

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO
“LATO SENSU” (ESPECIALIZAÇÃO) A DISTÂNCIA
FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO
DE PLANTAS NO AGRONEGÓCIO**

**DIAGNOSE DO ESTADO
NUTRICIONAL DAS PLANTAS**

Valdemar Faquin

**Universidade Federal de Lavras - UFLA
Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão - FAEPE
Lavras - MG**

Parceria

Universidade Federal de Lavras - UFLA

Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão - FAEPE

Reitor

Antônio Nazareno Guimarães Mendes

Vice-Reitor

Ricardo Pereira Reis

Diretor da Editora

Marco Antônio Rezende Alvarenga

Pró-Reitor de Pós-Graduação

Joel Augusto Muniz

Pró-Reitor Adjunto de Pós-Graduação “Lato Sensu”

Marcelo Silva de Oliveira

Coordenador do Curso

José Maria de Lima

Presidente do Conselho Deliberativo da FAEPE

Edson Ampélio Pozza

Editoração

Centro de Editoração/FAEPE

Impressão

Gráfica Universitária/UFLA

**Ficha Catalográfica preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Faquin, Valdemar

Diagnose do estado nutricional das plantas / Valdemar Faquin.
Lavras: UFLA/FAEPE, 2002.

77 p.: il. - Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” (Especialização) a
Distância: Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas no Agronegócio.

Bibliografia

1. Nutrição de plantas. 2. Métodos de diagnóstico. 3. Diagnose da
nutrição. 4. Nutrientes. 5. Deficiência nutricional. I. Faquin, V. II.
Universidade Federal de Lavras. III. Fundação de Apoio ao Ensino,
Pesquisa e Extensão. IV. Título.

CDD – 581.13

Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida,
por qualquer meio ou forma, sem a prévia autorização.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	5
2. MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO.....	6
2.1 - DIAGNOSE VISUAL	6
2.1.1 - Indicações práticas	7
2.1.2 - Descrição dos sintomas visuais.....	8
2.1.3 - Limitações da diagnose visual	15
2.2 - DIAGNOSE FOLIAR.....	15
2.2.1 - Introdução.....	15
2.2.2 - Amostragem, preparo da amostra e análise química	20
2.2.3 - Padrões de referências.....	28
2.2.4 - Interpretação dos resultados da análise	29
2.3 - OUTROS MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO	63
2.3.1 - TESTES DE TECIDOS E ANÁLISE DA SEIVA	63
2.3.2 - Métodos bioquímicos.....	67
2.3.3 - Aplicações foliares ou técnicas de infiltração.....	69
2.3.4 - Análise de clorofila.....	71
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
LITERATURA CITADA	75

O solo (ou substrato, ou solução nutritiva) é o meio do qual as plantas, através da absorção radicular, obtém os elementos minerais essenciais. Quando o meio não tem e, ou, não fornece as quantidades adequadas dos nutrientes, o que tem sido avaliado pela análise química do solo, as plantas não terão as suas exigências nutricionais atendidas. Haverá, portanto, redução do crescimento e produção das culturas devido a deficiência nutricional.

Assim, a avaliação do estado nutricional das plantas objetiva identificar os nutrientes que estariam limitando o crescimento e produção das culturas. A técnica, nos seus diversos métodos, consiste basicamente, em se comparar uma planta, uma população de plantas ou uma amostra dessa população com um padrão da cultura em questão. O padrão seria uma planta “normal”, sem nenhuma limitação do ponto de vista nutricional e capaz de altas produções.

Os padrões nutricionais podem ser obtidos experimentalmente em cultivos sob condições controladas ou a campo, e também em plantios comerciais, considerando-se a produtividade. De acordo com MALAVOLTA et al. (1997), pode-se considerar como “padrão” culturas que apresentem uma produtividade de pelo menos três vezes a média nacional. Tais plantas, certamente, devem ter nos seus tecidos, todos os nutrientes em quantidades e proporções adequadas, não mostrando sintomas visíveis de carência.

Existem diversos métodos de avaliar o estado nutricional das plantas, sendo os principais a diagnose visual e a diagnose foliar, embora existam outros como os testes de tecidos, testes bioquímicos, aplicações foliares, teor de clorofila. Pela importância e aplicação prática, os dois primeiros serão aqui relatados com maiores detalhes.

Para um adequado monitoramento da fertilidade do solo e da nutrição vegetal, recomenda-se conciliar os métodos da análise de solo e da diagnose do estado nutricional das plantas, sendo os últimos, considerados complementares ao primeiro.

MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO

2.1 - DIAGNOSE VISUAL

A diagnose visual consiste em se comparar visualmente o aspecto (coloração, tamanho, forma) da amostra (planta, ramos, folhas) com o padrão. Na maioria das vezes o órgão de comparação é a folha, pois é aquele que melhor reflete o estado nutricional da planta. Como nas folhas ocorrem os principais processos metabólicos do vegetal, as mesmas são os órgãos da planta mais sensíveis às variações nutricionais.

Se houver falta ou excesso de um nutriente, isto se manifestará em sintomas visíveis, os quais são típicos para um determinado elemento. O motivo pelo qual o sintoma é típico do elemento, deve-se ao fato de que um dado nutriente exerce sempre as mesmas funções em qualquer espécie de planta. Esse é o princípio em que se baseia o método.

Deve-se ressaltar, que o sintoma visual de deficiência ou toxidez, é o último passo de uma série de problemas metabólicos, irreversíveis, e que quando aparecem, de maneira geral, a produção já foi comprometida. Pode haver situações em que o crescimento e a produção são limitadas, sem que a sintomatologia típica se manifeste. Trata-se então da chamada “fome ou toxidez oculta”, e ocorre quando a carência ou excesso são mais leves.

A seqüência de anormalidades que conduz aos sintomas visíveis da deficiência ou excesso de um dado elemento pode ser resumida (Malavolta et al., 1997):

Falta ou excesso \Rightarrow (1) alteração molecular \Rightarrow (2) lesão subcelular \Rightarrow (3) alteração celular \Rightarrow (4) modificação no tecido \Rightarrow (5) manifestação visível = sintoma típico do elemento.

Exemplos:

a) *Deficiência de zinco*: manifesta-se nas plantas como encurtamento dos internódios, folhas novas pequenas, etc. Considerando suas funções nas plantas, a seqüência de eventos que leva a esses sintomas pode ser resumida:

- Zn \Rightarrow (1) alteração molecular: < AIA, > hidrólise de proteínas \Rightarrow (2) lesão subcelular: paredes celulares rígidas, < proteína \Rightarrow (3) alteração celular: células menores e em menor número \Rightarrow (4) modificação no tecido: órgãos menores \Rightarrow (5) manifestação visível: internódios curtos, folhas novas pequenas.

b) *Toxidez de alumínio*: os primeiros sintomas aparecem nas raízes, as quais tornam-se curtas, grossas, pouco ramificadas e quebradiças. Considerando os efeitos da fitotoxidez de alumínio, esses sintomas podem ser conseqüência do seguinte:

+ Al \Rightarrow (1) alteração molecular: formação de pectatos errados, < absorção de P, Ca, K e Mg, < fosforilação \Rightarrow (2) lesão subcelular: paredes celulares rígidas, < divisão celular \Rightarrow (3) alteração celular: células menores e com 2 núcleos e em menor número \Rightarrow (4) modificação no tecido: órgãos menores \Rightarrow (5) manifestação visível: raízes curtas, grossas e pouco ramificadas.

2.1.1 - Indicações práticas

Os sintomas de origem nutricional, na prática, podem se confundir com outros gerados por fatores não nutricionais, o que dificulta o diagnóstico. Fatores bióticos e abióticos podem induzir sintomas parecidos com os nutricionais, citando-se pragas, doenças, climáticos (sol, ventos frios, seca), físicos do solo (compactação, afloramento de rocha, alagamento), toxidez por produtos químicos (herbicidas, defensivos). Portanto, na prática da diagnose visual deve-se sempre considerar algumas indicações, que permitem minimizar a possibilidade de enganos no diagnóstico:

a) *Generalização do sintoma* - se o sintoma visual for de origem nutricional, o mesmo aparece generalizado em todas as plantas da gleba, não o fazendo em uma ou outra planta ou em reboleira. Por exemplo, é comum em lavouras de café bem nutridas, se observar algumas plantas com crescimento reduzido, folhas amareladas, distribuídas aleatoriamente na plantação, cujo agente causal é a incidência de nematóides ou a existência de "pião torto" nas mudas. O aparecimento de reboleiras, de maneira geral, tem sua origem em manchas de afloramento de rochas no terreno (solos rasos), acúmulo de água em depressões do solo (encharcamento), ataque de pragas ou doenças.

- b) Características do sintoma** - os sintomas de origem nutricional apresentam duas características não apresentadas pelos de origem não nutricional:
- *simetria* - os sintomas de origem nutricional ocorrem de maneira simétrica na folha e entre folhas do mesmo par ou próximas no ramo, e aparecem independente da face de exposição da planta. Lesões simétricas em pares de folhas novas provocadas por ventos frios, insolação, toxidez por herbicida, ocorrem somente na face da planta exposta ao agente causal. Nesse caso, a outra face da planta estaria normal.
 - *gradiente* - refere-se às diferenças de coloração entre folhas velhas e novas do ramo, devido à redistribuição dos nutrientes na planta. A Tabela 1 mostra que se o nutriente for móvel, em condições de carência a planta promove sua remobilização das folhas velhas para as novas ou frutos, e os sintomas se manifestam nas folhas velhas. O contrário ocorre com os nutrientes pouco móveis e imóveis, para os quais os sintomas ocorrem nas folhas novas. Alguns nutrientes promovem sintomas muito parecidos entre si e o gradiente é uma importante ferramenta para um diagnóstico mais seguro. Por exemplo: N e S - clorose (amarelecimento) generalizada no limbo foliar; Mg e Mn - clorose internerval; K e Ca - clorose e posterior necrose nos bordos das folhas. De cada exemplo, os primeiros, por serem móveis, ocorrem em folhas velhas e os segundos, por serem pouco móveis ou imóveis (caso do Ca), os sintomas ocorrem nas folhas novas.

TABELA 1 - Redistribuição dos nutrientes e os órgãos onde os sintomas de deficiência ocorrem primeiro.

Nutrientes	Redistribuição	Sintomas visuais de deficiência ocorre:
N, P, K e Mg	móveis	folhas velhas
S, Cu, Fe, Mn, Zn e Mo	pouco móveis	folhas novas
B e Ca	imóveis	folhas novas e meristemas

2.1.2 - Descrição dos sintomas visuais

Como já relatado, o sintoma de deficiência nutricional é típico para um determinado elemento e que as folhas, de modo geral, são os órgãos que refletem melhor o estado nutricional da planta. A Tabela 2 mostra uma chave geral de sintomas de deficiência e de toxidez que as plantas manifestam. É importante destacar que os sintomas podem apresentar variações de uma para outra espécie e, em algumas, pode se manifestar em outro órgão que não a folha, como a podridão apical no fruto do tomateiro, por deficiência de cálcio.

TABELA 2 - Chave geral para identificação dos sintomas de deficiências (-) e excessos (+).

Sintoma	Causa mais provável
Folhas ou órgãos mais velhos	
1. Clorose em geral uniforme (dicotiledôneas)	- N
2. Cor verde azulada com ou sem amarelecimento das margens	- P
3. Clorose e depois necrose das pontas e margens; clorose internerval nas folhas novas (monocotiledôneas)	- K
4. Clorose internerval seguida ou não da cor vermelho-roxa	- Mg
5. Murchamento (ou não), clorose e bronzeamento	- Cl
6. Clorose uniforme, com ou sem estrangulamento do limbo e manchas pardas internervais; encurvamento (ou não) do limbo	- Mo
7. Cor verde azulada com ou sem amarelecimento das margens	+ Al
8. Pontuações pequenas e pardas perto das nervuras; coalescência, encarquilhamento e clorose; internódios curtos	+ Mn
9. Clorose mosqueada perto da margem, manchas secas perto das margens e na ponta	+ B
10. Manchas aquosas e depois negras no limbo entre as nervuras	+ Cu
11. Ver nitrogênio	- Co
Folhas ou órgãos mais novos	
1. Murchamento das folhas, colapso do pecíolo; clorose marginal; manchas nos frutos, morte das gemas	- Ca
2. Clorose geralmente uniforme	- S
3. Folhas menores e deformadas; morte da gema; encurtamento de internódios; superbrotamento de ramos; suberização de nervuras; fendas na casca	- B
4. Murchamento, cor verde azulada, deformação do limbo; encurvamento dos ramos; deformação das folhas; exsudação de goma (ramos e frutos)	- Cu
5. Clorose, nervuras em reticulado verde e fino	- Fe
6. Clorose, nervuras em reticulado verde e grosso, tamanho normal	- Mn
7. Lanceoladas (dicotiledôneas), clorose internerval, internódio curto; morte de gemas ou região de crescimento	- Zn
8. Necrose nas pontas	- Ni

MALAVOLTA et al. (1997).

A descrição dos sintomas de deficiência e toxidez mais comuns nas principais culturas do Brasil é apresentada na Tabela 3.

TABELA 3 - Descrição dos sintomas de deficiências (-) e toxidez (+) mais frequentes nas principais culturas do Brasil.

Cultura	Sintoma	Elemento
Algodoeiro	Folhas velhas com clorose e necrose (morte) das pontas e margens.	- K
	Folhas velhas (e depois as mais novas) com clorose e depois cor vermelha ("vermelhão") entre as nervuras; queda de "maçãs".	- Mg
Arroz	Folhas novas com amarelecimento uniforme.	- S
	Morte de gemas terminais; folhas novas encarquilhadas.	- B
	Folhas amareladas; pouco perfilhamento.	- N
	Acamamento.	+ N
Bananeira	Folhas verde-escuras com tons roxos; alta porcentagem de grãos chochos.	- P
	Manchas cor de ferrugem ao longo das nervuras.	- Zn
	Folhas amarelo-pardas.	+ Fe
	Cor amarelo-alaranjada nas pontas mais velhas que depois se enrolam para dentro e morrem.	- K
Batatinha	Amarelecimento da parte central das folhas mais velhas, seguindo-se pontos escuros e necrose; as folhas no pseudocaule tomam a forma de leque; pecíolos azul-violeta (mal azul).	- Mg
	Folhas novas branco-amareladas.	- S
	Clorose entre as nervuras das folhas novas, cachos pequenos e deformados.	- Zn
	Tubérculos pequenos e mal formados.	- P ou - K
Cacaueiro	Folhas mais velhas amareladas entre as nervuras.	- Mg
	Morte de brotos; tubérculos menores.	- B
	Morte de gemas terminais; folhas novas menores e deformadas.	- B
	Folhas novas amareladas até brancas.	- Fe
Cafeeiro	Folhas novas estreitas e em forma de foice.	- Zn
	Folhas velhas com amarelecimento entre as nervuras.	- Mg
	Folhas velhas amareladas; pouca brotação e vegetação; morte descendente de ramos.	- N
	Muita folha e pouco fruto.	+ N
	Folhas verdes sem brilho e depois com manchas necróticas.	- P
	Clorose e necrose das pontas e margens das folhas mais velhas; morte descendente de ramos; frutos chochos.	- K
	Clorose intermerval das folhas mais velhas; muita folha caída.	- Mg

Continua...

Tabela 3. Continuação...

