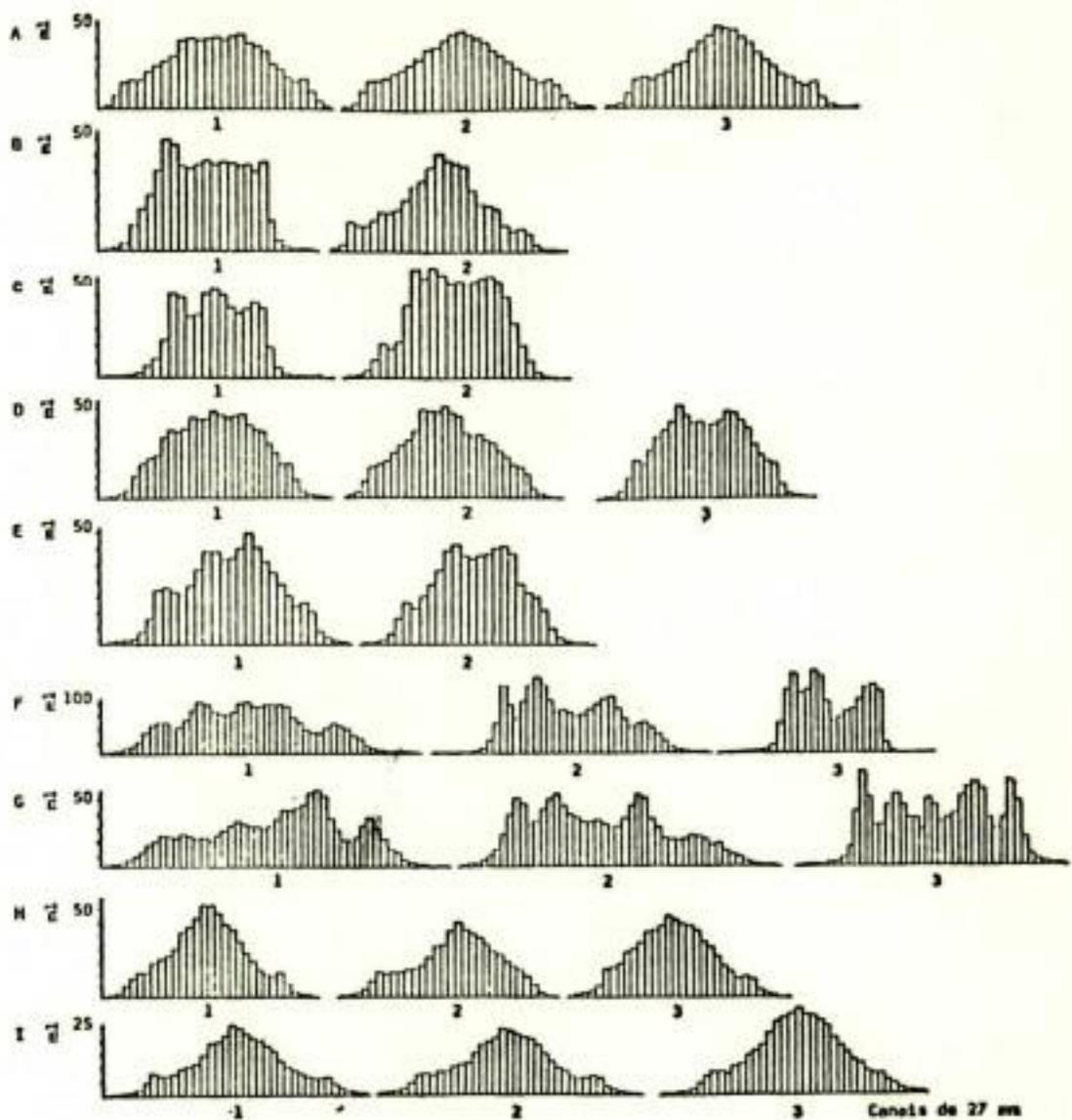


Figura 13. Padrão de deposição dos bicos: A = 8002 (Spray ing Systems); B = 80-02 (Hatsuta); C = 80 -03 (Hatsuta); D = 8004 (Sprayng Systems); E = 80 -06 (Hatsuta); F = Polijet azul (ICI); G = Po lijet vermelho (ICI); H = APG 110 vermelho (Al buz); I = APG 110 vermelho de (Albuz). Pres são: todos a 276 kN/m<sup>2</sup>. Altura da pulveriza ção: A a E = 40 cm; F e G = 20 cm; H e I = 28 cm. (Cont.)

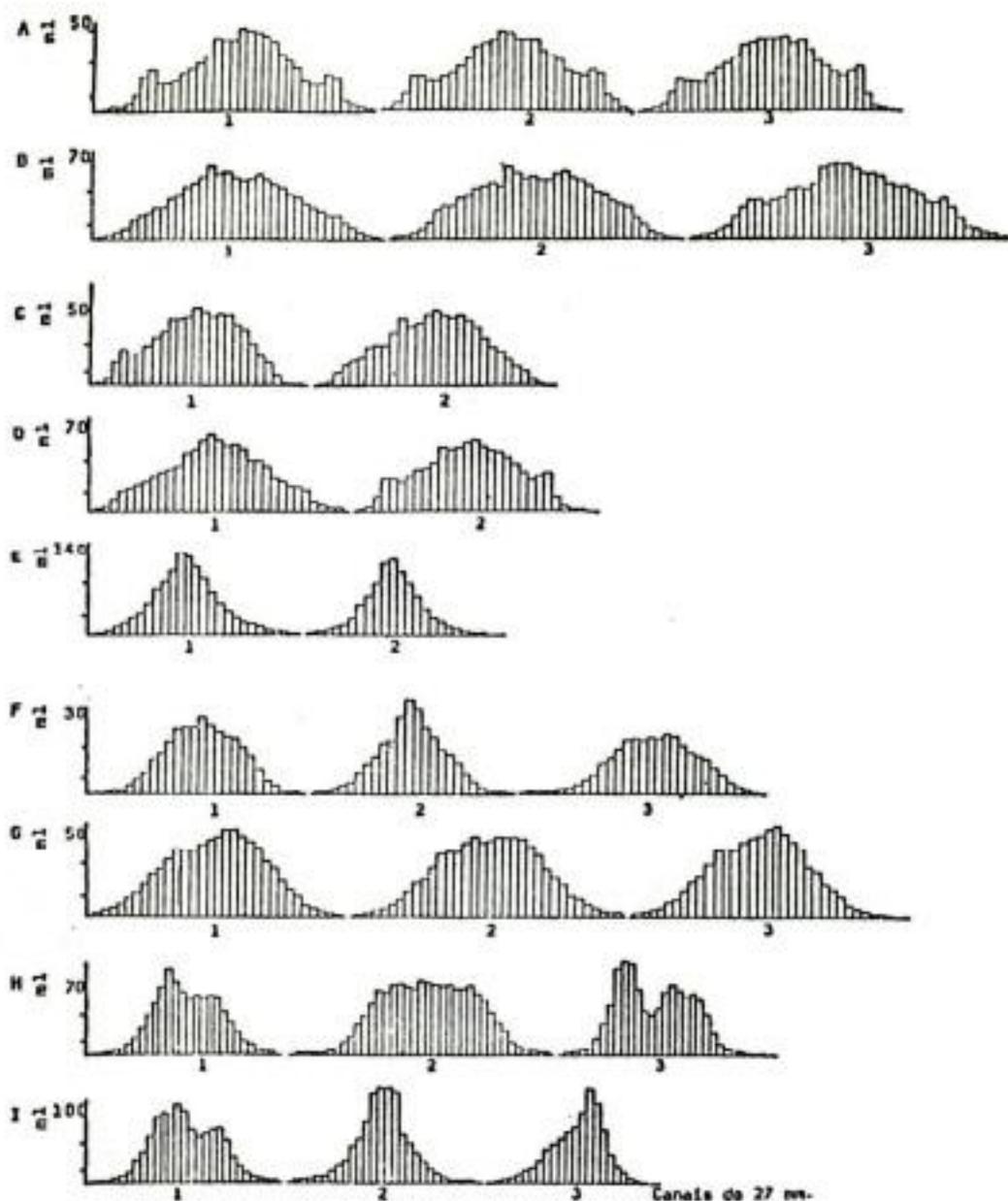


Figura 13. Padrão de deposição de Bicos: A = APG 110 laranja (Albuz); B = 11003 (Spraying Systems); C = 100-10 (Hatsuta), cerâmica; D=100-5 (Hatsuta, cerâmica); E = X3 (Hatsuta); F=X4 (Spraying Systems); G = JD 14-1 (Jacto); H = JD14-2 (Jacto); I = JD 10-1 (Jacto). Altura. A e B = 28 cm; C = 31 cm; D, E, F e I = 50 cm; G e H = 39 cm. Pressão: todos a 276 kN/m<sup>2</sup>. Fonte: GALLI *et alii* (1983).

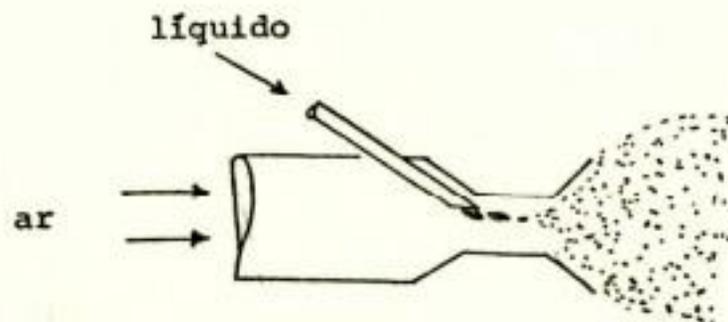
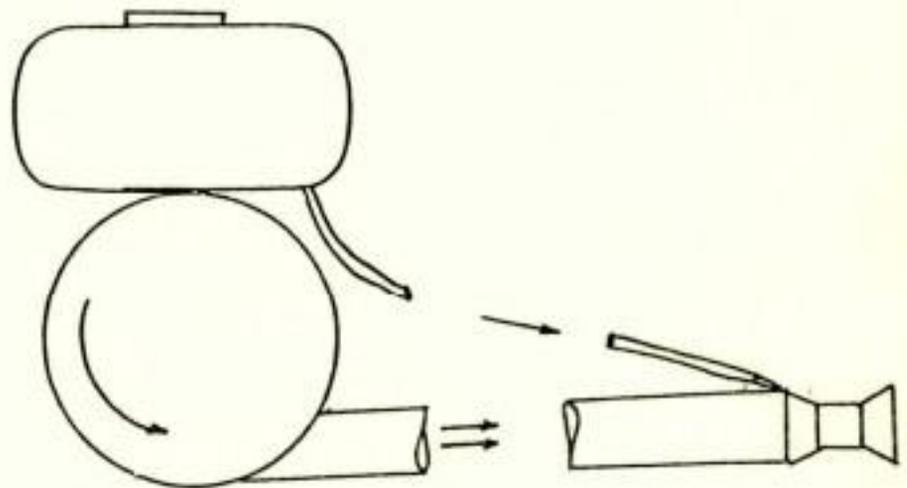
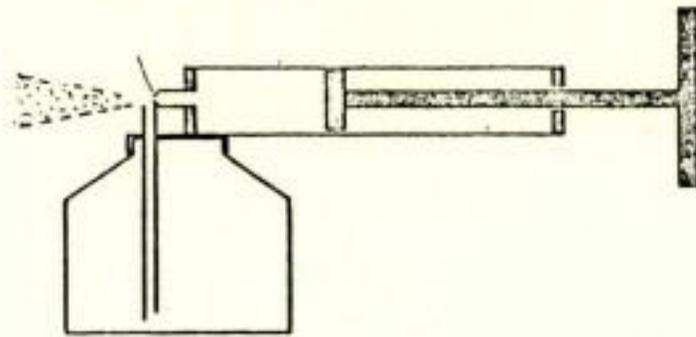


Figura 14. Acima: Bomba de Flit.  
 No meio: "Atomizador" costal motorizado.  
 Abaixo: Detalhe do bico de energia gasosa.