Cultura	Sintoma	Elemento
Cafeeiro	<p>Clorose das folhas mais novas; internódios mais curtos.</p> <p>Internódios curtos; folhas menores, deformadas ou não; morte das gemas terminais e superbrotaamento.</p> <p>Folhas velhas com clorose mosqueada e depois manchas necróticas nas margens.</p> <p>Folhas novas com nervuras salientes ("costeiras"); mudas - folhas voltadas para baixo e com manchas necróticas.</p> <p>Folhas velhas com manchas aquosas e depois pardas ou negras; queda de folhas; morte das raízes.</p> <p>Folhas novas amareladas até brancas, com nervuras verdes e depois pálidas.</p> <p>Folhas novas verde-pálidas com nervuras verdes e tecido ao longo das mesmas também verde; pontuações brancas entre as nervuras.</p> <p>Folhas pequenas, verde-claras, com bordos amarelados.</p> <p>Internódios curtos; morte descendente de ramos; folhas pequenas, cloróticas e lanceoladas; "rosetas" na ponta dos ramos.</p> <p>Folhas novas com clorose nas margens.</p>	<p>- S</p> <p>- B</p> <p>+ B</p> <p>- Cu</p> <p>+ Cu</p> <p>- Fe</p> <p>- Mn</p> <p>+ Mn</p> <p>- Zn</p> <p>- Ca</p>
Cana-de-açúcar	<p>Folhas verde-pálidas; colmos mais finos e menor perfilhamento.</p> <p>Folhas inicialmente verde-escuras e depois com pontas secas; colmos finos com internódios curtos.</p> <p>Clorose e necrose das pontas e margens das folhas mais velhas; na superfície superior da nervura principal aparece cor vermelha; colmos finos e internódios curtos.</p> <p>Folhas mais novas secam e enrolam-se, podendo mostrar fendilhamento longitudinal.</p> <p>Touceiras tombam depois que as folhas secam; clorose semelhante ao mosaico nas folhas novas.</p> <p>Internódios curtos e crescimento atrasado; faixas cloróticas nas folhas, especialmente perto das pontas; brotos novos esbranquiçados.</p> <p>Touceiras pouco desenvolvidas; folhas amareladas e necrosadas nas pontas; raízes curtas, pardas e grossas.</p>	<p>- N</p> <p>- P</p> <p>- K</p> <p>- B</p> <p>- Cu</p> <p>- Zn</p> <p>+ Al</p>
Citros	<p>Folhas ralas, amarelas; poucos lançamentos.</p> <p>Frutos com miolo oco.</p> <p>Folhas bronzeadas e encurvadas; frutos pequenos; queda exagerada de frutos.</p> <p>Morte de gemas; folhas menores e deformadas; frutos com goma no albedo e nos "gomos".</p> <p>Folhas grandes e flácidas; exsudação de goma nos ramos novos; frutos com manchas e rachaduras.</p> <p>Folhas novas com amarelecimento ou cor verde-pálida entre as nervuras (reticulado grosso).</p> <p>Internódios mais curtos; folhas novas estreitas com cor amarelada entre as nervuras.</p> <p>Folhas velhas com "V" verde ao longo da nervura principal.</p>	<p>- N</p> <p>- P</p> <p>- K</p> <p>- B</p> <p>- Cu</p> <p>- Mn</p> <p>- Zn</p> <p>-Mg</p>

Continua....

Tabela 3. Continuação...

Cultura	Sintoma	Elemento
Citros Coqueiro, dendezeiro, pupunheira	Folíolos mais velhos amarelados. Folíolos costumam a desenrolar, dobrados como sanfona, ponta dos ramos em gancho. Folíolos das folhas mais novas com faixas cloróticas que coalescem com o tempo.	- N - B - Cu
Eucalipto	Folhas verde-amareladas e depois avermelhadas; crescimento atrasado. Folhas novas encarquilhadas; rachaduras no caule e tronco com exsudação de goma. Internódios curtos; folhas novas cloróticas, estreitas e lanceoladas.	- P - B - Zn
Feijoeiro	Folhas verde-azuladas (especialmente as mais próximas das vagens) e depois amareladas. Folhas novas com pontuações pardas perto das nervuras e depois encarquilhadas e finalmente amareladas.	- P + Mn
Macieira	Lesões negras e cavadas na casca, com os frutos na planta ou depois da colheita ("bitter pit"). Frutos deformados com lesões negras na casca e que atingem o interior. Roseta de folhas pequenas, cloróticas e lanceoladas.	- Ca - B - Zn
Mandioca	Clorose internerval das folhas recém-expandidas, nervuras e tecido ao longo das mesmas permanecendo verde. Estreitamento do limbo, clorose internerval e depois pontas necróticas.	- Mn - Zn
Maracujazeiro	Clorose internerval das folhas mais velhas, secamento e necrose. Folhas mais novas cloróticas e estreitas.	- Mg - Zn
Melão	Folhas novas mais amarelas e encurvadas.	- Mo
Milho	Folhas mais velhas amareladas e com um "V" esbranquiçado ao longo da nervura principal; espigas deformadas na ponta. Folhas velhas com tons roxos perto das margens; tons roxos no colmo; má granação. Folhas velhas com clorose, necrose e dilaceração das margens; espigas deformadas; colmos finos; sistema radicular fraco (acamamento). Folhas novas amareladas. Espigas com falhas na granação. Internódios curtos; região de crescimento esbranquiçada; folhas com estrias brancas e tons roxos.	- N - P - K - S - B - Zn
Pereira, pessegueiro	Clorose internerval nas folhas mais novas que podem, com o tempo, ficar quase brancas. Internódios curtos, folhas lanceoladas cloróticas e muitas vezes dobradas ao longo da nervura principal.	- Fe - Zn
Seringueira	Folhas mais novas cloróticas e estreitas.	- Zn
Pinus	Acículas ("agulhas") avermelhadas. Morte de gemas terminais; superbrotamento no topo.	- N - B

Continua...

Tabela 3. Continuação...

Cultura	Sintoma	Elemento
Soja	Pouca nodulação. Folhas velhas verde-amareladas (perto das vagens) e depois amareladas. Clorose e necrose das pontas e margens das folhas mais velhas inicialmente; menor granação; grãos menores; maior incidência de moléstias e nematóides. Raízes mal desenvolvidas; colapso do pecíolo das folhas. Folhas novas com clorose entre as nervuras. Clorose uniforme nas folhas mais novas. Morte de gemas terminais; folhas novas menores e deformadas. Folhas novas mais estreitas com manchas grandes cor de ferrugem. Folhas novas com pontuações pardas ao longo das nervuras, encarquilhadas e depois amareladas. Folhas velhas amareladas; maior perfilhamento.	- P, - K, -Ca, - Mg, -S, - B, - Mo, - Co, + Al ou + Mn - P - K - Ca - Mg - S - B - Zn + Mn
Trigo	Acamamento. Cor verde-azulada e depois bronzeamento e secamento das folhas mais velhas; tons roxos nas folhas e colmos; atraso no florescimento; maior chochamento. Amarelecimento e secamento das pontas e margens das folhas mais velhas; maior acamamento e incidência de doenças causadas por fungos. Folhas novas amareladas; plantas mais esguias. Engrossamento dos colmos; morte das regiões de crescimento; maior chochamento. Folhas novas descoloridas e depois amareladas e enroladas; folhas velhas flácidas e dobradas, depois secas e cinzentas; maior chochamento. Folhas com amarelecimento entre as nervuras, seguindo-se o aparecimento de pontuações pardas que podem juntar-se. Raízes curtas e grossas (coralóides); folhas amareladas e secas (crestamento).	- N + N - P - K - S - B - Cu + Mn + Al
Videira	Clorose na margem das folhas mais velhas, podendo caminhar para o centro. Brotos curtos, superbrotação devido à morte da gema terminal; cachos com falhas (polinização defeituosa), bagas grandes e pequenos ("galinha e pintinhos").	- Mg - B

Continua...

Tabela 3. Continuação...

Cultura	Sintoma	Elemento
Hortaliças		
Alface	Folhas novas com pontas queimadas. Cabeças menores.	- Ca - Cu
Alho	Chochamento dos bulbos.	- B
Brócolo	Escurecimento dos botões.	- B
Cenoura	Cavidades escuras nas raízes.	- Ca
Couve-flor	Escurecimento em manchas da "cabeça"; cavidades negras no interior do caule. Estrangulamento do limbo.	- B - Mo
Tomateiro	Podridão estilar (fundo preto). Enegrhecimento interno (coração negro). Amarelecimento entre as nervuras das folhas baixas. Lesões negras e rachaduras dos frutos. Frutos inchados.	- Ca - Ca - Mg - B + N
Forrageiras		
Gramíneas	Ver arroz, milho e trigo.	
Leguminosas	Ver feijão e soja.	

MALAVOLTA et al. (1997).

2.1.3 - Limitações da diagnose visual

A diagnose visual é um método bastante usado e o seu conhecimento é muito importante na atividade profissional do técnico em agropecuária. Mas, a mesma apresenta algumas limitações listadas a seguir:

- o uso do método é possível apenas quando os sintomas de deficiência ou toxidez se manifestam visualmente; nesse estágio, em geral, é inevitável a perda de produção;
- o método é qualitativo - permite o diagnóstico do nutriente limitante, mas não estabelece doses para sua correção;
- exige bastante experiência do técnico, com a cultura em questão;
- não permite o diagnóstico da “fome ou toxidez oculta”;
- não permite o diagnóstico de deficiências múltiplas, devido ao mascaramento dos sintomas típicos;
- confusão de sintomas de origem nutricional e não nutricional.

2.2 - DIAGNOSE FOLIAR

2.2.1 - Introdução

A análise química do solo, certamente, é a principal ferramenta para o diagnóstico da fertilidade do solo e estabelecimento da necessidade de correção e adubação das culturas. Mas, o solo é um meio complexo, heterogêneo e nele ocorrem inúmeras reações químicas, físico-químicas e microbiológicas, que influenciam a disponibilidade e o aproveitamento dos nutrientes aplicados com os fertilizantes. Os tecidos das plantas, por sua vez, mostram o seu estado nutricional num dado momento, de modo que a análise dos tecidos aliada à análise do solo permite um diagnóstico mais eficiente do estado nutricional da cultura e das necessidades de alterações no programa de adubação. A análise de tecidos torna-se mais importante ainda, no caso do N e dos micronutrientes, para os quais a análise do solo não está bem consolidada.

A diagnose foliar é um método em que se analisam os teores dos nutrientes em determinadas folhas, em períodos definidos da vida da planta, e os compara com padrões nutricionais da literatura. Como já foi dito, na folha ocorrem os principais processos metabólicos, portanto, é o órgão que melhor representa o estado nutricional da planta.

O uso da diagnose foliar baseia-se nas premissas de que existem, dentro de limites, relações diretas entre:

- a) dose de adubo e produção;
- b) dose de adubo e teor foliar e,
- c) teor foliar e produção.

O entendimento da premissa c, ou seja, da relação entre o teor foliar e o crescimento ou produção da planta, é essencial para a interpretação dos resultados da análise foliar. A Figura 1, é uma representação geral típica de todas as situações que podem ocorrer. Visto que tanto o teor foliar quanto a produção são função da fertilidade do solo ou da dose do adubo, para melhor entendimento da relação expressa na Figura 1, será usada a Figura 2, que relaciona a dose do adubo e a produção da cultura. Resumidamente, caminhando na Figura 1 da esquerda para a direita tem-se os seguintes segmentos:

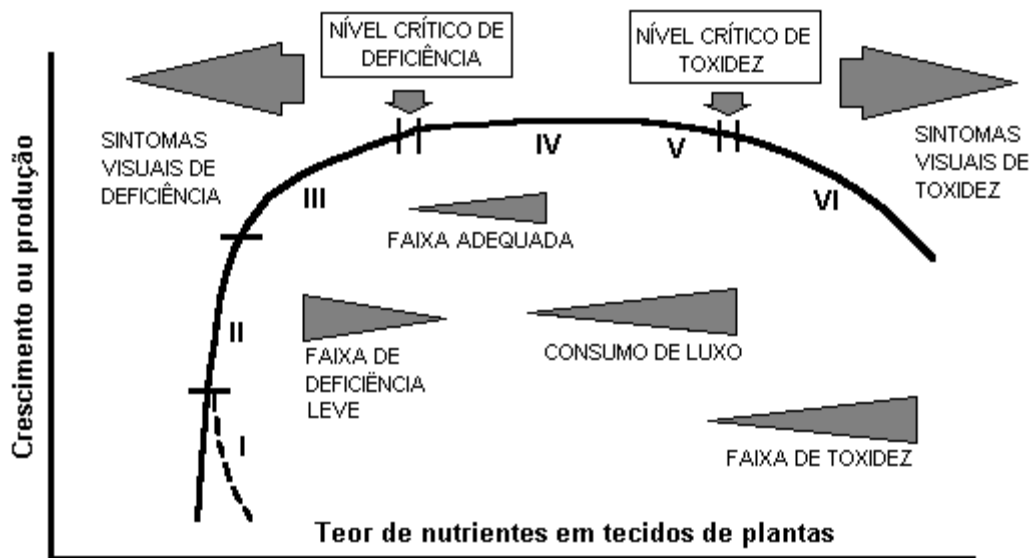


FIGURA 1. Representação geral típica da relação entre o teor foliar e o crescimento ou produção das plantas (os segmentos representam: I e II – deficiência severa; III – deficiência leve; IV e V – consumo de luxo e VI - toxidez) (adaptado de Marschner, 1995).

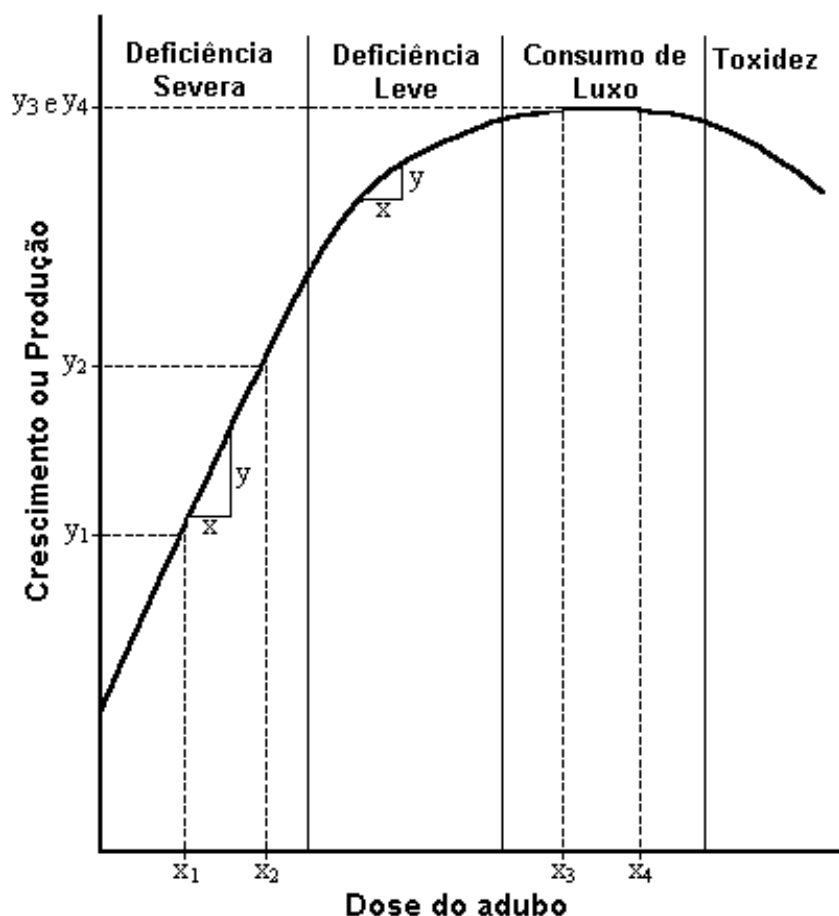


FIGURA 2. Relação entre a dose de adubo e crescimento ou produção das culturas (lei dos rendimentos decrescentes). x_1 , x_2 , x_3 e x_4 – doses do adubo aplicadas e y_1 , y_2 , y_3 e y_4 – crescimento ou produção correspondentes à essas doses, respectivamente.

I e II) Curva em “C” - corresponde a uma faixa da relação onde há pequena variação do teor foliar (eixo do x) e grande variação no crescimento ou produção (eixo do y) (Figura 1). Isto ocorre em solos (ou substratos) muito deficientes no elemento que recebem doses (ainda insuficientes) do nutriente. Esse fato é ilustrado na Figura 2, na faixa de “deficiência severa” do nutriente do solo. Nessa condição, observa-se que a dose x do adubo, promove uma grande resposta (y) em crescimento. Assim, embora haja absorção pela planta, do nutriente aplicado pelo adubo, o crescimento proporcionalmente maior não permite o aumento no teor foliar do elemento, podendo, inclusive, ocorrer diluição (Figura 1). Nessas faixas (I e II), de maneira geral, ocorrem sintomas visuais de deficiência. Na prática, pode-se encontrar duas lavouras (da mesma espécie) com teores foliares semelhantes e crescimento

significativamente diferentes, uma maior outra menor (Figura 1). Explica-se esse fato com o uso da Figura 2: a dose x_2 do adubo possibilita maior produção (y_2) em relação à dose x_1 e produção y_1 ; mas o teor foliar praticamente não varia devido à grande resposta em produção de massa nessa faixa de “deficiência severa” do nutriente no solo.