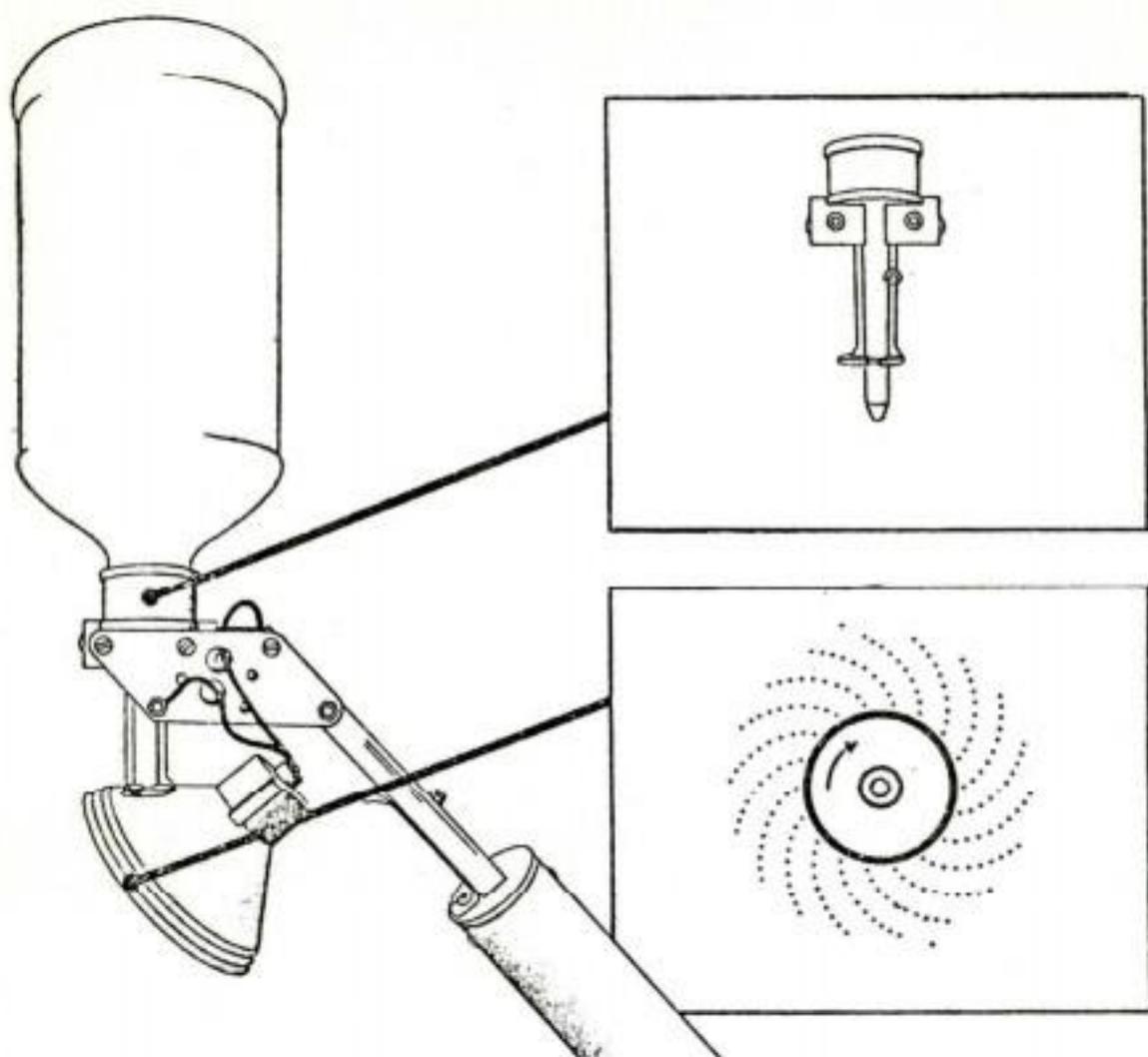


Figura 15. Bico rotativo ULVA.

FRASER *et alii* (1963) descreveram tres regimes de formação de gotas em discos rotativos, ilustradas na Figura 16. Molhando-se o disco com pouco líquido, há formação de gotas diretamente nos bordos. Aumentando-se mais a quantidade do líquido, há formação de filetes líquidos nos bordos, de cujas extremidades se formam as gotas. Molhando-se ainda mais o disco, isto é, encharcando-o, há formação de lâmina líquida e a desintegração da mesma, formando-se as gotas. Esses três regimes são conhecidos respectivamente por regime de formação direta de gotas, formação de ligamentos e formação de lâmina, sendo

que neste último, o processo de geração de gotas é o mesmo dos bicos hidráulicos. As gotas formadas nos regimes de formação direta ou através de ligamentos são uniformes.

Entretanto, mesmo nestes regimes, existem sempre as gotas satélites que são geradas juntamente com as gotas principais (DOMBROWSKI & LLOYD, 1974).

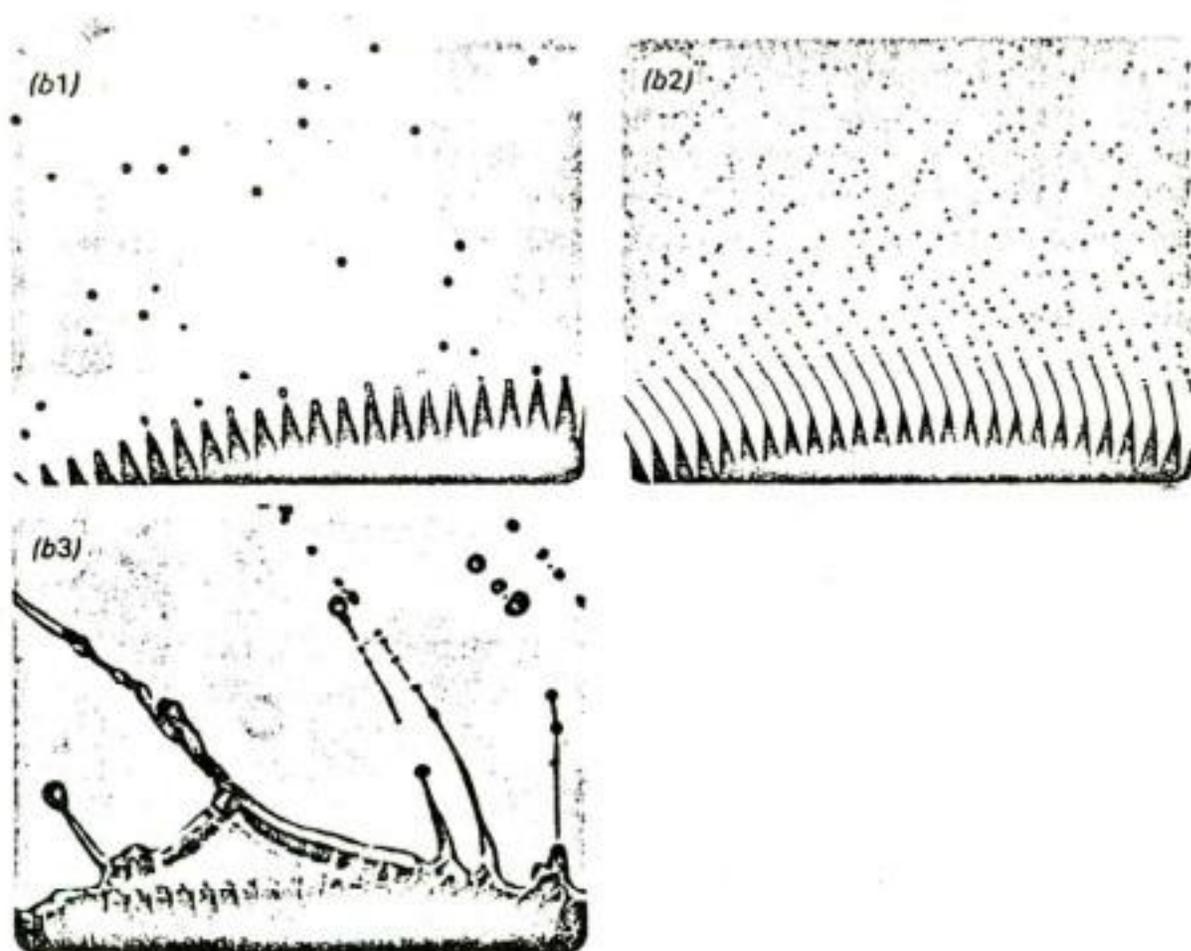


Figura 16. Processo de formação de gotas em bicos centrífugos:  $b_1$  - regime de formação direta de gotas (Herbi, 2000 rpm, 60 ml/min.);  $b_2$  - regime de formação de ligamentos (2500 rpm, 100ml/min);  $b_3$  - regime de formação de lâmina (1000 rpm, 800 ml/min). Foto: MICRON SPRAYER LTD.