III) Zona de deficiência leve - nesse segmento ocorre relações diretas entre o teor foliar e o crescimento (ou produção) da planta (Figura 1). Essa relação é observada em solos (ou substratos) com deficiência leve do nutriente. Nessa condição (Figura 2), observa-se que a mesma dose x do adubo, agora promove menores rendimentos (y) pela planta. Assim, na faixa III, ocorre um aumento proporcional entre o teor foliar do nutriente aplicado e a produção (Figura 1).

IV e V) Zona de consumo de luxo - corresponde a uma faixa da relação onde há uma grande variação no teor foliar (eixo do x) e pequena variação no crescimento ou produção (eixo do y) (Figura 1). Esse fato é observado em solos não deficientes do nutriente que recebem doses do elemento, mas sem nenhuma resposta em crescimento (Figura 2, consumo de luxo). Nesse caso, a planta absorve o nutriente aplicado mas não responde em crescimento, ocorrendo aumento da sua concentração (teor) nos tecidos da planta. Na prática, pode-se encontrar duas lavouras (da mesma espécie) com teores foliares significativamente diferentes e produções iguais (Figura 1). Esse fato também é ilustrado na Figura 2, na faixa de “consumo de luxo”, onde se observa que as doses x_3 (menor) e x_4 (maior), embora diferentes, promovem produções semelhantes (y_3 e y_4). Como a planta absorve mais o nutriente aplicado na maior dose (x_4), o seu teor foliar será mais elevado, mas com a mesma produção obtida com a dose menor (x_3). Os dois extremos da faixa de consumo de luxo são denominados de níveis críticos inferior ou de deficiência e superior ou de toxidez (Figura 1):

- *nível crítico inferior ou de deficiência* - é o teor (ou estreita faixa de teores) do nutriente na folha abaixo do qual a produção (ou crescimento) é reduzido e acima não é econômica.
- *nível crítico superior ou de toxidez* - é o teor (ou faixa de teores) acima do qual a produção é reduzida devido à toxidez.

VI) Zona de toxidez ou desequilíbrio - nesse segmento ocorre uma relação inversa entre o teor foliar (eixo do x) e o crescimento (eixo do y) da planta (Figura 1). Essa relação é observada em solos (ou substrato)

com excesso do nutriente e que recebe doses do mesmo (Figura 2); a planta o absorve, aumenta o teor no tecido mas decresce o crescimento por causa da sua toxidez ou deficiência induzida de outro nutriente, devido ao desequilíbrio. Nessa faixa, normalmente ocorrem sintomas visuais de toxidez.

A curva completa apresentada na Figura 1, nem sempre é obtida na prática. Geralmente se conseguem apenas segmentos da mesma. Entretanto, em solos onde há grande limitação da disponibilidade de determinado nutriente, trabalhando-se com uma faixa de doses bastante ampla do mesmo, é possível observar esse tipo de resposta da produção ou crescimento em função do teor foliar. Exemplo disso é mostrado na Figura 3 com zinco em soja.

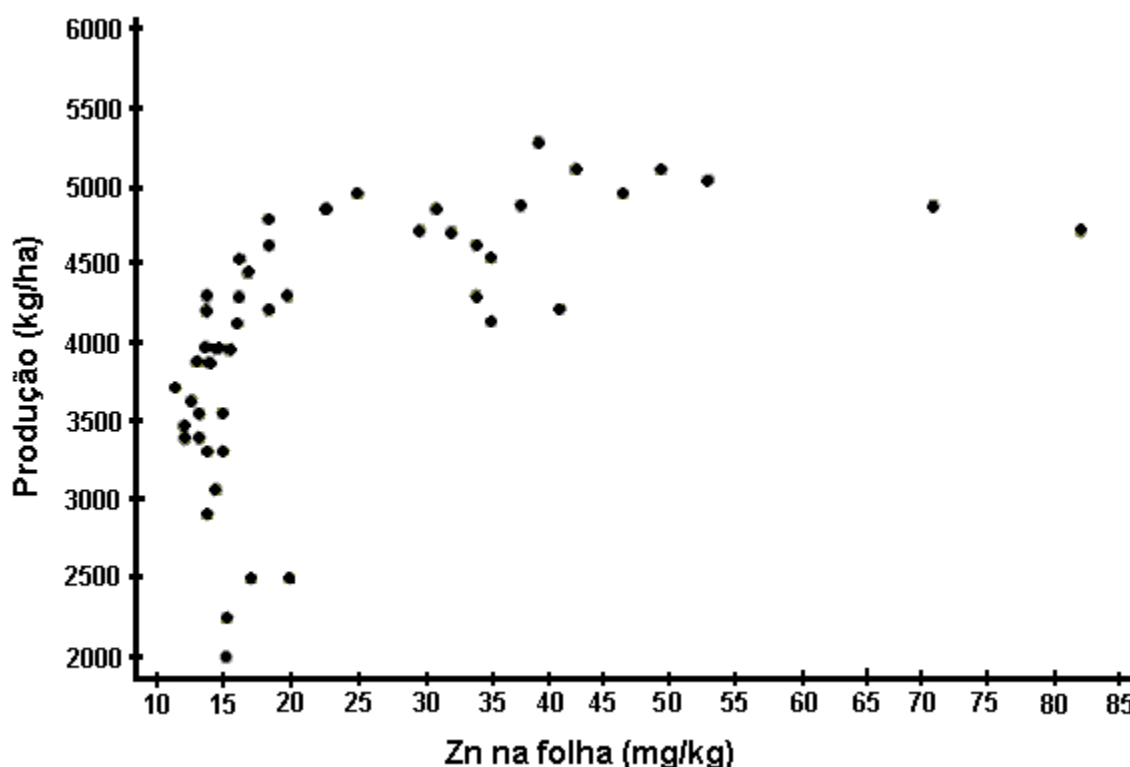


FIGURA 3. Relação entre os teores foliares de zinco e a produção de soja, mostrando que a distribuição dos pontos segue a figura 1 (Silva et al., 1986).

De acordo com Martinez et al. (1999), três são as etapas a serem cumpridas na aplicação da diagnose foliar: a primeira refere-se à normatização da amostragem, preparo das amostras e análise química do material vegetal; a segunda à obtenção dos padrões de referência comparativos; a terceira à interpretação dos resultados obtidos.

2.2.2 - Amostragem, preparo da amostra e análise química

➤ Amostragem

A amostragem é a fase mais crítica do método e aquela que apresenta maior possibilidade de erro. Portanto, a sua execução deve ser cercada de muitos cuidados e seguir rigorosamente a padronização da literatura para a cultura em questão.

Como visto na Tabela 1, a redistribuição (mobilidade) varia entre os nutrientes na planta. Assim, os teores adequados (níveis críticos) também podem variar com a idade da folha e da planta, em função dessa redistribuição. Por exemplo, com o aumento da idade da folha, há uma tendência dos teores dos nutrientes móveis diminuírem devido à migração para outros órgãos; ao contrário, para os imóveis e pouco móveis, a tendência é de aumento nos seus teores devido ao acúmulo. E esse aspecto leva a algumas implicações que devem ser consideradas na amostragem:

- a) teor foliar adequado em uma época pode não ser o mesmo em outra;
- b) Há, portanto, necessidade de padronização da amostragem considerando-se a idade da folha e da planta.

Assim, devido à interferência de diversos fatores sobre a composição da folha, a amostragem deve ser obtida de talhões homogêneos, em época adequada, retirando-se folhas de posições e idade definidas da planta e em número suficiente. Só assim, é que a mesma vai representar o estado nutricional da população e poder ser comparada com os padrões nutricionais existentes na literatura.

De maneira geral, a folha coletada é a “recém-madura” e entende-se como tal, aquela que completou o crescimento e ainda não entrou em senescência. Pode-se encontrar, também, recomendações específicas para algumas culturas em se coletar toda a parte aérea (arroz) ou o pecíolo de folhas específicas (abóbora).

A Tabela 4 mostra as recomendações padronizadas de amostragem para a diagnose foliar das principais culturas.

TABELA 4 - Recomendações para amostragem para diagnose foliar das principais culturas.

Cultura	Época	Tipo de folha	Nº de folhas por ha
CEREAIS			
Arroz	Meio do perfilhamento	Folha Y (posição ocupada em relação à folha mais nova desenrolada acima)	50
Cevada	Emergência da panícula	Parte aérea	50
Milho	Aparecimento da inflorescência feminina (cabelo)	Folha oposta e abaixo da espiga	30
Sorgo	Início do perfilhamento	Medianas	30
Trigo	Início do florescimento	1ª a 4ª folhas a contar da ponta	30
ESSÊNCIAS FLORESTAIS			
Araucária	Primavera-verão	Terceiro verticilo	18
Eucalipto	Verão-outono	Recém-maduras, ramos primários	18
Pinus	Verão-outono	Recém-maduras, primárias	18
Pupunheira	Verão-outono	Folíolos do quinto central de folha mediana, 2-3 meses antes do corte	30
Seringueira	Verão-outono	3-4 folhas recém-maduras, à sombra, na base do terço superior da copa	6
ESTIMULANTES			
Cacaueiro	Verão	3ª folha a partir da ponta, lançamento recém-amadurecido, plantas a meia-sombra	18
Cafeeiro	Primavera-verão	3º e 4º pares de folhas, a partir da ponta, ramos a meia-altura e produtivos	30
Chá	6-15 meses antes da poda	1ª folha com gema e 3ª folha	60
Fumo	Florescimento	Folhas recém-amadurecidas	30
Guaranazeiro	Primavera-verão	Folhas recém-maduras; ramos a meia-altura	30
FIBROSAS			
Algodoeiro			
Herbáceo	Início do florescimento	Limbo de folhas adjacentes às "maças"	30
Arbóreo	Início do florescimento	Folhas recém-maduras	30
Juta	3 meses após plantio	Da ponta, recém-maduras	18

Continua...

Tabela 4. Continuação...

Cultura	Época	Tipo de folha	Nº de folhas por ha
FORRAGEIRAS			
Gramíneas	Primavera-verão	Recém-maduras ou toda a parte aérea	30
Leguminosas	Primavera-verão	Florescimento	30
FRUTÍFERAS			
Abacate	Verão	Folhas de 4 meses de idade; ramos terminais sem laterais e sem frentes, meia-altura da planta	100 folhas de 20 plantas
Abacaxi	Verão	Folha "D" = folha recém-amadurecida, num ângulo de 45°, com bordos da base paralelos; análise da folha inteira ou porção basal não clorofilada	25
Bananeira	Florescimento	Folha III (abaixo e oposta às flores); porção mediana (10 cm largura) clorofilada (sem nervura)	25
Cajueiro	Verão	Folhas recém-maduras do ano	40
Citros	Verão	Folhas do ciclo da primavera, de ramos frutíferos, frutos com 2-4 cm de diâmetro, 3ª ou 4ª folha a partir do fruto	20
Figo	Primavera (florescimento)	Folhas mais novas totalmente expandidas, ao sol, ramos sem frutos	40
Goiabeira	Um mês depois de terminar o crescimento do ramo	4º par, ramos terminais sem frutos	30
Kiwi	6-20 semanas de crescimento	Folhas mais novas completamente expandidas	40
Macieira	Primavera-verão	Inteiras, com pecíolos, na parte mediana de ramos do ano	100 folhas de 25 plantas
Marmoeiro	Florescimento	Folha "F" - na axila com a primeira flor completamente expandida	18
Maracujazeiro	Outono	Ramos medianos; 4ª a partir da ponta	60
Pereira	2-3 semanas após florescimento pleno	Inteiras, porção mediana dos ramos do ano	100 folhas de 25 plantas
Pessegueiro	Verão	Recém-amadurecidas, do crescimento do ano	100 folhas de 25 plantas
Videira	Fim do florescimento	Na base do primeiro cacho	30-60
HORTALIÇAS			
Abóbora	Início do florescimento	Pecíolo de folha recém-madura	40
Alho	Antes da formação do bulbo, durante ou depois	Folha mais nova completamente desenvolvida	40
Alface	Formação da cabeça	Folhas recém-maduras	40

Continua...

Tabela 4. Continuação...

Cultura	Época	Tipo de folha	Nº de folhas por ha
Brócolos	Meio do ciclo	Nervura principal da folha recém-madura	40
Cebola	Meio do ciclo	Folha mais alta	40
Cenoura	Folhas com pecíolo	40 dias	40
Couves	Meio do ciclo	Folhas recém-madura	40
Couve-flor	Embotoamento	Nervura principal da folha recém-madura	40
Ervilha	Pleno florescimento	Folha inteira recém-madura	40
Espinafre	Meio do ciclo	Folha inteira recém-madura	40
Melancia	Primeiro fruto	Pecíolo da 6ª folha a partir da ponta	40
Meiões	Floração, 1º fruto ou 1º fruto maduro	Ver melancia	40
Pepino	Primeiros frutos	Ver melancia	40
Pimentão	Florescimento pleno	Folhas recém-maduras inteiras	40
Repolho	Ver alface	Nervura principal da folha envolvente	40
Tomateiro	Florescimento pleno ou primeiro fruto maduro	4ª folha a partir da ponta	40
Vagens	Florescimento pleno	Folha trifoliolada mais velha	40
LEGUMINOSAS DE GRÃOS			
Feijões	Início da floração	Primeira folha amadurecida a partir da ponta do ramo	30
Soja	Fim do florescimento	Primeira folha amadurecida a partir da ponta do ramo, pecíolo excluído	30
OLEAGINOSAS			
Amendoim	Início do florescimento	4ª folha da haste principal a partir da base (1ª = acima dos ramos cotiledonares)	30
Dendezeiro	Fim das chuvas	Folhas 9 (plantas novas) ou 17 (adultas); pecíolos centrais	25 plantas
Girassol	Início do florescimento	Folhas do terço superior	30
Mamoneira	Início do florescimento	Limbo da 4ª folha a partir da ponta	30
ORNAMENTAIS			
Azaléa	-	Folhas mais recentemente desenvolvidas	50
Bougainvillea	-	Folhas mais recentemente desenvolvidas	40
Cravo	-	5ª e 6ª pares de folhas de ramos com flor	50

Continua...

Tabela 4. Continuação...

Cultura	Época	Tipo de folha	Nº de folhas por ha
Crisântemo	Início da brotação	4ª folha da ponta (omitir a enrolada)	40
Gerânio	-	Folhas mais recentemente desenvolvidas	30
Hortência	-	Folhas mais recentemente desenvolvidas	30
Lírio	-	Folhas mais recentemente desenvolvidas	30
Orquidea	-	Folhas mais recentemente desenvolvidas	30
Roseira	Início do florescimento	Folhas com 5 folíolos mais recentemente desenvolvidas	20
Violeta	-	Folha mais recentemente desenvolvida	30
SACARINAS E AMILÁCEAS			
Batatinha	Meio do ciclo, 35-45 dias após emergência	Pecíolo da 4ª folha a partir da ponta	30
Cana-de-açúcar	Quatro meses após brotação	Folha + 3; folha + 1 = com primeira lígula (= região de inserção da bainha do colmo) Termo mediano, excluída a nervura principal	20-30 por talhão uniforme
Mandioca	3-4 meses de idade	Primeira folha recém-madura	30

MALAVOLTA et al. (1997).

No campo, a prática da amostragem deve obedecer, também, a outros aspectos relevantes:

- na área homogênea, coletar as amostras caminhando em zigue-zague, observando sempre a padronização relativa à época e folha adequadas.
- evitar as plantas próximas de estradas e carregadores e aquelas com sinais de ataque de pragas e, ou, doenças.
- não misturar folhas de variedades diferentes.
- no caso de culturas perenes enxertadas não misturar folhas de plantas que tenham copa ou porta-enxerto diferentes.
- não misturar folhas de idades diferentes.
- em culturas perenes não se deve colocar na amostra folhas de ramos com e sem frutos.
- não amostrar quando em semanas antecedentes, aplicaram-se adubação no solo, adubação foliar, defensivos ou após períodos intensos de chuva.

Um outro aspecto interessante de se ressaltar, é que às vezes é necessário fazer a amostragem fora da época padronizada. Essa situação ocorre com frequência no campo, quando aparecem lavouras ou plantas menos desenvolvidas e, ou, com sintomas de anormalidade. Nesse caso, não se pode usar os valores ou padrões da literatura para se interpretar os resultados. Nessa situação, recomenda-se a criação de um padrão comparativo temporário, para aquela cultura e época em questão. Para tanto, deve-se colher amostras de folhas de uma lavoura próxima (ou mesmo plantas dentro da própria lavoura problema), da mesma espécie e de preferência de mesma variedade e idade, que visualmente apresente aspecto “normal”. Os resultados das análises das folhas das plantas “normais” constituem-se num padrão para a comparação com aqueles das plantas “anormais”. A variação no teor de um ou mais nutrientes entre as duas amostras, é uma indicação de um possível problema nutricional.

Essa técnica é, também, uma boa alternativa para o diagnóstico do estado nutricional de algumas espécies, para as quais ainda não foram estabelecidos seus padrões.

➤ **Preparo da amostra**

Após a obtenção da amostra no campo, a fase seguinte, também crítica e deve ser realizada com o maior cuidado possível, é o seu preparo, acondicionamento e remessa para o laboratório. Todo o sucesso da análise química laboratorial, depende, em grande parte, do procedimento de coleta do material e do tempo decorrido entre a coleta e a chegada. Recomenda-se que esse tempo seja o mais breve para que os processos de respiração e de decomposição não venham comprometer os resultados da análise. O ideal seria que a amostra chegasse ao laboratório no mesmo dia da

coleta, acondicionada em saco plástico para transporte a baixa temperatura ou em sacos de papel.

Se o tempo entre a coleta e chegada no laboratório for superior a 24h, as amostras devem ser acondicionadas em sacos plásticos e colocadas em geladeira.

Toda amostra coletada deve ser identificada, com as informações contidas na sugestão seguinte, que deverá acompanhá-la até o laboratório:

SUGESTÃO DE IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA

1. Identificação

Número:

Proprietário:

Propriedade:

Endereço:

Responsável pela remessa:

2. Descrição da amostra

Cultura:

Variedade:

Idade:

Data da amostragem:

Data da última pulverização:

Produto:

3. Nutrientes a analisar:

4. Recomendações desejadas:

Para a execução das análises, deve-se escolher laboratórios idôneos, que participam de programas de controle de qualidade. No Brasil, existem programas de controle de qualidade de laboratórios, coordenados por órgãos oficiais, os quais divulgam anualmente aqueles com padrões desejáveis de qualidade. Normalmente, os laboratórios credenciados, emitem seus resultados analíticos acompanhados de um selo de qualidade.

No laboratório, depois de registradas e identificadas, as amostras passarão por quatro operações antes de serem analisadas quimicamente: descontaminação, secagem, moagem e armazenamento.

A *descontaminação* é feita através da lavagem das folhas, objetivando a remoção de poeira, resíduo de adubos foliares e de defensivos, que certamente influenciarão os resultados.

Para amostras obtidas de lavouras que não foram pulverizadas, as folhas deverão ser lavadas em água corrente e posteriormente em água deionizada. Após a remoção do excesso de água em papel toalha, as amostras deverão ser condicionadas em sacos de papel identificados e levados para secar em estufa. No caso de amostras que foram obtidas de lavouras que receberam pulverização, a descontaminação deve ser mais cuidadosa. Para tal, após a lavagem com água corrente, as folhas devem ser lavadas rapidamente com uma solução de detergente neutro diluído a 0,1% (1 ml de detergente em 1 L de água destilada) com auxílio de um pedaço de algodão; em seguida enxaguadas diversas vezes em água deionizada.

Quando não houver possibilidade do envio das amostras ao laboratório rapidamente ou quando o encaminhamento será realizado via correio, a descontaminação seguida de uma pré-secagem deverá ser procedida no próprio local de coleta. Para a descontaminação, recomenda-se a lavagem das folhas usando-se os mesmos procedimentos descritos para o laboratório. A água destilada pode ser adquirida no comércio ou em postos de combustíveis. Na impossibilidade de sua aquisição, usar água filtrada. Após a lavagem, a amostra deverá passar por uma pré-secagem, expondo-se as folhas ao sol ou em forno doméstico regulado a uma temperatura branda (60-70° C). Para o encaminhamento ao laboratório, as amostras deverão ser acondicionadas em sacos de papel identificados.

No laboratório, as amostras lavadas serão imediatamente submetidas à *secagem* em estufas com circulação forçada de ar, com temperatura variando de 65-70° C, até peso constante (aproximadamente 72h). A secagem é necessária para a retirada da água dos tecidos, interrompendo-se, assim, a respiração e as atividades enzimáticas e microbiológicas responsáveis pelo processo de decomposição do material.

A *moagem* da amostra seca é feita, geralmente, em moinhos de facas de aço inoxidável, tipo Willey, passando em peneira de 1 mm de malha (20 mesh). A limpeza do moinho entre uma amostra e outra é necessária para evitar contaminação.

O *armazenamento* das amostras moídas, de maneira geral, é feito em frascos de vidros providos de tampa plástica. Dessa maneira, a amostra pode ser armazenada por longo período de tempo se mantida a baixa temperatura (4° C), protegida da luz e de umidade.

➤ **Análise química do material vegetal**

A análise química dos tecidos vegetais da amostra seca, refere-se às operações efetuadas no laboratório e compreende a mineralização ou destruição da matéria orgânica e quantificação dos elementos químicos que a compõem. A Figura 4 resume os passos que a amostra percorre no laboratório para essas determinações

analíticas. A descrição detalhada das metodologias utilizadas na análise química não é objetivo desse trabalho e podem ser encontradas em diversas literaturas, citando-se algumas (Sarruge e Haag, 1974; Bataglia et al., 1983; Mills e Jones Jr., 1996; Malavolta et al., 1997; Silva, 1999).

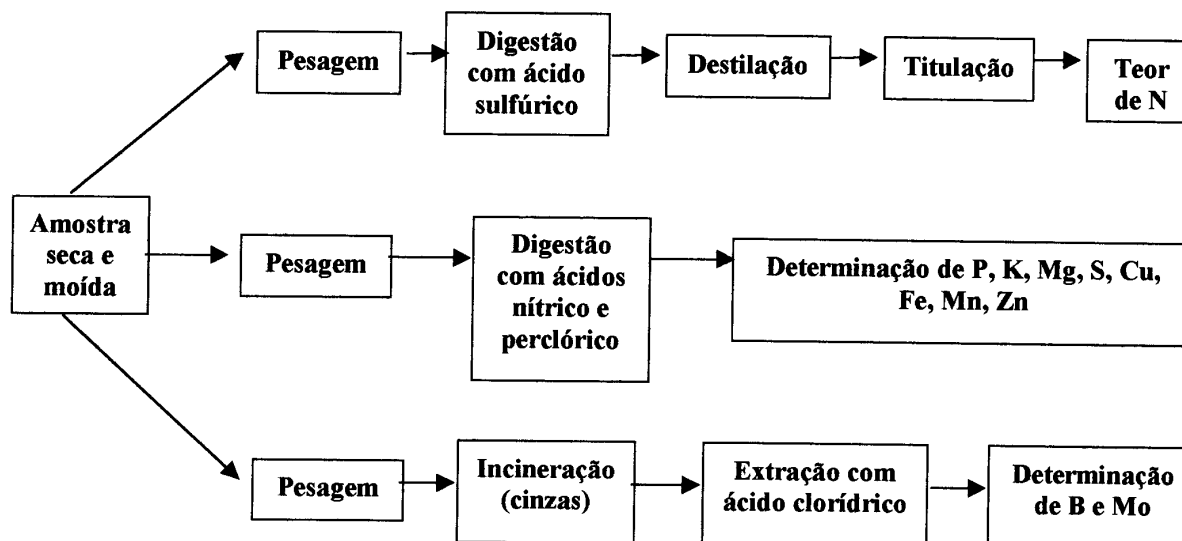


FIGURA 4. Passos para a determinação analítica dos nutrientes em laboratório.

É importante destacar que a pesagem das sub-amostras recomendadas na metodologia para as análises químicas, deve ser precedida de uma ressecagem e cuidadosa homogeneização da amostra. Isso é necessário para a eliminação da umidade eventualmente adquirida pela amostra durante o armazenamento e, também, para uniformização das partículas finas e grossas, principalmente quando as plantas possuem materiais fibrosos e não fibrosos.

2.2.3 - Padrões de referências

Como já descrito na introdução geral desse livro, o padrão seria uma planta "normal" do ponto de vista nutricional e capaz de altas produções, obtido experimentalmente em condições controladas ou a campo e, também, em plantios comerciais. A obtenção e estabelecimento de padrões é uma atribuição da pesquisa, e a literatura específica apresenta padrões nutricionais para as principais culturas brasileiras. No item seguinte, exemplos de padrões serão apresentados para os diferentes métodos de interpretação dos resultados da análise foliar e para diversas culturas.

Também como ressaltado no item amostragem, na falta de padrões para uma determinada espécie ou haver a necessidade de diagnóstico fora da época padronizada de amostragem, podem ser criados padrões para uma situação

particular, empregando-se a análise de plantas com aspecto normal e que estejam produzindo bem.

2.2.4 - Interpretação dos resultados da análise

➤ Aspectos gerais

Os teores (ou concentração) dos nutrientes no tecido vegetal são sempre expressos na forma elementar: N, P, K, Fe, Zn, etc. As unidades usadas nos padrões e nos resultados analíticos para expressar os teores eram até recentemente, % para os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e ppm para os micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn). Atualmente, essas unidades foram substituídas por outras do Sistema Internacional: % por g/kg ou dag/kg de matéria seca (MS) e ppm por mg/kg de MS.

Como os padrões nutricionais de literaturas mais antigas e alguns laboratórios ainda expressam seus resultados analíticos usando as unidades anteriores, torna-se importante para comparações o conhecimento das relações entre elas: g/kg (= % x 10) e dag/kg (= %); mg/kg (= ppm).

Também não se deve confundir os termos “teor” e “conteúdo” de nutrientes. O teor refere-se à concentração, (por exemplo, %, g/kg, mg/kg), enquanto que o conteúdo refere-se à quantidade do elemento em um órgão, parte aérea, raízes, toda a planta (por exemplo, g/planta, mg/planta).

A interpretação da análise química dos tecidos da amostra é feita, basicamente, comparando-se os resultados emitidos pelo laboratório com os valores estabelecidos nos padrões da literatura. Na interpretação, é importante lembrar, que uma série de fatores do clima, do solo, da cultura, práticas culturais, pragas, doenças, dentre outros, influenciam a composição mineral dos tecidos vegetais. Assim, o teor de um nutriente dentro da planta é um valor integral de todos os fatores que interagiram para afetá-lo. Portanto, é fundamental na interpretação, que o técnico use toda sua experiência e conhecimento desses fatores local e regionalmente, visto que os padrões podem ter sido estabelecidos em condições bem diferentes daquela onde a amostra foi obtida. Novos dados obtidos em uma região específica, podem ser de grande valia para um ajuste dos padrões e levar a uma interpretação mais segura dos resultados.

Para os diversos métodos de interpretação, a diagnose foliar tem servido basicamente para o acompanhamento dos resultados da adubação (recomendada com base na análise química do solo), sendo nesse caso, uma interpretação apenas qualitativa. Principalmente em culturas perenes, onde a adubação é aplicada parceladamente, a interpretação da análise foliar pode dar informações importantes para um ajuste no plano de adubação, recomendado pela análise do solo. Nesse caso, a interpretação seria quantitativa. Mas, são poucas as informações sobre as quantidades de adubos que devem ser aumentadas, no caso da diagnose foliar indicar alguma deficiência, ou diminuídas, no caso de se detectar algum excesso.

Recomendações de doses de fertilizantes baseadas nos resultados da diagnose foliar são encontradas apenas para nitrogênio (para o qual não se faz análise de solo) em algumas culturas perenes, como é o caso do café e citros no estado de São Paulo (Raij et al., 1996) e café no estado de Minas Gerais (Guimarães et al., 1999). A Tabela 5 mostra que alternativamente, a recomendação de nitrogênio para o cafeeiro em Minas Gerais pode ser baseada na análise foliar, sendo as doses tanto maiores quanto menores forem os teores foliares de N, em cada nível de produtividade esperada.

TABELA 5 - Doses de nitrogênio recomendadas em função da produtividade esperada e do teor foliar de N ou de doses preestabelecidas deste nutriente e doses de K₂O de acordo com a produtividade esperada e com a disponibilidade de potássio do solo.

Produtividade Esperada	Teor de N foliar			Dose de N ^{1/}	Classes de Fertilidade			
	Baixo	Adequado	Alto		Baixo	Médio	Bom	Muito Bom
< 2,5	2,6-3,0	3,1-3,5		< 60	60-120	120-200	> 200	
-----Doses de N-----				-----Doses de K ₂ O-----				
sc/ha	-----kg/ha/ano-----							
< 20	200	140	80	200	200	150	100	0
20-30	250	175	110	250	250	190	125	0
30-40	300	220	140	300	300	225	150	0
40-50	350	260	170	350	350	260	175	50
50-60	400	300	200	400	400	300	200	75
> 60	450	340	230	450	450	340	225	100

^{1/} Doses preestabelecidas de nitrogênio, quando não se realizou análise foliar.

Guimarães et al. (1999).

Interessante destacar na Tabela 5 é que as doses preestabelecidas de N, recomendadas quando não se realizou a análise foliar, são as mesmas daquelas para o teor baixo do nutriente nas folhas. Dessa maneira, caso a cultura esteja bem nutrida, com teores foliares adequado ou alto, o agricultor estará aplicando adubo desnecessariamente, aumentando seus custos e inclusive, podendo reduzir sua produtividade por toxidez e, ou, desbalanço nutricional.

Um exemplo de ajuste de adubação para o cafeeiro, é a chamada adubação modular, que leva em consideração a análise do solo, análise foliar e previsão da safra (Malavolta e Moreira, 1997). Esse método prevê quatro parcelamentos da adubação recomendada pela análise do solo e previsão de safra. Os dois primeiros parcelamentos são aplicados de acordo com o planejamento. Depois do segundo

parcelamento é realizada a análise foliar. Baseando-se nos resultados são introduzidas ou não mudanças nas doses do terceiro e, ou, quarto parcelamentos, aumentando-se as doses no caso de indicação de deficiência ou diminuindo-se ou cancelando-se a aplicação se houver indicação de excesso.

Um outro exemplo de ajuste do plano preestabelecido de adubação para o cafeeiro, usando o resultado da análise foliar, é encontrado em Guimarães et al. (1999). Segundo os autores, após o segundo parcelamento do adubo nitrogenado, se o seu teor foliar for igual ou superior a 3,5 dag/kg (a faixa de 3,1 a 3,5 dag/kg é considerada alta), deve-se cancelar a terceira ou quarta aplicação.

Dessa maneira, o uso da diagnose foliar tanto para o acompanhamento dos resultados de adubação (qualitativo) quanto para recomendação ou ajuste no plano de adubação (quantitativo), pode representar grande economia de adubo e ganho na produção.

Há diversos métodos de se interpretar os resultados de análises foliares, dentre os quais os mais utilizados para a comparação são os níveis críticos e as faixas de suficiência. Existem outros como os fertigramas, DRIS, desvio percentual do ótimo, que serão descritos.

a) Níveis críticos e faixas de suficiência

Nível crítico foi definido na introdução da diagnose foliar como “o teor (ou faixa de teores) do nutriente na folha abaixo do qual a produção (ou crescimento) é reduzida e acima não é econômica” (Figura 1). Na pesquisa, de maneira geral, o nível crítico tem sido estabelecido como o teor do nutriente na folha associado à 90 ou 95% da produção ou crescimento máximo da cultura, em resposta a doses crescentes de dado nutriente (Ulrich e Hills, 1967; Bouma, 1983; Alvarez V. et al., 1988), admitindo-se representar a máxima eficiência econômica. Isso quer dizer: não adianta usar adubo além de um dado nível ou quantidade pois, mesmo que a produção continuar a crescer, o aumento na colheita não paga o adubo adicional aplicado. Mas, há situações em que esse critério deve ser analisado, pelo valor da cultura em relação ao custo do fertilizante.