O diâmetro de gotas formadas pode ser previsto pela equação de WALTON & PREWETT (1949):

$$d = K \frac{1}{w} \sqrt{\frac{\gamma}{D\rho}}$$

onde:

- d = diâmetro da gota ( $\mu\text{m}$ )
- w = velocidade angular (rad/s)
- D = diâmetro do disco
- $\gamma$  = tensão superficial do líquido (mN/m)
- $\rho$  = densidade do líquido ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
- K = constante (geralmente 3,76)

Como, num dado momento, todos os parâmetros podem ser mantidos constantes, o diâmetro das gotas formadas pode ser entendido como:

$$d = \frac{\text{constante}}{\text{rpm}}$$

Em termos gerais, a constante é cerca de 500.000 (MATTHEWS, 1979), porém para cada líquido e cada disco existe um número próprio.

No regime de trabalho adequado, os discos rotativos produzem gotas cuja uniformidade atende a uma das condições para ser enquadrado como CDA (controlled drop application), com coeficiente de dispersão menor que 1,4. Entretanto, se a vazão for excessiva essa uniformidade não será atingida.

Existem discos rotativos com bordos lisos ou com bordos denteados (BALS, 1970), estes últimos, patentes da companhia Micron. Nos discos ULVA existem 360 dentes e nos Micromax, 180.

Os bicos centrífugos podem ser discos, copos, gaiolas ou escovas rotativas. Alguns dos bicos mais conhecidos são: ULVA, HERBI, MICROMAX, MICRONAIR etc. (Figura 17).

Os bicos centrífugos podem ser também instalados dentro de uma corrente de ar bem como podem ser constituí

## Bico Atomizador

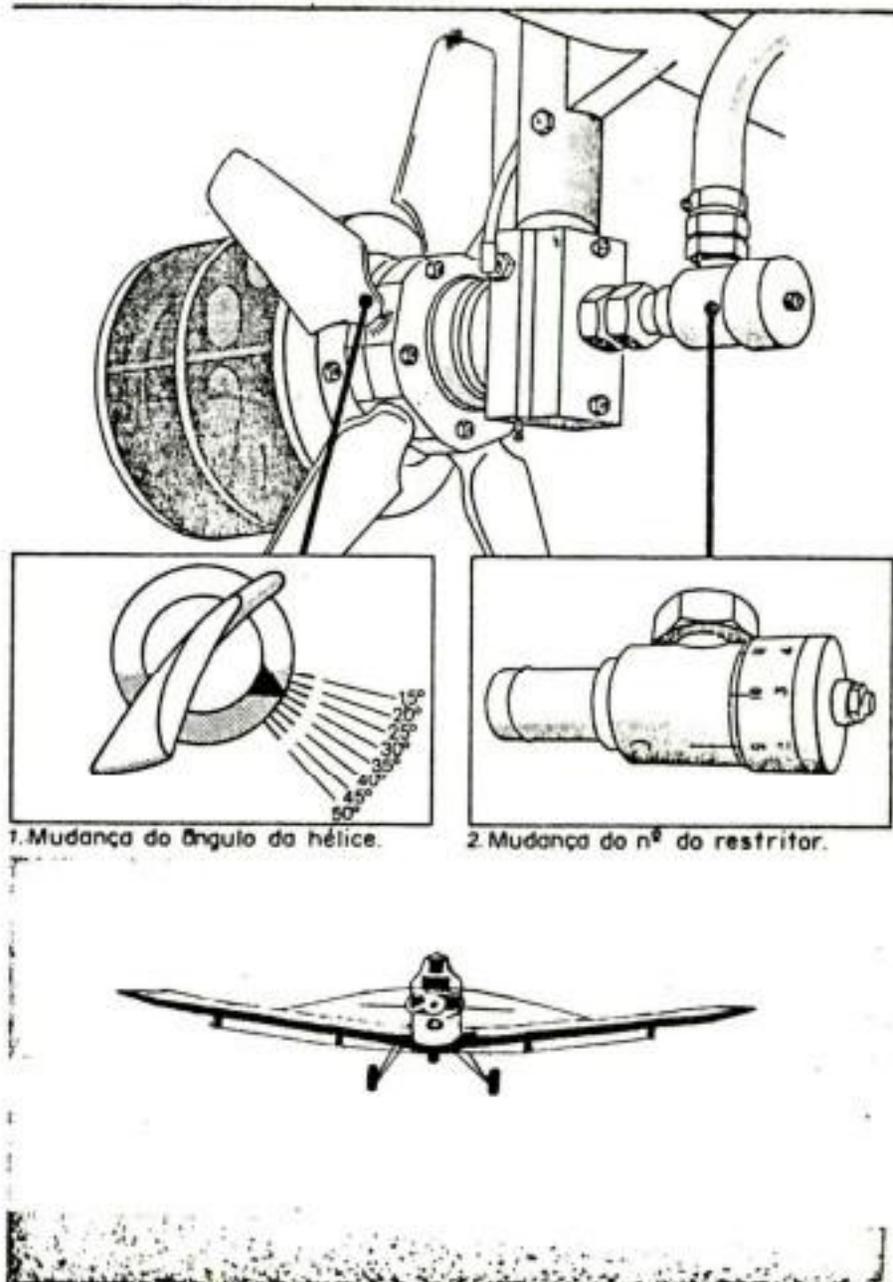


Figura 17. Bico centrífugo (gaiola rotativa) Micronair para uso em aeronaves. Mudando-se o ângulo da hélice, muda-se a rotação. Em detalhe, à direita, o VRU, unidade de restrição variável que regula a vazão.

dos por discos múltiplos. Exemplos desses bicos são o bico TURBINA J-80 e MULTIDISCO, da Jacto.

Distinguem-se duas formas de aplicação com bicos rotativos. A primeira é a utilização de alta rotação para produzir gotas pequenas que são lançadas sobre a área tratada (conhecida como "drift spray"). A segunda é a utilização de gotas maiores, cerca de 250 micra, para aplicação sem deriva (conhecida como "placed spray").

A utilização de discos ou copos de maior diâmetro, com baixa rotação, produzindo gotas de 250 micra, para aplicação de herbicidas foi testada a partir de 1975 pela equipe de FRYER, na Inglaterra (LUSH, 1978) e se popularizou no início da década de 1980. A sua expansão foi tal, que o leigo, quando se fala em CDA pensa tratar-se de aplicação de herbicida com o disco rotativo. Isso não é correto.

O padrão de deposição dos bicos rotativos é bastante típico, com dois picos (Figura 18). Na utilização desses bicos é imprescindível conhecer o seu padrão de deposição para se efetuar a correta sobreposição das faixas, isto é, estabelecer-se a correta distância entre bicos ou espaçamento entre as diversas passadas de um bico. O desconhecimento dessas características fatalmente leva a insucesso da aplicação. Para cada condição de líquido e sua vazão, existe uma curva própria de deposição, que deve ser determinada experimentalmente.

No Brasil, a introdução desses bicos no mercado foi feita por volta de 1983 porém a sua aceitação está sendo mais difícil que o esperado.

#### 3.9.4. Bicos de energia cinética

Filamento de líquido se forma quando este atravessa um pequeno furo. Por exemplo, colocando-se água num recipiente que tenha furo no fundo, a água escoará na forma de filamento. Se oscilar esse recipiente com uma determinada frequência, o filamento se romperá e formará gotas grandes. Este mecanismo é empregado em bicos de

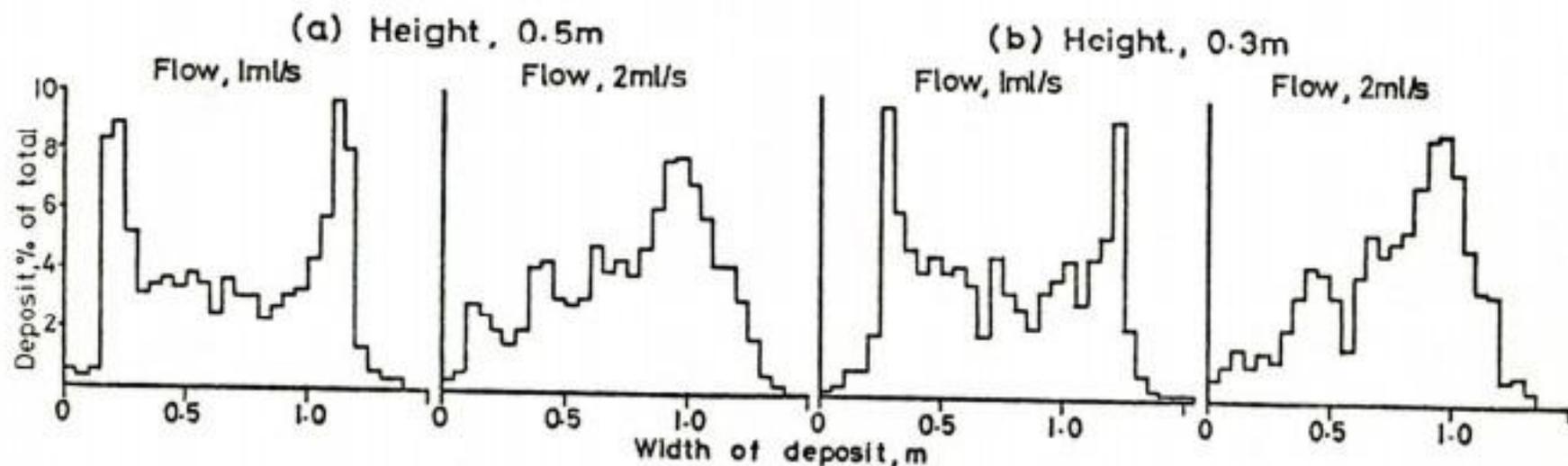


Figura 18. Padrão de deposição do bico rotativo Herbi. Observe na série acima, na vazão de 1 ml/seg. a deposição é simétrica, com dois picos. Com vazão maior, a deposição é assimétrica, concentrada para o lado direito. Fonte: LAKE et alii, 1976.

energia cinética. O interessante neste processo é que não há formação de gotas satélites.

Um exemplo de bico de energia cinética é o bico Vibrajét. O líquido enviado pela bomba do pulverizador chega ao bico que contém vários furos e formam-se os filetes. No bico está acoplado um vibrador elétrico, acionado pela bateria do trator e provoca vibração (58 Hertz) na peça que contém os furos. Acontece, assim, a formação de gotas bastante grandes (maiores que 500 micra), sem gotas satélites, e sem problema de deriva (Figura 19).

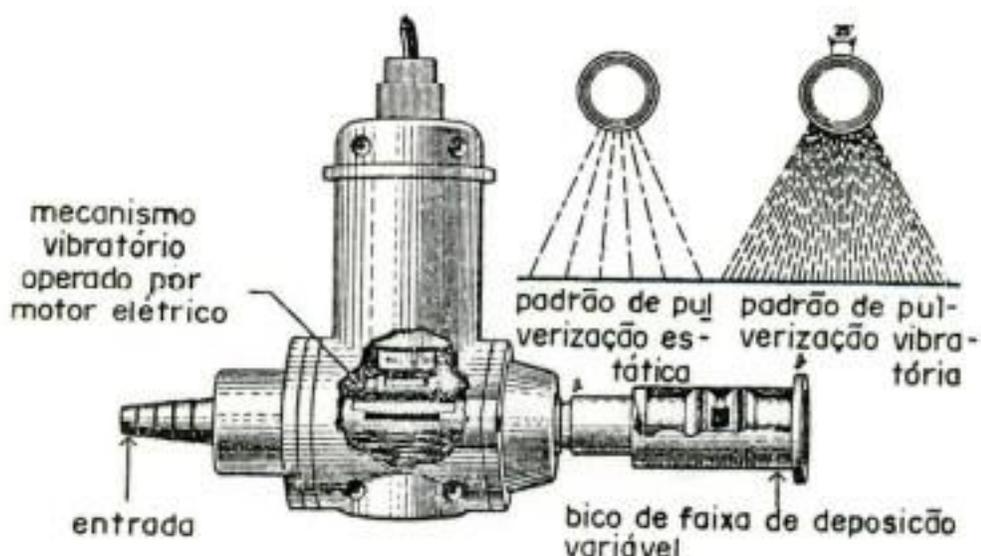


Figura 19. Bico de energia cinética (Vibrajét).  
Desenho: ICI.

No Brasil ainda não foi tentada a introdução desses bicos.