No estabelecimento dos níveis críticos pela pesquisa, tem sido usado basicamente os critérios das equações de regressão e de Cate e Nelson (1965).

No primeiro critério, usa-se relacionar as doses de um determinado nutriente aplicado ao meio com os seus teores foliares e o crescimento ou produção da cultura. A relação básica entre essas três variáveis é representada esquematicamente na Figura 5. Em seguida, busca-se relações matemáticas entre elas, geralmente modelos não lineares para doses e crescimento e lineares para doses e teores. Inicialmente, ajusta-se um modelo relacionando o crescimento ou produção (Y) em função das doses do nutriente aplicadas ao meio (X). A derivada primeira da equação obtida (Y') é igualada a zero, obtendo-se o ponto de máximo, que representa a dose do nutriente que propiciou a máxima produção ou crescimento da

cultura. Substituindo-se esse valor na equação que relaciona os teores foliares do nutriente (Z) em função das suas doses aplicadas ao meio (X), obtém-se o teor foliar estimado (nível crítico) do nutriente associado ao crescimento ou produção máxima.

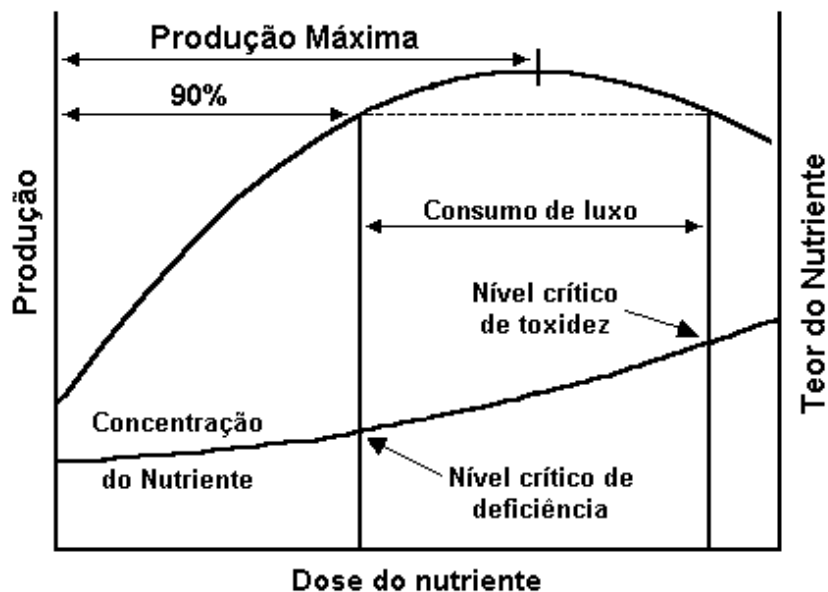


FIGURA 5. Relação básica entre a dose do nutriente aplicado, o teor foliar e a produção, com ilustração do nível crítico para 90% da produção máxima e o nível tóxico para redução de 10% da máxima por excesso

Para estimar o nível crítico para 90 ou 95% do crescimento ou produção máxima, o procedimento é semelhante, bastando estimar as doses do nutriente suficientes para esses níveis de produção e substituir esses valores na equação que relaciona os teores foliares do nutriente (Z) e as doses do mesmo aplicadas (X).

As Tabelas 6 e 7 mostram um exemplo do uso do critério das equações de regressão no estabelecimento dos níveis críticos de P, para a produção máxima e 90% da máxima do feijoeiro cultivado em quatro solos de várzea, em ambiente protegido. Observa-se na Tabela 6, que as doses de P aplicadas correspondentes à 90% da produção máxima de matéria seca de grãos (MSGGR) foram, em função do tipo de solo, de 37 a 54% menores que aquelas aplicadas para a produção máxima, ou seja, a redução de apenas 10% na MSGGR, correspondeu a uma grande economia na dose do nutriente. Esse fato é comprovado pela taxa de benefício, aqui definida como “gramas de MSGGR produzida por grama de P aplicado”. Nesse caso, na dose para 90% do máximo, a produção de grãos por unidade de P aplicado foi, em função do tipo de solo, de 43 a 99% maior do que a correspondente para a

produção máxima (Tabela 6). Esses dados justificam a recomendação de se estimar os níveis críticos à 90% da produção máxima.

Assim, substituindo-se as doses de P para a produção máxima e 90% da máxima (Tabela 6), nas equações da Tabela 7, foram estimados os níveis críticos foliares de P para o feijoeiro cultivado em solos de várzea, correspondentes a esses níveis de produção. Como já foi dito, uma série de fatores influenciam na composição mineral das folhas, dentre eles o clima, o solo, a planta, etc. Os valores dos níveis críticos de P apresentados na Tabela 7 é um bom exemplo de como o solo pode influenciar na nutrição da planta. Por isso, na prática da comparação dos resultados da análise foliar com o padrão da literatura, o técnico deve tomar muito cuidado e ser bastante criterioso na interpretação dos dados.

TABELA 6 - Equações de regressão ajustadas entre a produção de matéria seca de grãos (MSGR) do feijoeiro (Y) e as doses de P aplicadas (X); produção estimada de MSGR correspondentes à produção máxima e 90% da máxima; doses de P estimadas para promover essas produções e taxa de benefício à aplicação de fósforo em quatro solos de várzea.

Solo ¹	Equação ²	R ²	MSGR (g/vaso)		Dose de P (mg/dm ³)		Taxa benefício (g MSGR/g P aplicado.vaso) ³		
			90%	Máxima	90%	Máxima	90%	Máxima	90%/Máxima
GH	$Y = -21,12 + 2,98x^{0,5} - 0,054X$	0,99**	17,89	19,88	460	735	12,96	9,03	1,43
O	$Y = 1,730 + 1,69x^{0,5} - 0,033X$	0,98**	21,14	23,49	299	664	23,49	11,80	1,99
A	$Y = -12,85 + 3,02x^{0,5} - 0,060X$	0,99**	22,38	24,87	345	625	21,72	13,30	1,63
GP	$Y = -9,03 + 2,76x^{0,5} - 0,053X$	0,98**	24,23	26,92	359	680	22,43	13,20	1,70

¹Solo: GH-Glei Húmico, O-Orgânico, A -Aluvial, GP-Glei Pouco Húmico; ²Y=MSGR(g/vaso), X=dose de P(mg/dm³), ³vaso de 3 dm³

Adaptado de Fernandes (1999).

TABELA 7 - Equações de regressão ajustadas entre o teor de P nas folhas do feijoeiro, em g/kg (Y) e as doses de P aplicadas, em mg/dm³ (X), e os níveis críticos foliares de fósforo estimados para a produção máxima e 90% da máxima do feijoeiro cultivado em quatro solos de várzea.

Solo	Equação	R ²	Níveis críticos (g/kg)	
			90%	Máxima
GH	$Y=0,4018+0,0052X$	0,98**	2,8	4,2
O	$Y=1,8515+0,0035X$	0,85**	3,0	4,1
A	$Y=1,6470+0,0052X$	0,94**	3,5	4,9
GP	$Y=2,4711+0,0048X$	0,94**	4,2	5,7

Adaptado de Fernandes (1999).

Alguns autores têm usado o critério de Cate e Nelson (1965) para estimar os níveis críticos, onde se procura ajustar duas perpendiculares em um gráfico que relaciona os teores foliares do nutriente e o crescimento ou produção da cultura, de modo que o máximo de pontos caia nos quadrantes positivos. A Figura 6 ilustra esse critério na determinação do nível crítico de zinco para o milho. Observa-se que a distribuição dos pontos, tal como ressaltado para a Figura 3, segue a curva básica que relaciona os teores foliares e a produção (Figura 1) e que o nível crítico estabelecido, considerando uma curva básica hipotética, fica pouco abaixo da produção máxima.

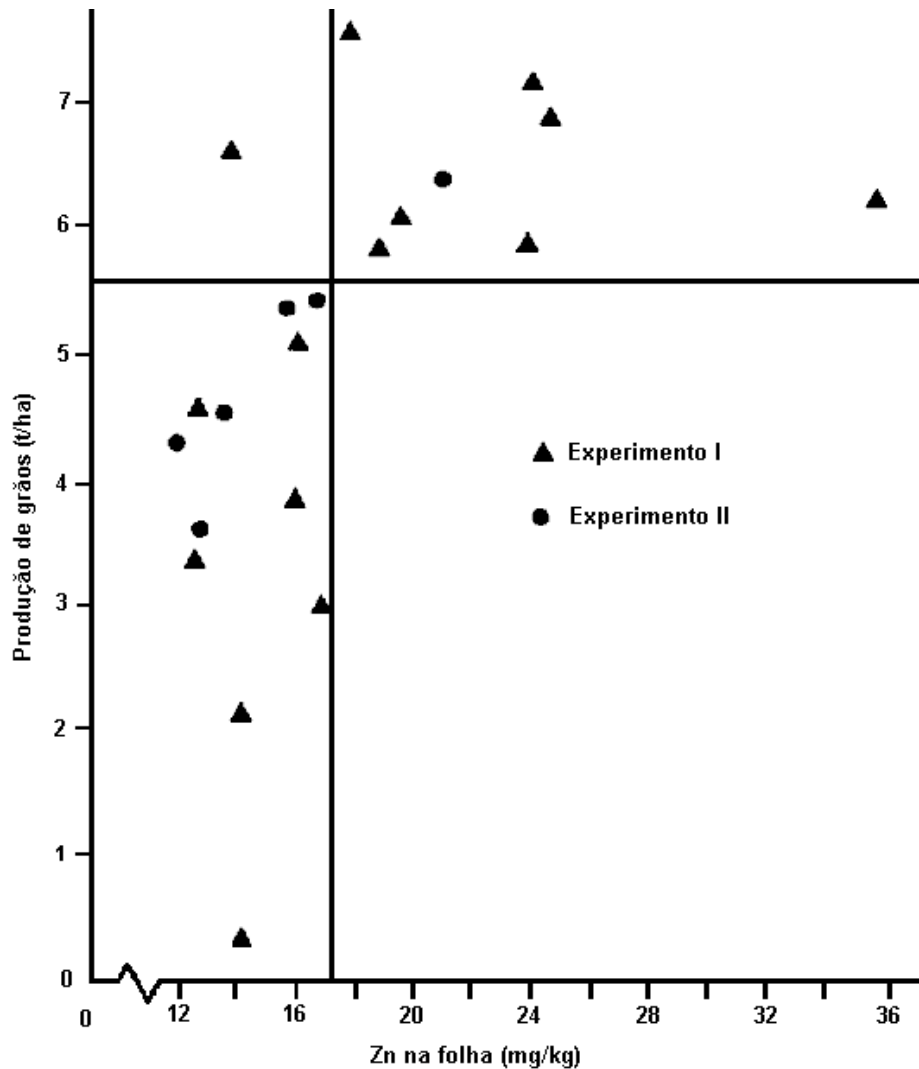


FIGURA 6. Uso do critério de Cate e Nelson na determinação do nível crítico de zinco em folha de milho (Ritchey et al., 1986).

Como já foi descrito, os teores foliares dos nutrientes são influenciados por diversos fatores, e isso dificulta o diagnóstico do estado nutricional da lavoura, comparando os valores da amostra com um único valor numérico do padrão, definido como nível crítico. Assim, para boa parte das culturas, os padrões da literatura têm apresentado não apenas um valor crítico dos nutrientes nas folhas, mas um estreito intervalo de teores denominado de “faixas de teores adequados” ou “faixas de suficiência”. Em relação ao nível crítico, a adoção de faixas de suficiência melhora a flexibilidade na diagnose, embora haja perda na exatidão, principalmente quando os limites das faixas são muito amplos.

Martinez et al. (2000) calcularam as faixas críticas para macro e micronutrientes em cafeeiro em quatro regiões do estado de Minas Gerais, a partir dos resultados de lavouras de alta produtividade (maior que 30 sc/ha na média de dois anos consecutivos), adotando-se como faixa crítica a média das concentrações foliares dos nutrientes, mais ou menos o desvio padrão. Uma outra possibilidade para o estabelecimento das faixas de suficiência, seria estimar os níveis críticos para 90 e 95% da produção máxima através das equações de regressão, e considerar a faixa entre eles como teores adequados ou de suficiência.

Embora muito esteja por ser feito em relação ao estabelecimento de padrões nutricionais, e que os valores obtidos regionalmente são cada vez mais importantes, reduzindo-se os efeitos de fatores tais como clima, solo, dentre outros, já existem muitas informações sobre níveis críticos e faixas de suficiência para as culturas mais importantes do Brasil. Citam-se como referências mais abrangentes e recentes, Malavolta et al. (1997), Silva (1999) e Martinez et al. (1999). As Tabelas 8 e 9, respectivamente para os macro e micronutrientes, trazem os níveis críticos ou faixas críticas para as principais culturas (Malavolta et al., 1997).

Esses valores têm sido usados como guia básico para interpretação do estado nutricional das culturas. Para tal, faz-se a comparação dos teores dos nutrientes na amostra em teste com o padrão. Se o teor de dado nutriente apresentar um valor igual ou ligeiramente superior ao nível crítico ou faixa crítica do padrão, considera-se que a cultura esteja bem nutrida no nutriente em questão; se estiver abaixo, considera-se que a planta poderá apresentar problemas nutricionais relativos ao mesmo.

TABELA 8 - Níveis críticos ou faixas críticas de macronutrientes para as principais culturas.

Cultura	N	P	K	Ca	Mg	S
------(g/kg)-----						
CEREAIS						
Arroz	40-48	2,5-4,0	25-35	7,5-10,0	5,0-7,0	1,5-2,0
Cevada	12-17	2,0-5,0	15-30	3,0-12,0	1,5-5,0	1,5-4,0
Milho	27,5-32,5	2,5-3,5	17,5-22,5	2,5-4,0	2,5-4,0	1,5-2,0
Sorgo	13-15	4,0-8,0	25-30	4,0-6,0	4,0-6,0	0,5-1,0
Trigo	30-33	2,0-3,0	23-25	14,0	4,0	4,0
ESSÊNCIAS FLORESTAIS						
Araucária	16-17	1,4-1,8	13-15	6,0-8,0	2,0-3,0	1,5-2,0
Eucalipto	14-16	1,0-1,2	10-12	8,0-12,0	4,0-5,0	1,5-2,0
Pinus	12-13	1,4-1,6	10-11	3,0-5,0	1,5-2,0	1,4-1,6
Pupunheira	35	2	11	4	3	2
Seringueira	26-35	1,6-2,3	10-14	7,6-8,2	1,7-2,4	1,8-2,6
ESTIMULANTES						
Cacaueiro	19-23	1,5-1,8	17-20	9,0-12,0	4,0-7,0	1,7-2,0
Cafeeiro	29-32	1,6-1,9	22-25	13,0-15,0	4,0-4,5	1,5-2,0
Chá	45-50	4,5-5,0	20-25	3,0-4,0	2,0-2,5	?
Fumo	35-40	2,0-3,0	40-50	15,0-20,0	4,0-8,0	4,0-6,0
Guaranazeiro	45-50	3,0-4,0	10-15	3,0-5,0	2,0-3,0	1,5-2,0
FIBROSAS						
Algodoeiro						
Herbáceo	35-40	2,0-2,5	14-16	30-40	4,0-5,0	2,0-3,0
Arbóreo	26-33	2,0-3,0	24-27	15-38	18-23	6,0-12,0
Juta ²	1,2	6,4	12,4	-	-	-

Continua...

Tabela 8. Continuação...