### 3.9.5. Bicos de energia térmica

Neste tipo de bico, a expansão de líquido oleoso provocada pelo calor, forma as gotas, que resultam em partículas pequenas (menores que 30 micra).

O esquema geral do bico é semelhante ao diagrama

mostrado na Figura 17, com a diferença de que ao invés da corrente de ar, o fluido de arrasto é um gás quente, proveniente de escape de motor (convencional ou de um pequeno motor pulso-jato) ou de outros meios (queima de gás). Os equipamentos que utilizam este tipo de bico são conhecidos como nebulizadores e se empregam para tratamento de ambientes fechados (armazéns) e em condições onde a nuvem de gotas possa ser contida por algum tempo (seringa). Os nebulizadores também são frequentemente empregados em Saúde Pública, no combate a pernilongos, visto que, essas pequenas gotas ficam flutuantes e são eficientemente coletadas pelas asas em movimento.

### 3.1.6. Bicos de energia elétrica

A energia elétrica tem sido empregada para produzir gotas eletricamente carregadas e controlar a sua trajetória e deposição no alvo. Para carregar as gotas eletricamente existem duas alternativas: carregar gotas já formadas ou formar as gotas através do processo eletrohidrodinâmico no qual as gotas já se formam com carga (COFFEE, 1979).

No processo eletrohidrodinâmico, líquido de baixa condutividade elétrica escoava por uma estreita fresta. Neste ponto é aplicado uma corrente contínua de alta voltagem, cerca de 20.000 Volts (Figura 20). O líquido, pela ação da alta tensão e do intenso campo elétrico formado, emerge da fresta sob forma de ligamentos, que se rompem em pequenas gotas que são arremessadas em direção à terra (ou do objeto mais próximo). A carga da gota obedece ao limite de estabilidade de RAYLEIGH, estabelecido em 1879.

O pulverizador eletrodinâmico de COFFEE se acha na fase de introdução no mercado brasileiro, pela companhia ICI, com o nome de Electrodyn.

No Brasil, CHAIM (1984) desenvolveu um pulverizador eletrodinâmico, na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, em Jaboticabal, SP.

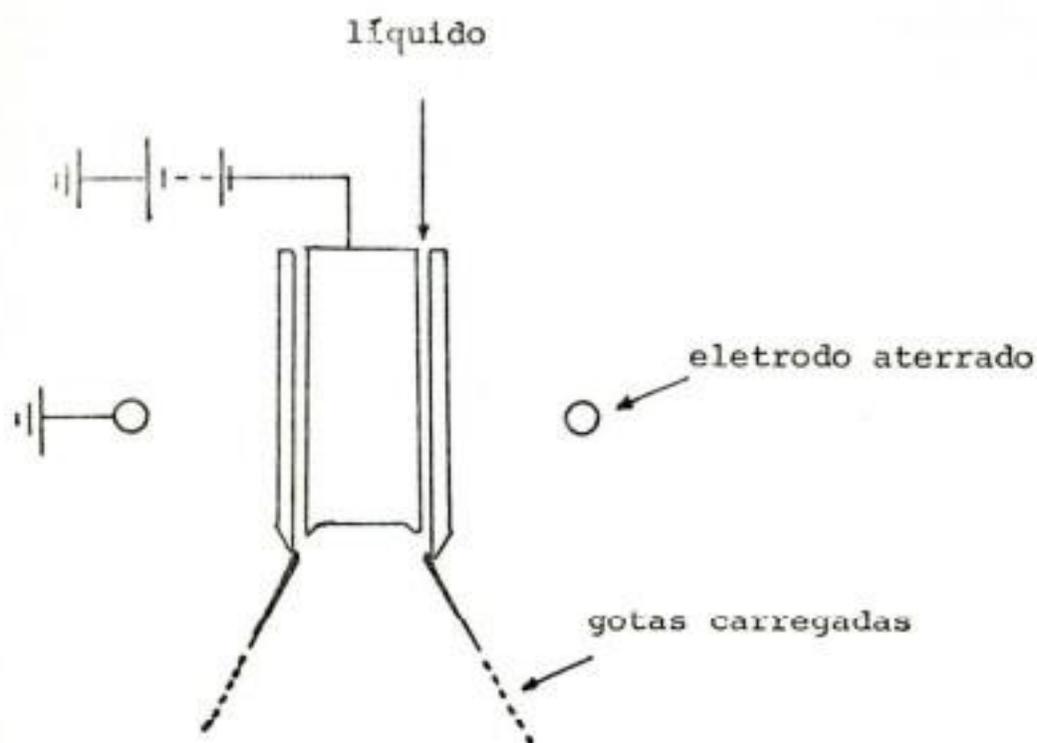


Figura 20. Bico eletrohidrodinâmico.  
Desenho: MARCHANT, 1980.

#### 4. CALIBRAÇÃO DE PULVERIZADORES DE BARRA

A calibração é fundamental para a correta aplicação de produtos químicos.

Uma vez acoplado o pulverizador e abastecido com água, deve-se verificar o funcionamento da máquina, se não há eventuais vazamentos e se os componentes estão funcionando a contento.

Equipar a barra com os bicos apropriados é um dos

pontos mais cruciais nesta fase. O pulverizador deve ser levado até o local de trabalho e várias opções de bicos devem ser testadas para se decidir por aqueles que melhor atenda aos requisitos do tratamento, isto é, o que melhor coloca o produto no alvo, sem perda por escoamento nem por deriva. Por razões de economia e rapidez, dentre esses requisitos não deve ser esquecido também o menor consumo de líquido por hectare. Deve-se ter em mente que não existe "a priori" a meta de se aplicar um determinado volume por hectare. Nada recomenda que uma determinada substância química deva ser aplicado a 50 ou 500 litros por hectare. O que importa é colocar o produto no alvo, sem desperdício e sem contaminação de áreas vizinhas. Se se consegue fazer isso, gastando-se 5 litros ou 500 litros vai depender do equipamento e da tecnologia disponível. Deve-se, pois, deixar claro: o volume aplicado por hectare é mera consequência e não é objetivo a ser alcançado. Portanto, não se calibra o equipamento para que ele aplique 400 litros por hectare. Calibra-se para que ele cumpra corretamente a sua função de colocar a quantidade correta do produto no alvo.

Feita a escolha do bico, o passo seguinte é ajustar a distância entre bicos e a altura de trabalho. Essas duas variáveis devem ser trabalhadas em conjunto, pois a variação da distância entre bicos afeta a altura de trabalho e vice-versa.

Tome-se como exemplo, uma calibração para aplicação de um adubo foliar em uma cultura do feijão (o alvo, neste caso, é o feijoeiro). A barra deve estar equipada com um bico de jato cônico. Suponha-se que a barra esteja equipada com bicos D2-25, equidistantes 60 cm entre si.