Cultura	N	P	K	Ca	Mg	S
(g/kg)						
FORRAGEIRAS						
Gramíneas						
Colonião	11,3-15,0	0,8-1,1	14,3-18,4	4,0-10,2	1,2-2,2	1,1-1,5
Jaraguá	12,8-14,7	0,6-1,1	10,8-16,5	2,3-4,6	1,5-2,3	1,3-1,8
Napier	18,0	1,2	15,0	3,7	2,0	7,0
Leguminosas (parte aérea)						
Galáctia	35	5	50	37	5	2
Soja perene	30	15	37	27	5	2
Siratiro	27	4	27	21	7	1
Estilosantes	26	6	35	22	4	4
FRUITÍFERAS						
Abacateiro	16-20	1,2-2,5	15-20	15-30	4-8	2-3
Abacaxi	20-22	2,1-2,3	25-27	3-4	4-5	2-3
Bananeira	27-36	1,8-2,7	35-54	2,5-12	3-6	2-3
Cajueiro	20	2,1	17	2	1	1,5
Citros	25-27	1,2-1,6	12-17	30-49	3-5	1,5-2,0
Figo	22-24	1,2-1,6	12-17	26-34	6-8	-
Goiabeira	30	3	30	13	3	3
Kiwi	25	2,5	20	4,5	3,5	4
Macieira	23-25	2,0-2,5	15-20	14-20	2-4	2-3
Mamoeiro						
Limbo	45-50	5-7	25-30	20-22	10	4-6
Peciolo	10	3	25-30	15	4	?
Mangueira						
Ramos com frutos	10-12	0,8-1,2	4-5	28-34	5-8	1,5-1,8

Continua....

Tabela 8. Continuação...

Cultura	N	P	K	Ca	Mg	S
----- (g/kg) -----						
Ramos sem frutos	12-13	1,2-1,4	4-6	30-33	5-6	1,6-1,8
Maracujazeiro	40-50	4-5	35-45	15-20	3-4	3-4
Pereira	23-27	1,4-2,0	12-20	14-21	3-5	1,7-2,6
Pessegueiro	26-35	2-3	25-30	15-25	3-5	2-3
Videira						
Peciolo	25-27	2-3	15-20	30-40	3-4	2-3
HORTALIÇAS						
Abóboras (peciolo)	15000 (N-NO ₃ , mg/kg)	16000 (P-PO ₄ , mg/kg)	100			
Alho						
Antes dos bulbos	50	3	40	1	1,5	15
Durante	40	3	30	6	3	7
Depois	30	3	20	6	3	3
Alface	30	3,5	50	12,5	3,5	2,5
Brócolos	9000 (N-NO ₃ , mg/kg)	4000 (P-PO ₄ , mg/kg)	50	-	-	-
Cebola	40	3	40	4	4	7
Cenoura ³	7500 (N-NO ₃ , mg/kg)	3000 (P-PO ₄ , mg/kg)	60	22,5	3,5	4
Couve-flor ³	7000 (N-NO ₃ , mg/kg)	3500 (P-PO ₄ , mg/kg)	40	15	4	12,5
Ervilha	45	3	20	15	3	5
Espinafre	40	4	60	10	10	3
Melancia	7500 (N-NO ₃ , mg/kg)	2500 (P-PO ₄ , mg/kg)	50	-	-	-

Continua...

Tabela 8. Continuação...

Cultura	N	P	K	Ca	Mg	S
(g/kg)						
Melões	30	3,5	50	-	-	-
Pepino	7500 (N-NO ₃ , mg/kg)	2500 (P-PO ₄ , mg/kg)	50	-	-	-
Pimentão	35	2,5	25	25	7,5	4
Repolho	8000 (N-NO ₃ , mg/kg)	3000 (P-PO ₄ , mg/kg)	50			
Tomateiro (pecíolo)	30 13000 (N-NO ₃ , mg/kg)	3,5 3000 (P-PO ₄ , mg/kg)	40 60	14-18	4	3
Vagens	35	3	22,5	-	-	-
LEGUMINOSAS DE GRÃOS						
Feijões						
<i>Phaseolus</i>	30-50	2,0-3,0	20-25	15-20	4-7	5-10
<i>Vigna</i>	18-22	1,2-1,5	30-35	50-55	5-8	1,5-2,0
Soja	45-55	2,6-5,0	17-25	4-2	3-10	2,5
OLEAGINOSAS						
Amendoim	40	2	15	20	3	2,5
Dendzeiro						
Folha 9	27	1,6	12,5	5	2,3	2,1
Folha 17	25	1,5	10,0	6	2,4	2,1
Girassol	33-35	4-7	20-24	17-22	9-11	5-7
Mamoneira	40-50	3-4	30-40	15-25	2,5-3,5	3-4
ORNAMENTAIS						
Azaléa	15-25	2,0-5,0	5,0-15	5,0-15	2,5-10	2,0-5,0
Bougainvillea	25-45	2,5-7,5	3,0-5,5	10-20	2,5-7,5	2,0-5,0
Cravo	32-52	2,5-8,0	28-60	10-20	2,5-7,0	2,5-8,0
Crisântemo	40-60	2,5-10	40-60	10-20	2,5-10	2,5-7,0

Continua....

Tabela 8. Continuação...

Cultura	N	P	K	Ca	Mg	S
----- (g/kg) -----						
Gerânio	35-48	4,0-7,0	25-43	8,0-12	2,0-5,0	2,5-7,0
Hortência	30-55	2,5-7,0	22-50	6,0-18	2,2-5,0	2,0-7,0
Lírio	33-48	2,5-7,0	33-50	6,0-15	2,0-7,0	2,5-7,0
Orquídea	15-25	1,3-7,5	20-35	5,0-20	3,0-7,0	1,5-7,5
Roseira	30-50	2,5-5,0	15-30	10-20	2,5-5,0	2,5-7,0
Violeta	30-60	3,0-7,0	30-65	10-20	3,5-7,5	3,0-7,0
SACARINAS E AMILÁCEAS						
Batatinha	30	3,5	50	20	7,5	3,5
Cana-de-açúcar						
Planta	19-21	2,0-2,4	11-13	8-10	2-3	2,5-3,0
Soqueira	20-22	1,8-2,0	13-15	5-7	2-2,5	2,5-3,0
Mandioca	51-58	3,0-5,0	13-20	7,5-8,5	2,9-3,1	2,6-3,0

¹ Os valores dados nas indicações gerais correspondem à amostragem da Tabela 4.

² Extração com HAC 0,5 N.

³ Dados para Ca, Mg e S - parte aérea.

Malavolta et al. (1997).

TABELA 9 - Níveis críticos ou faixas críticas de micronutrientes para as principais culturas.

Cultura	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
-----(mg/kg)-----						
CEREAIS						
Arroz	40-70	10-20	200-300	100-150	-	25-35
Cevada	-	5-25	-	25-100	0,11-0,18	15-70
Milho	15-20	6-20	50-250	50-150	0,15-0,20	15-50
Sorgo	20	10	200	100	?	20
Trigo	20	9-18	-	16-28	1-5	20-40
ESSÊNCIAS FLORESTAIS						
Araucária	10	3	25	4	-	5
Eucalipto	40-50	8-10	150-200	100-600	0,5-1,0	40-60
Pinus	20-30	5-8	50-100	200-300	0,10-0,30	34-40
Pupunheira	30	9	126	142	-	23
Seringueira	20-70	10-15	70-90	15-40	1,5-2,0	20-30
ESTIMULANTES						
Cacaueiro	30-40	10-15	150-200	150-200	0,5-1,0	50-70
Cafeeiro	50-60	11-14	100-130	80-100	0,10-0,15	15-20
Chá	-	20	-	-	-	-
Fumo	19-261	-	68-140	160	1	-
FIBROSAS						
Algodoeiro Herbáceo	20-30	30-40	60-80	20-40	1-2	10-15
FORRAGEIRAS						
Gramíneas						
Colonião	15-20	7-10	100-150	80-100	0,5-1,0	20-25
Jaraguá	20-25	3-5	150-200	200-300	0,11-0,15	25-30
Napier	25-30	10-15	150-200	150-200	0,5-0,75	40-50
Leguminosas						
Galácia	60-70	5-7	150-200	200-250	-	15-20
Soja perene	40-60	8-10	150-200	100-120	0,5-0,8	30-35
Sitrato	25-30	8-10	100-150	60-90	0,2-0,4	25-30
Estilosantes	70-80	4-7	600-700	90-120	-	25-30

Continua...

Tabela 9. Continuação...

Cultura	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
------(mg/kg)-----						
FRUTÍFERAS						
Abacateiro	50-100	5-15	50-200	30-500	-	30-150
Abacaxi	30-40	9-12	100-200	50-200	-	10-15
Bananeira	10-25	6-30	80-360	200-2000	-	20-50
Citros	36-100	5-16	60-120	25-100	0,1-1,0	25-100
Figo	50-80	4-8	80-160	60-100	-	11-13
Goiabeira	-	10-16	144-162	202-398	-	28-32
Kiwi	40-50	10-15	90-100	100-150	0,2	20-40
Macieira	30-65	5-10	100-200	50-100	0,15-0,30	25-30
Mamoeiro (limbo)	15	11	291	70	-	43
Mangueira	30	30	70	120	-	90
Maracujazeiro	40-50	10-20	120-200	400-600	-	25-40
Pereira	20-40	9-20	60-200	60-120	-	30-40
Pessegueiro	40-60	-	-	100-150	-	30-40
Videira	30-40	-	-	40-100	-	25-40
HORTALIÇAS						
Alho Parte aérea, meio do ciclo	50	25	200	100	-	75
Batatinha meio do ciclo	40-50	5-8	800-1000	-	-	-
Couve-flor	60-80	8-10	120-140	50-70	0,4-0,8	30-50
Ervilha	100-110	15-20	100-120	40-50	0,6-1,0	80-200
Espinafre	30-40	10-15	300-400	200-250	-	100-120
Repolho	-	15-20	80-100	25-40	-	30-40
Tomateiro	50-70	10-15	500-700	250-400	0,3-0,5	60-70
LEGUMINOSAS DE GRÃOS						
Feijões <i>Phaseolus</i>	30-60	10-20	100-450	30-300	?	20-100
<i>Vigna</i>	150-200	5-7	700-900	400-425	0,2-0,3	40-50
Soja	21-55	10-30	51-350	21-100	?	21-50
OLEAGINOSAS						
Amendoim	140-180	-	-	110-440	0,13-1,39	-
Dendezeiro	12-14	10	50-250	50	0,1-0,6	18
Girassol	50-70	30-50	150-300	300-600	-	70-140

Tabela 9. Continuação...

Cultura	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
----- (mg/kg) -----						
ORNAMENTAIS						
Azaléa	25-75	6-25	50-250	40-200	-	20-200
Bougainvillea	25-75	8-50	50-300	50-200	-	20-200
Cravo	30-100	8-30	50-200	50-200	-	25-200
Crisântemo	25-75	10-50	90-300	50-300	-	15-200
Hortênsia	20-50	6-50	50-300	50-300	-	20-200
Lírio	25-75	8-50	60-200	35-200	-	20-200
Orquídea	25-75	5-20	50-200	40-200	-	25-200
Roseira	30-60	7-25	60-200	30-200	0,1-0,9	18-100
Violeta	25-75	8-35	50-200	40-200	-	25-100
SACARINAS E AMILÁCEAS						
Cana-de-açúcar						
Planta	15-50	8-10	200-500	100-250	0,15-0,30	25-50
Soqueiras	?	8-10	80-150	50-125	?	25-30
Mandioca	30-60	6-10	120-140	50-120	?	30-60

Malavolta et al. (1997).

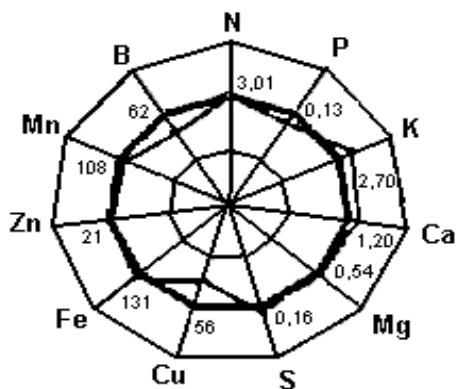
É importante lembrar, como descrito no item referente à amostragem, que no caso de culturas para as quais não se estabeleceram os padrões ou em casos de necessidade de amostragem fora da época padronizada, recomenda-se a comparação dos dados da amostra de plantas supostamente com problemas nutricionais, com os obtidos de análises de plantas tidas como normais.

b) Fertigrama foliar

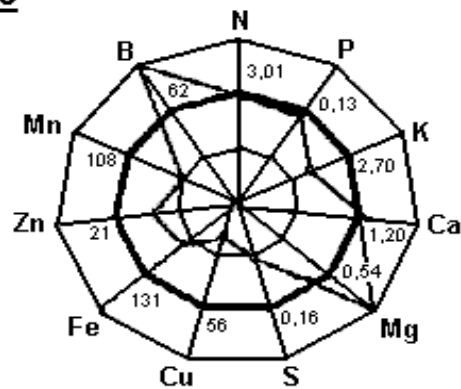
Os fertigramas foliares são gráficos que podem ser construídos pelo próprio técnico e servem para a interpretação do estado nutricional da cultura, permitindo, também, inferir-se sobre o equilíbrio nutricional da lavoura. Os gráficos são construídos com círculos concêntricos e por eixos radiais de igual número ao de nutrientes a serem plotados. Em uma altura comum e conveniente em cada eixo, são plotados os valores dos níveis críticos ou a faixa crítica do nutriente correspondente, usando-se as unidades de expressão do padrão e em uma escala adequada. Unindo-se os pontos dos níveis ou faixas críticas entre os eixos vizinhos, origina-se um polígono regular, padrão, que representa o estado nutricional adequado ou ótimo da cultura.

O uso do fertigrama assim construído para a interpretação dos resultados analíticos de uma amostra é o seguinte: os valores dos teores foliares obtidos na amostra são plotados nos eixos correspondentes e os pontos dos eixos vizinhos são ligados entre si. A interpretação é feita pela comparação entre o polígono regular formado pela ligação dos pontos dos níveis ou faixas críticas e o formado pelos dados da amostra. Quanto mais regular e mais próximo do polígono padrão estiver aquele formado pelos dados da amostra, melhor é o seu estado e equilíbrio nutricional. A presença de picos e reentrâncias que se distanciam do círculo de níveis críticos indicam, respectivamente, excessos e deficiências, bem como um desequilíbrio nutricional.

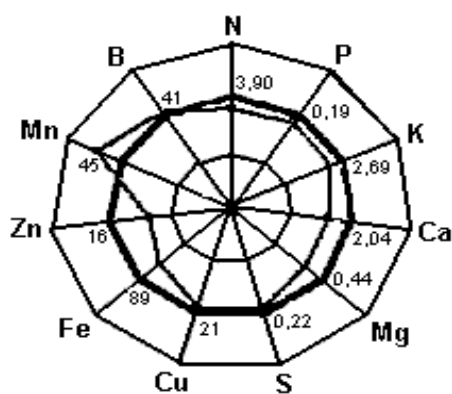
Um ótimo exemplo do uso de fertigramas para o cafeeiro em duas regiões de Minas Gerais, é mostrado na Figura 7 (Martinez et al., 1999). Observa-se que em ambas as regiões, pela interpretação do fertigrama, as lavouras de alta produtividade (> 30 sc/ha) são aquelas associadas a um melhor estado e equilíbrio nutricional. Aquelas de média (entre 30-15 sc/ha) e baixa (< de 15 sc/ha) produtividades, apresentam-se com polígonos totalmente irregulares, com inúmeros picos e reentrâncias, indicando excessos, deficiências e um total desequilíbrio nutricional.