O primeiro passo é verificar a uniformidade na vazão de **todos** os bicos. Para tanto funciona-se o pulverizador e recolhe-se o líquido pulverizado por cada um dos bicos durante um minuto (para abreviar, pode ser 30 segundos), mede-se e verifica-se a moda (Moda é o número mais frequente no conjunto). Substituem-se os bicos cuja vazão foge muito da moda e equipa-se a barra toda com bicos, cuja vazão seja o mais homogêneo possível. Para

fins práticos, pode-se adotar um desvio de 10% entre a vazão máxima e mínima do conjunto.

Supondo-se os bicos distantes 60 cm entre si, deve-se procurar a altura de trabalho para que se consiga a melhor uniformidade nas linhas da cultura (porque neste exemplo o alvo é feijoeiro. Se o alvo fosse outro, o critério é, naturalmente, outro). Um dos instrumentos úteis para essa calibração é a bandeja de canaletas para a determinação da deposição (Aferidor de Pulverização\*) (Figura 22). Este instrumento é uma bandeja de 2,6 x 1,4 metros, montada sobre rodas, constituída de canaletas distanciadas de 5 cm entre si e cada canaleta ligada a um tubo coletor. Funcionando a barra à altura arbitrária coloca-se a bandeja debaixo da barra por alguns segundos (dependendo da vazão dos bicos, cerca de 20 segundos) e retira-se (tudo isso enquanto a barra estiver em funcionamento com água). Colocando-se a bandeja na posição vertical, a água coletada nas canaletas escorrerá para os respectivos tubos e o conjunto de tubos mostrará a curva de deposição. Fazem-se novas determinações variando-se a altura, até que se consiga uma curva satisfatória. Neste caso, de aplicação de fertilizante em cobertura total da planta, o que se objetiva é a formação de uma curva sobre as linhas, isto é, que haja a mesma quantidade do líquido em tubos correspondentes às linhas da cultura. Determina-se assim a altura correta de trabalho. A checagem com o emprego de aferidor de pulverização deve ser feita em todo o comprimento da barra.

A calibração consiste em se determinar o volume de calda que o pulverizador aplica por unidade de área ou por planta\*\*. No exemplo citado, o que se necessita saber é o volume de aplicação, em litros por hectare.

---

\* Fabricado pela K.O. Máquinas Agrícolas, Jaboticabal, SP.

\*\*Conhecido como volume de aplicação, expresso em L/ha. Difere da vazão que é expressa em volume/tempo (litro/min).

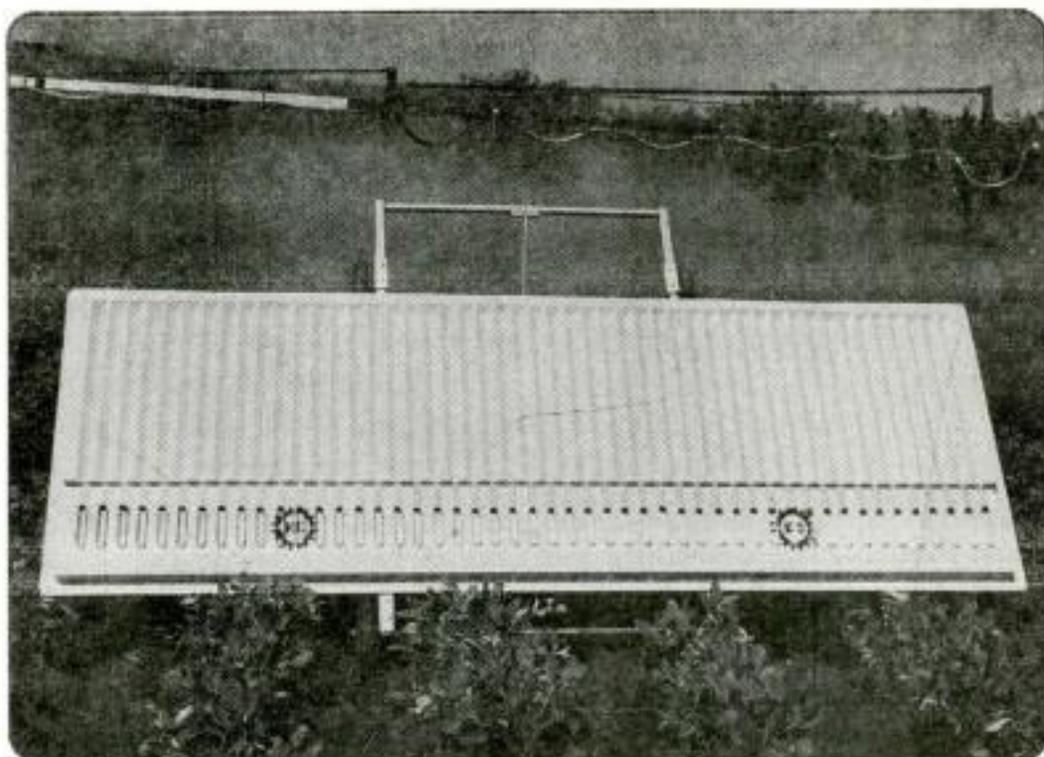


Figura 21 . Bandeja de canaletas para aferição do padrão de deposição (Aferidor de Pulverização).  
Foto: K.O. Máquinas Agrícolas.

Para se saber o volume de aplicação, existem vários procedimentos práticos.

Um desses procedimentos consiste na utilização de sacos plásticos calibradores que as empresas que comercializam os defensivos agrícolas distribuem entre os agricultores. As instruções se acham impressas nesses saquinhos e são bastante simples e práticas. Entretanto, esses instrumentos podem apresentar erros inaceitáveis (MATUO, 1985), portanto a sua utilização requer cautela. Para verificar se a gravação nesses saquinhos está correta, basta despejar 250 ml de água nele. O nível de água deve coincidir com a marca de 100 L/ha, para 50 cm de distância entre bicos; despejando mais 250 ml, deve coincidir com a marca de 200 L/ha e assim por diante. Se tudo estiver correto, o instrumento está confiável.

Ultimamente, ao invêz de saquinhos, encontram-se ca  
necas e jarras graduadas para a mesma finalidade.

O procedimento para a calibração consiste em cole-  
tar o líquido pulverizado por um bico durante o percur-  
so de 50 metros. Para tanto, deve-se deslocar o pulveri-  
zador dentro da área a ser pulverizada, numa distância de  
50 metros e cronometrar esse tempo. Por comodidade, es-  
sa medição às vezes é feita próxima na sede da fazenda.  
O ideal é fazer a medição direta no próprio local de tra-  
balho pois muitas variáveis condicionam a velocidade de  
trabalho. Durante essa cronometragem, o pulverizador de-  
ve estar em funcionamento, como se estivesse realmente  
executando o trabalho de pulverização (Lembrar que o tes-  
te é feito só com água, por razões de segurança e econo-  
mia. Os resultados podem ser extrapolados para o traba-  
lho com a calda com certa margem de erro).

A rotação na tomada de potência (TDP) do trator de-  
ve ser de 540 rpm e, para tanto, existe uma marca no ta-  
cômetro do trator indicando a rotação do motor que forne-  
ce esse valor.

Determinado o tempo que o trator gasta para percor-  
rer 50 m, coloca-se o recipiente coletor em um bico e  
coleta-se o volume pulverizado durante esse tempo. Essa  
coleta pode ser feita comodamente com o trator parado,  
desde que o pulverizador seja mantido nas condições de  
operação.

O nível de água no recipiente calibrador indicará  
diretamente o volume aplicado (em L/ha) em função do es-  
paçamento entre bicos.

Não se dispondo de recipientes calibradores, o pro-  
cedimento será o mesmo, até se coletar o volume em um re-  
cipiente qualquer (frasco, saco plástico etc.). Após is-  
so, transfere-se o volume coletado para uma proveta. Exem-  
plo: Seja  $q$  o volume lido na proveta. Este volume cor-  
responde ao volume pulverizado por um bico, no percurso  
de 50 m. Sendo  $e$  o espaçamento entre bicos, o volume  
aplicado por hectare seria:

Se aplicou  $q$  litros em  $(50 \times e) \text{ m}^2$   
Aplicará  $Q$  litros em  $10.000 \text{ m}^2$

$$Q = \frac{10.000 q}{50 e}$$

$$Q = \frac{200 q}{e}$$

onde,

$q$  = volume lido na proveta (litros)

$e$  = espaçamento entre bicos (m)

$Q$  = volume aplicado (litros/ha).

Se a distância entre bicos é de 0,5 m e o volume coletado foi de 1,5 litros, tem-se:

$$Q = \frac{200 \times 1,5}{0,5}$$

$$Q = 600 \text{ litros/ha.}$$

Se durante a regulagem, a vazão de todos os bicos foram checadas e o padrão de deposição foi verificado pelo aferidor de pulverização, a medição do consumo em litro/ha, pode ser feita em apenas alguns bicos. Porém, se não foi feita anteriormente, a determinação do volume aplicado deve ser feita em **todos** os bicos.

**Diluição** - Uma vez conhecido o volume a ser aplicado por hectare, deve-se fazer mais cálculo para se saber a quantidade do produto a ser diluída no tanque. Por exemplo, se no caso anterior, onde o volume de aplicação é de 600 L/ha, o produto a ser aplicado fosse uréia, na dosagem de 20 kg/ha e se o tanque fosse de 400 litros, ter-se-ia o seguinte cálculo:

Se em 600 litros deve se diluir 20 kg de uréia

Em 400 litros diluir-se-á X kg

$$X = \frac{20 \times 400}{600} = 15 \text{ kg.}$$

Portanto, deve-se diluir 15 kg de uréia no tanque, para que a dosagem indicada fosse aplicada.

## 5. LITERATURA CITADA

- AKESSON, N.B. & YATES, W.E. **Pesticide application equipment and techniques**. Roma, FAO, 1979. 257p. (FAO Agricultural Bulletin 38).
- BALS, E.J. Rotary atomization. **Agricultural Aviation**, 12: 85-90, 1970.
- CHAIM, A. Desenvolvimento de um protótipo de pulverizador eletrohidrodinâmico - avaliação do seu comportamento na produção de gotas e controle do trips (*Empoasca fabae* Moulton, 1941) do amendoim (*Arachis hypogaea* L.). Jaboticabal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 1984. 95p. (Dissertação de Mestrado).
- COFFEE, R.A. Electrodynamic energy - a new approach to pesticide application. **BRITISH CROP PROTECTION CONFERENCE**, Brighton 1979. **Proceedings**. p.777-89.
- CORREA, H.G. & MAZIERO, J.V. Análise em laboratório da redução da evaporação de gotículas para pulverizações agrícolas. **Bragantia**, 39: 79-87, 1980.
- COURSHEE, R.J. Application and use of foliar fungicides. In: TORGESON, D.C. ed. **Fungicide - An advanced treatise**. Academic Press, N. York, 1967. p.239-86.
- DOMBROWSKI, N. & LLOYD, T.L. Atomisation on liquids by spinning cups. **Chemical Engineering Journal**, 8: 63-81, 1974.
- FRASER, R.D. The fluid kinetics of application of pesticide chemicals. **Advances in Pest Control Research**, 2: 1-106, 1956.
- GALLI, J.C.; MATUO, T.; SIQUEIRA, E.C. Padrão de distribuição de alguns bicos hidráulicos. **Planta Daninha**, 6(2): 144-50, 1983.

- JONHSTONE, D.R. & JOHNSTONE, K.A. Aerial spraying of cotton in Swaziland. **PANS**, 23(1): 13-26, 1977.
- MARCHANT, J.A. Electrostatic spraying-some basic principles. **BRITISH CROP PROTECTION CONFERENCE**, Brighton, 1980. **Proceedings**, p.987-91.
- MATTHEWS, G.A. **Pesticide application methods**. London, Longman, 1979. 334p.
- MATUO, T. Verificação da exatidão dos saquinhos plásticos calibradores empregados na determinação da vazão de pulverizadores. **Planta Daninha**, 7(1): 65-9, 1984.
- MURAI, T.; YAMAMOTO, S.; HATAI, N.; TANAKA, Y. Determinação da evaporação de gotas em aplicação via líquida. **Noyakukagaku**, 2(1): 18-9. 1974. (original em japonês).
- NATION, H.J. **The dynamic behavior of field sprayer booms: a technique for field measurements**. Departmental Note DN/S/814/09005. NIAE, Silsoe, 1977.
- NATION, H.J. The performance and stability of spray booms. **SYMPOSIUM ON SPRAYING SYSTEMS FOR THE 1980's**. Surrey, 1980. **Proceedings**. p.145-58.
- NATION, H.J. The dynamic behavior of field sprayer booms. **Journal of Agricultural Engineering Research**, 27: 61-70, 1982.
- WALTON, W.H. & PREWETT, W.C. Atomization by spinning discs. **Proceedings of Physical Society**, B62: 341-50, 1949.

WODAGENEH, A. & MATTHEWS, G.A. Addition of oil to pesticide sprays downwind movement of droplets. **Tropical Pest Management**, 27(4): 501-504, 1981.



Impresso na Gráfica da  
Papelaria e Livreria CENTRAL  
Fones: 2-7968 - 2-7623 Campinas SP