Patrocínio

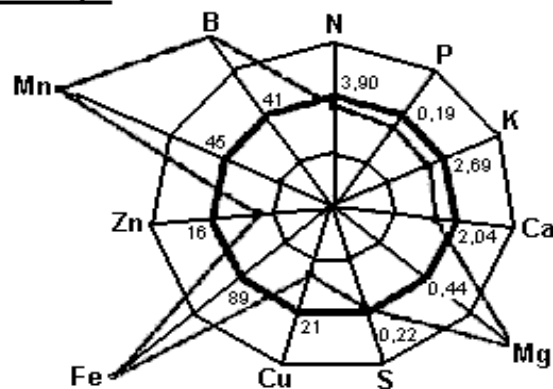
*Alta produtividade
(> 30 sc/ha)*



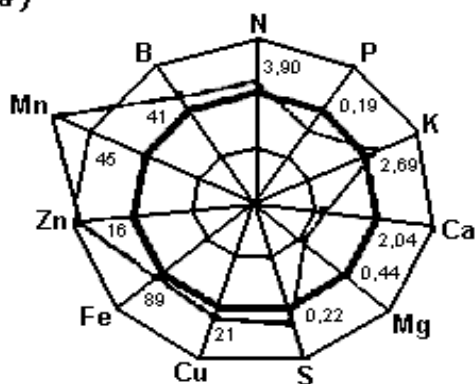
*Baixa produtividade
(< 15 sc/ha)*

Manhuaçu

*Alta produtividade
(> 30 sc/ha)*



*Baixa produtividade
(< 15 sc/ha)*



*Média produtividade
(15 - 30 sc/ha)*

FIGURA 7. Uso de fertigrama para interpretação do estado e equilíbrio nutricional em lavouras de café de alta, média e baixa produtividade nas regiões de Patrocínio e Manhuaçu – MG. Média de dois anos consecutivos. (Martinez et al., 1999).

Importante destacar na Figura 7 é que os níveis críticos plotados de cada nutriente, que originaram o polígono padrão, foram obtidos de lavouras de alta produtividade da própria região, minimizando, assim, a influência de outros fatores como o clima, o solo, nos teores foliares.

Na prática, seria importante o técnico plotar em um mesmo gráfico, os dados da análise foliar da lavoura em anos consecutivos. Isso permitiria visualizar a evolução do estado nutricional da cultura e observar os ajustes que devem ser feitos no programa de adubação.

c) DRIS (*Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação*)

Certamente, os critérios dos níveis críticos e das faixas de suficiência são os mais usados para a interpretação dos resultados da análise foliar. Essas técnicas apresentam a desvantagem dos nutrientes serem interpretados individualmente, não se considerando as interações entre eles, ou seja, o equilíbrio nutricional: a nutrição adequada da planta não é dada apenas pelos teores individuais de cada nutriente, mas, também, pela relação entre eles.

O DRIS, desenvolvido por Beaufils (1973), é um método de interpretação da análise foliar que considera o equilíbrio nutricional. Para seu uso, inicialmente, são estabelecidas as normas ou padrões, que consistem no cálculo da média, da variância e do coeficiente de variação das relações dos nutrientes, dois a dois, para a lavoura de referência (alta produtividade). Para a interpretação, fazem-se comparações entre as relações dos nutrientes da amostra com as médias das razões da população de referência (normas) obtendo-se, assim, os índices DRIS para cada nutriente da lavoura amostrada. Admite-se que essas relações apresentem menores variações com a idade da planta, do que os níveis críticos ou as faixas de suficiência.

O método DRIS não indica se um determinado nutriente encontra-se deficiente ou em concentração de toxidez, mas qual o nutriente mais limitante e a ordem de limitação dos nutrientes. Os índices DRIS podem assumir valores negativos - quando ocorre deficiência do nutriente em relação aos demais, ou positivos - quando o nutriente está com teor excessivo. O índice DRIS igual a zero indica que o teor do nutriente está no valor ótimo em relação aos outros.

O DRIS fornece, também, um índice geral, que é o somatório absoluto (desconsiderando o sinal) dos valores dos índices dos nutrientes, chamado de Índice de Equilíbrio Nutricional (IEN) da amostra. Quanto menor o IEN, melhor será o equilíbrio entre os nutrientes da lavoura amostrada. O IEN permite a comparação do equilíbrio nutricional de diversas lavouras entre si.

De acordo com Baldock e Schulte (1996), as vantagens do DRIS são: a escala de interpretação do método é contínua e fácil de usar; os nutrientes são ordenados do mais limitante ao mais excessivo; há identificação de casos nos quais a produção está sendo limitada devido a um desequilíbrio nutricional, mesmo quando nenhum nutriente está com teor abaixo do nível crítico; o IEN permite comparar o equilíbrio

nutricional de diversas lavouras entre si. Acrescenta-se a essas, é que o uso do quociente entre os teores de dois nutrientes, minimiza os efeitos de diluição e concentração. De acordo com os autores, as desvantagens são: o método exige um sistema computacional complexo (hoje bastante simples com o advento e evolução da informática); os índices não são independentes, ou seja, o teor de um nutriente influencia os índices dos outros.

Embora o DRIS permita o estabelecimento da ordem de limitação dos nutrientes da lavoura amostrada, avaliando a adequação das relações entre os nutrientes, o método não permite o cálculo das quantidades de nutrientes a ser aplicada. Uma vez realizado o suprimento do nutriente mais limitante, não significa que o segundo elemento passará a maior limitação, pois as relações podem ser alteradas.

Resumindo: para o uso do DRIS, alguns passos ou etapas devem ser seguidas, que visam o estabelecimento dos padrões ou normas de uma lavoura de referência (de alta produção), cálculo dos índices DRIS de cada nutriente analisado na amostra e posterior interpretação.

➤ **Estabelecimento dos padrões ou normas**

Para tal, é necessário a construção de um banco de dados contendo informações sobre os teores foliares e as produtividades de um grande número de lavouras da espécie em questão, comerciais ou de experimentos de adubação, em cada região. Essas lavouras são divididas em grupos de produtividade, baixa (Grupo 1) e alta (Grupo 2), através de critérios como a produtividade média regional ou estadual (exemplo, café - baixa: < 15 sacas; média: 15-30 sacas e alta: > 40 sacas beneficiadas por ha) ou faixas percentuais em relação à produção máxima (exemplo - baixa: < 80% e alta: > 80% da produção máxima).

Em cada grupo, calculam-se a média (\bar{X}), o coeficiente de variação (CV) e variância (S^2) de todas as relações possíveis entre os nutrientes analisados. Como existe duas formas de expressão para um par de nutrientes (N/P ou P/N), no cálculo do DRIS apenas uma é utilizada, aquela que apresentar a maior razão de variância (S^2_1/S^2_2) dos grupos 1 e 2. Esse procedimento maximiza a distinção entre plantas nutricionalmente equilibradas e desequilibradas.

Todas as relações entre os nutrientes assim selecionadas devem apresentar distribuição normal de produção em função da razão entre os nutrientes.

As médias, as variâncias e os coeficientes de variação das relações dos nutrientes selecionadas do grupo 2, de alta produtividade ou de referência, representam as normas ou padrões, que serão usadas para comparações com as relações entre eles obtidas na amostra. E essas comparações permitem o cálculo dos índices DRIS dos nutrientes analisados na amostra, para posterior interpretação do nutriente mais limitante e estabelecimento da ordem de limitação dos mesmos.

Para melhor entendimento, será utilizado o exemplo de Malavolta et al. (1997), apresentando-se as etapas para o cálculo das normas e dos índices DRIS de N, P e

K de todos os tratamentos de um experimento de adubação em aveia, e a interpretação dos resultados obtidos.

➤ **Separação dos grupos**

A Tabela 10 mostra os resultados de produção e os teores foliares de N, P e K obtidos em um experimento de adubação com aveia (UFRGS 7805), conduzido em Latossolo do Distrito Federal, em delineamento Plan Plueba II.

TABELA 10 - Efeito da adubação NPK na produção de grãos de aveia e teores foliares desses nutrientes (média de quatro repetições).

Trat.	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Produção de grãos	N	P	K
-----(kg/ha)-----				-----(%)------			
-					-		
1	50	167	67	1234	3,16	0,17	2,45
2	50	167	133	1322	3,31	0,21	2,69
3	50	333	67	1622	3,35	0,23	2,15
4	50	333	133	2012	3,64	0,24	2,60
5	100	167	67	1445	3,57	0,19	2,22
6	100	167	133	1361	3,44	0,18	2,70
7	100	333	67	1655	3,67	0,24	2,16
8	100	333	133	1658	3,76	0,25	2,40
9	0	167	67	1160	3,00	0,16	2,58
10	150	333	133	1818	4,00	0,27	2,52
11	50	0	67	0	2,71	0,15	2,68
12	100	500	133	1891	3,52	0,30	2,24
13	50	167	0	805	3,64	0,18	1,80
14	100	333	200	1800	3,49	0,25	2,54

O critério usado pelos autores para a separação dos grupos de baixa e alta produtividades foi o nível de 80% da produção máxima: os tratamentos com produção inferior a 1.610 kg/ha de grãos fizeram parte do grupo 1 (baixa produtividade) e aqueles com produção acima desse valor compuseram o grupo 2 (alta produtividade) (Tabela 11). O teste de normalidade pelo método do qui-quadrado dos dados dos grupos 1 e 2, mostraram que os mesmos seguem a distribuição normal.

TABELA 11 - Separação dos tratamentos nos grupos de baixa (Grupo 1) e alta produção (Grupo 2) de grãos de aveia.

Trat.	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Produção de grãos	N	P	K
------(kg/ha)-----					------(%)-----		
					-		
Grupo 1							
1	50	167	67	1234	3,16	0,17	2,45
2	50	167	133	1322	3,31	0,21	2,69
5	100	167	67	1445	3,57	0,19	2,22
6	100	167	133	1361	3,44	0,18	2,70
9	0	167	67	1160	3,00	0,16	2,58
11	50	0	67	0	2,71	0,15	2,68
13	50	167	0	805	3,64	0,18	1,80
Grupo 2							
3	50	333	67	1622	3,55	0,23	2,45
4	50	333	133	2012	3,64	0,24	2,60
7	100	333	67	1655	3,67	0,24	2,16
8	100	333	133	1658	3,76	0,25	2,40
10	150	333	133	1818	4,00	0,27	2,52
12	100	500	133	1891	3,52	0,30	2,24
14	100	333	200	1800	3,49	0,25	2,54

* Coincidentemente, o número de observações dos grupos foi o mesmo.

Cálculo das relações entre os nutrientes

Foi realizado o cálculo de todas as relações possíveis, dois a dois, diretas e inversas entre os teores dos nutrientes NPK observados nos tratamentos de baixa e alta produtividade (Tabela 12). O número de relações possíveis é dado por:

n° de relações = $n(n-1)$, onde:

n = número de nutrientes em estudo (N, P e K), portanto:

n° de relações = $3(3-1) = 6$ (N/P, N/K, P/K, P/N, K/N e K/P).

TABELA 12 - Relações possíveis entre os teores foliares dos nutrientes para os tratamentos dos grupos 1 e 2 de produtividade.

Trat.	N/P	N/K	P/K	P/N	K/N	K/P
Grupo 1						
1	18,588	1,290	0,069	0,054	0,780	14,412
2	15,762	1,230	0,078	0,063	0,813	12,810
5	18,789	1,608	0,086	0,053	0,622	11,684
6	19,111	1,274	0,067	0,052	0,785	15,000
9	18,750	1,163	0,062	0,053	0,860	16,125
11	18,067	1,011	0,056	0,053	0,989	17,867
13	20,222	2,022	0,100	0,049	0,495	10,000
Grupo 2						
3	15,435	1,651	0,107	0,065	0,606	9,348
4	15,167	1,400	0,092	0,066	0,714	10,833
7	15,292	1,700	0,111	0,065	0,589	9,000
8	15,040	1,567	0,104	0,066	0,638	9,600
10	14,815	1,587	0,107	0,068	0,630	9,333
12	11,733	1,571	0,134	0,085	0,636	7,467
14	13,960	1,374	0,098	0,072	0,728	10,160

Cálculo da média, da variância e do coeficiente de variação

A média (\bar{X}), a variância (S^2) e o coeficiente de variação (CV) para todas as possíveis relações entre os teores de N, P e K foram calculados para os grupos 1 e 2 (Tabela 13). Para cada par de nutrientes, a forma de expressão da relação entre eles (N/P ou P/N) que fornece a maior razão de variâncias entre o grupo de baixa e alta produtividade (S^2_1/S^2_2), foi selecionada para ser usada no DRIS, conforme sugerido por Walworth et al. (1986) e Hartz et al. (1998). Por exemplo, as razões de variância N/P, K/N e K/P, foram maiores que os seus inversos e, portanto, foram as selecionadas (Tabela 13).

TABELA 13 - Média (\bar{x}), variância (S^2), coeficiente de variação (CV) e razão de variâncias dos grupos 1 e 2 (S^2_1/S^2_2).

Relação	Grupo 1			Grupo 2			S^2_1/S^2_2
	\bar{x}	S^2	CV %	\bar{x}	S^2	CV %	
N/P	18,470	1,862	7,39	14,492	1,714	9,03	1,087*
N/K	1,371	0,115	24,71	1,550	0,015	7,82	7,823
P/K	0,074	$2,28 \times 10^{-4}$	20,44	0,108	$1,73 \times 10^{-4}$	12,20	1,323
P/N	0,054	$1,91 \times 10^{-5}$	8,02	0,070	$5,28 \times 10^{-5}$	10,44	0,361
K/N	0,763	0,026	21,11	0,649	$2,77 \times 10^{-3}$	8,12	9,349*
K/P	13,985	7,236	19,23	9,392	1,096	11,15	6,602*

* relações selecionadas

Assim, as médias (\bar{X}), as variâncias (S^2) e os coeficientes de variação (CV) das relações N/P, K/N e K/P do grupo 2 (de referência ou padrão), correspondem às normas ou padrões (Tabela 13). Como será visto, esses valores serão usados para comparações com as relações desses nutrientes nas amostras de todos os tratamentos do experimento desse exemplo, para o cálculo dos índices DRIS de N, P e K de cada um dele.

Cálculo dos índices DRIS

A partir das normas DRIS calculadas no item anterior, foram calculados os índices DRIS para N, P e K para todas as amostras dos tratamentos do experimento, através da equação proposta por Beaufls (1973):

$$\text{Índice } X = \frac{\{[f(X/Y_1) + f(X/Y_2) + \dots + f(X/Y_n)] - [f(Z_1/X) + f(Z_2/X) + \dots + f(Z_m/X)]\}}{n + m}$$

As funções de cada relação entre os nutrientes são calculadas de acordo com as equações a seguir:

$$f(X/Y_n) = \left(\frac{X/Y_n}{x/y_n} - 1 \right) \frac{100k}{CV_{(x/y_n)}} \text{ se } X/Y_n > x/y_n$$

$$f(X/Y_n) = \left(1 - \frac{x/y_n}{X/Y_n} \right) \frac{100k}{CV_{(x/y_n)}} \text{ se } X/Y_n < x/y_n$$

ou

$$f(Z_m/X) = \left(\frac{Z_m/X}{Z_m/x} - 1 \right) \frac{100k}{CV_{(x/y_n)}} \text{ se } Z_m/X > z_m/x$$

$$f(Z_m/X) = \left(1 - \frac{z_m/x}{Z_m/X} \right) \frac{100k}{CV_{(x/y_n)}} \text{ se } Z_m/X < z_m/x$$

onde:

X = nutriente para o qual se deseja calcular o índice;

Y_1, Y_2, \dots, Y_n = nutrientes que aparecem no denominador das relações com o nutriente X;

Z_1, Z_2, \dots, Z_m = nutrientes que aparecem no numerador das relações com o nutriente X;

m = número de funções onde o nutriente X aparece no denominador;

n = número de funções onde o nutriente X aparece no numerador;

Z_m/X = relação entre os teores dos nutrientes Z e X da amostra a ser submetida ao DRIS;

X/Y_n = relação entre os teores dos nutrientes X e Y da amostra a ser submetida ao DRIS;

z_m/x = relação média entre os teores dos nutrientes Z e X, fornecida pelas normas DRIS;

x/y_n = relação média entre os teores dos nutrientes X e Y, fornecida pelas normas DRIS;

$CV(z/x)$ = coeficiente de variação da relação entre z e x, fornecida pelas normas DRIS;

$CV(x/y)$ = coeficiente de variação da relação entre x e y, fornecida pelas normas DRIS;

k = constante de sensibilidade de valor arbitrário (1 ou 10 ou 20, etc.).

Pelas fórmulas apresentadas, dois nutrientes estariam balanceados somente quando a relação X/A da amostra fosse igual à média da relação x/a do grupo 2 (norma ou referência), ou seja, $f(X/A) = 0$. No caso do presente exemplo, Malavolta et al. (1997) usaram o intervalo $x/a \pm S^2_{\bar{x}/a}$, onde $S^2_{\bar{x}/a}$ é o desvio padrão da média.

Muitas vezes os índices DRIS calculados apresentam valores muito pequenos. Nesse caso, recomenda-se o uso de um valor maior para k (5, 10, 20...) nas equações das funções. No presente exemplo, utilizou-se $k = 5$.

Os valores calculados dos índices DRIS para N, P e K das amostras de todos os tratamentos do experimento do exemplo, são apresentados na Tabela 14. Esses índices foram calculados pela fórmula de Beaufile (1973), após o cálculo das funções das relações dos nutrientes selecionadas. De acordo com Oliveira (2001)¹, no presente exemplo, também visando a obtenção de índices DRIS de maior valor numérico, o denominador da equação de Beaufile (1973), $n + m$, foi considerado igual a 1.

¹ Prof. Sebastião Alberto de Oliveira, UnB, Brasília - DF, Co-autor do livro Malavolta et al. (1997). Informação pessoal.

TABELA 14 - Índices DRIS para N, P e K, Índice de Equilíbrio Nutricional (IEN) e ordem de limitação dos nutrientes para os tratamentos dos grupos 1 e 2.

Trat.	N	P	K	IEN	Ordem de limitação
Grupo 1					
1	3,2	-39,6	36,4	79,2	P > N > K
2	-10,7	-21,2	31,9	63,8	P > N > K
5	19,1	-27,4	8,3	54,8	P > K > N
6	4,7	-44,4	39,7	88,8	P > N > K
9	-3,8	-48,4	52,2	104,4	P > N > K
11	-18,6	-54,1	72,8	145,6	P > N > K
13	41,1	-24,8	-16,3	82,2	P > K > N
Grupo 2					
3	8,0	-3,6	-4,4	16,0	K > P > N
4	-3,6	-9,5	13,1	26,2	P > N > K
7	9,4	-3,1	-6,1	18,8	K > P > N
8	2,1	-2,1	0,0	4,2	P > K > N
10	0,0	0,0	0,0	0,0	N = P = K
12	-13,0	24,6	-11,6	49,2	N > K > P
14	-9,6	-1,6	11,2	22,4	N > P > K

Como exemplo, serão calculados os índices DRIS para o N, P e K da amostra do tratamento 1, do grupo 1, apresentados na Tabela 14.

- Cálculo das funções das relações selecionadas na Tabela 13:

N/P amostra > N/P + S² norma:

$$f(N/P) = [(18,588/14,492) - 1] \cdot [(100/9,03) \cdot 5] = 15,650$$

K/N amostra > K/N + S² norma:

$$f(K/N) = [(0,780/0,649) - 1] \cdot [(100/8,12) \cdot 5] = 12,429$$

K/P amostra > K/P + S² norma:

$$f(K/P) = [(14,412/9,392) - 1] \cdot [(100/11,15) \cdot 5] = 23,968$$

$K/P \text{ amostra} > K/P + S^2 \text{ norma:}$

$$f(K/P) = \frac{(14,412 - 1)}{9,392} \cdot \frac{100 \cdot 5}{11,15} = 23,968$$

- Cálculo do Índice DRIS para o N:

$$\begin{aligned} \text{Índice N} &= (+1) f(N/P) + (-1) f(K/N) + (0) f(K/P) \\ &= (+1) 15,650 + (-1) 12,429 + (0) 23,968 \end{aligned}$$

Índice N = 3,2 (Tabela 14)

- Cálculo do Índice DRIS para o P:

$$\begin{aligned} \text{Índice P} &= (-1) f(N/P) + (0) f(K/N) + (-1) f(K/P) \\ &= (-1) 15,650 + (0) 12,429 + (-1) 23,968 \end{aligned}$$

Índice P = -39,6 (Tabela 14)

- Cálculo do Índice DRIS para o K:

$$\begin{aligned} \text{Índice K} &= (0) f(N/P) + (+1) f(K/N) + (+1) f(K/P) \\ &= (0) 15,650 + (+1) 12,429 + (+1) 23,968 \end{aligned}$$

Índice K = 36,4 (Tabela 14)

Os sinais das funções das relações entre os nutrientes são atribuídos da seguinte maneira: se o nutriente cujo índice está sendo calculado aparecer no numerador da relação $f(X/A)$ recebe o sinal +1; se aparecer no denominador recebe o sinal -1, e se não aparecer na relação $f(X/A)$ recebe o valor zero.

Interpretação dos resultados

Os índices DRIS de NPK (Tabela 14) apresentaram valores negativos - indicando deficiência - e positivos - indicando excesso do nutriente - em relação aos demais. Os valores, também, variaram grandemente entre os tratamentos do experimento, mostrando que os tratamentos de adubação afetaram significativamente a nutrição e, conseqüentemente, a produção da cultura.

A relação entre o equilíbrio nutricional e a produtividade é evidente. Os valores dos índices DRIS para o grupo 2 (alta produtividade) apresentam-se em valores bem menores daqueles do grupo 1 (baixa produtividade). Como já relatado, quando mais próximo de zero estiver o valor do índice, mais equilibrado estará o teor do nutriente em relação aos demais. A comparação do equilíbrio nutricional entre os tratamentos (ou lavouras) é feito pelo Índice de Equilíbrio Nutricional (IEN), que é a soma dos valores absolutos dos índices DRIS (Tabela 14); quanto menor seu valor, melhor é o equilíbrio nutricional da lavoura. Nesse caso, observa-se que os tratamentos do grupo 2 (alta produtividade) apresentam-se com melhor equilíbrio nutricional que os do grupo 1. Dentro do grupo 2 (alta produtividade) observa-se que o tratamento 10, apresenta um equilíbrio NPK ótimo (IEN = 0,0), embora não apresentasse a maior produtividade, que foi obtida no tratamento 4 (IEN = 26,2). De acordo com Martinez et al. (2000), nesses casos, limitações de outra ordem devem estar associadas à produtividade da cultura.

A soma dos índices DRIS NPK (considerando-se os sinais), dentro de cada tratamento, deve ser igual a zero. No entanto, pequenas variações podem ser encontradas devido a erros de arredondamento nos valores.

Como já relatado, o DRIS permite conhecer a ordem de limitações dos nutrientes em determinada lavoura, avaliando a adequação das relações entre nutrientes. Contudo, não permite o cálculo da quantidade dos mesmos que deve ser aplicada, informando a ordem e se a limitação ocorre por deficiência (sinal negativo) ou excesso (sinal positivo) em relação aos demais nutrientes. O tratamento 11, por exemplo, que apresentou produção zero de grãos (Tabela 11), mostra que o P (-54,1) foi o nutriente mais limitante (Tabela 14). A sua aplicação adequada, entretanto, não significa que o N (-18,6) passará a maior limitação, pois as relações entre os nutrientes podem ser alteradas. É importante destacar aqui, que o índice +72,8 para o K significa que o mesmo está em excesso naquelas condições de nutrição da planta, ou seja, em relação ao N e P do tratamento 11. Se a planta vir a ser suprida adequadamente com N e P, as relações entre os nutrientes serão alteradas e o K poderá, inclusive, a se tornar o nutriente deficiente ou limitante. Observa-se na Tabela 11, que grande maioria dos tratamentos do grupo 2 (alta produtividade), receberam a dose de 113 kg/ha de K_2O e o tratamento 11, metade desse valor.

De acordo com Martinez et al. (2000), visando melhorar a interpretação dos resultados do DRIS, foi desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa, o chamado método do “Potencial de Resposta à Adubação”. O método define cinco classes de probabilidade de resposta à adubação, através de comparação do índice DRIS calculado para um dado nutriente e o Índice de Equilíbrio Nutricional médio (IENm = IEN/nº de nutrientes envolvidos). Essas classes são definidas da seguinte maneira (Wadt, 1996):

- **Classe 1:** Resposta positiva (P) - Tem probabilidade de ocorrer quando o índice DRIS do nutriente, sendo o de menor valor, for, simultaneamente, maior em valor absoluto que o IENm.
- **Classe 2:** Resposta positiva ou nula (PZ) - Tem probabilidade de ocorrer quando o índice DRIS do nutriente, embora, sendo maior em valor absoluto que o IENm, não for o de menor índice de DRIS.
- **Classe 3:** Resposta nula (Z) - Tem probabilidade de ocorrer quando o índice DRIS do nutriente em valor absoluto for menor ou igual ao IENm.
- **Classe 4:** Resposta negativa ou nula (NZ) - Tem probabilidade de ocorrer quando o índice DRIS do nutriente for maior em valor absoluto que o IENm, porém, sem ser o índice de maior valor.
- **Classe 5:** Resposta negativa (N) - Tem probabilidade de ocorrer quando o índice DRIS do nutriente, sendo maior que o IENm, também, for maior que todos os índices DRIS.

Aplicando-se essa técnica aos índices do tratamento 11 (Tabela 14), que não produziu grãos, tem-se a seguinte interpretação: o P, com índice -54,1, atenderia a Classe 1 - Resposta positiva (P), pois é o índice de menor valor e seu valor absoluto é maior que o IENm ($IENm = 145,6/3 = 48,3$); o N, com índice -18,6, atenderia a Classe 3 - Resposta nula (Z), pois o seu índice DRIS é menor que o IENm; o K, com índice 72,8, atenderia a Classe 5 - Resposta negativa (N), pois seu índice DRIS é maior que o IENm e, também, o maior de todos.

Fazendo-se uma análise dessa interpretação, concorda-se com a mesma, visto que o P, apresentando-se em deficiência acentuada, tornará nula a resposta da cultura à aplicação do N, que se encontra em deficiência mais leve. Esse fato define claramente a antiga Lei da Fertilidade do Solo, denominada de “Lei de Liebig ou Lei do Mínimo”: a produção da cultura é limitada pelo nutriente que se encontra em menor disponibilidade no meio (abaixo do adequado, é claro). No caso do K, que já se encontra em excesso em relação aos demais, sua aplicação seria prejudicial (resposta negativa), pois haveria aumento nos seus teores na planta, aumentando ainda mais o desequilíbrio nutricional na cultura.

Programas/software DRIS

Como visto no exemplo usado, o cálculo dos índices DRIS são relativamente complexos e extremamente morosos, principalmente, e o que é o mais comum, quando do uso de uma análise foliar completa, com macro e micronutrientes (normalmente 11 nutrientes). Portanto, para usar com rapidez essa técnica de diagnóstico deve-se lançar mão de programas ou softwares de computador desenvolvidos para esse fim.

A seguir, será apresentado resumidamente, a aplicação do programa *DRIS para soja* (Versão 1.02), distribuído pela Meta Agroflorestal², em trabalho executado por Wadt (1999).

Para tal, utilizou-se um banco de dados da POTAFOS com os teores foliares dos nutrientes e as produtividades de 154 lavouras de soja. Com esses dados, o programa DRIS gerou as normas DRIS, realizou os cálculos dos índices DRIS e, finalmente, classificou cada nutriente, em cada uma das 154 lavouras, em cinco graus de suficiência: -2, -1, 0, +1 e +2. O grau -2 foi interpretado como insuficiência forte e o -1 como insuficiência moderada. O grau 0, sendo bom equilíbrio nutricional e +1 e +2, correspondem a excesso moderado e forte, respectivamente.

Ao se incluir os dados, o programa classificou automaticamente as 154 lavouras em três grupos de produtividade: baixa - 1500 a 2430 kg/ha (32 lavouras); média - 2435 a 3723 kg/ha (101 lavouras) e alta: 3738 a 5340 kg/ha (21 lavouras). Também automaticamente, o programa calculou as normas DRIS (padrão) e os índices DRIS dos nutrientes para todas as 154 lavouras.

Os resultados para uma dessas lavouras, com produtividade de 3879 kg/ha, são apresentados na Tabela 15. Para os elementos não analisados na amostra, atribuiu-se o valor zero e o grau de suficiência ND = não determinado.

Observa-se que vários nutrientes aparecem com índices DRIS negativos, indicando como ordem de requerimento o $S > N > K > P$, sendo o S classificado com grau de insuficiência muito forte (-2) e o N, K e P, com grau de insuficiência moderado (-1). O Zn e o Fe, embora com índices DRIS negativos, foram classificados com grau de suficiência = 0, indicando equilíbrio. Os dados mostram que essa lavoura, embora produzindo 64 sacas/ha de soja, ainda necessita de ajustes em seu sistema de manejo da fertilidade do solo, para se atingir patamares de produção mais elevados.

Através da interpretação dos índices DRIS das 21 lavouras componentes do grupo de alta produtividade, Wadt (1999) constatou 22 casos em que pelo menos um nutriente apareceu em insuficiência forte (grau de suficiência -2) e 37 casos de insuficiência moderada (grau de suficiência -1). A Tabela 16 mostra esses casos, onde se observa que o S apareceu com insuficiência forte em 45% dos casos, o K em 23% e o N em 14%. Para a insuficiência moderada, o P apareceu em 19%, o K ou S em 16% e o N ou Zn em 14% dos casos.

² Meta Agroflorestal: <http://pessoal.mandic.com.br/~meta> / e-mail: meta@mandic.com.br.

TABELA 15 - Teores foliares, índices DRIS e grau de suficiência dos nutrientes em uma lavoura de soja com produtividade de 3879 kg/ha.

Nutriente	Teor	Índice DRIS	Grau de suficiência
N (g/kg)	28,44	-2,845	-1
P (g/kg)	2,33	-1,801	-1
K (g/kg)	13,40	-2,108	-1
S (g/kg)	1,42	-3,682	-2
Ca (g/kg)	22,30	0,737	0
Mg (g/kg)	3,70	0,335	0
Zn (mg/kg)	40,00	-0,863	0
B (mg/kg)	36,11	0,034	0
Cu (mg/kg)	8,00	0,231	0
Fe (mg/kg)	106,00	-0,012	0
Mn (mg/kg)	52,00	0,994	0
Mo (mg/kg)	0	0	ND
Co (mg/kg)	0	0	ND
Al (mg/kg)	0	0	ND
Na (mg/kg)	0	0	ND
Si (g/kg)	0	0	ND
Ni (mg/kg)	0	0	ND
IEN		13,64	
Ordem de insuficiências: S > N > K > P > Zn > Fe > Mo = Co = Al = Na = Si = Ni > B > Cu > Mg > Ca > Mn			
Observação: Resultados extraídos do programa <i>DRIS para soja</i> versão 1.02 (Meta Agroflorestal).			
Wadt (1999).			

TABELA 16 - Percentagem de casos em que os nutrientes se apresentaram em grau de insuficiência forte e moderada, no grupo de lavouras de alta produtividade (21 lavouras).

Grau de insuficiência			
Forte		Moderado	
S	45%	P	19%
K	23%	K ou S	16%
N	14%	N ou Zn	14%

Os estudos com DRIS têm evoluído bastante nos últimos anos em diversas Universidades e Institutos de Pesquisa no Brasil, embora ainda não se encontram muitos softwares à disposição dos técnicos.

Opções de softwares para a aplicação do DRIS na interpretação de análises foliares para as culturas do Algodão, Café, Citros, Milho e Soja, podem ser obtidas no site da POTAFOS (Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato), www.potafos.org.

d) Desvio Percentual do Ótimo (DOP) e Índices Balanceados de Kenworthy

Ambos os métodos apresentam o mesmo princípio: permitem avaliar o estado nutricional da planta como percentagem do teor de determinado nutriente na amostra de interesse em relação ao padrão. Interessante nesses métodos é que os mesmos permitem não somente a diagnose de determinado nutriente, mas também, uma interpretação do equilíbrio nutricional da cultura, pela posição percentual relativa do elemento no conjunto dos demais analisados na amostra.

O *Desvio Percentual do Ótimo* (DOP) proposto por Montañéz et al. (1993), consiste em calcular esse percentual através da seguinte equação:

$$DOP = [(C \cdot 100)/C_{ref}] - 100$$

onde:

C e C_{ref} = concentração ou teor do nutriente na amostra e no padrão, respectivamente.

Quando o valor do índice DOP apresentar um valor negativo, indica deficiência; valor positivo, indica excesso e valor zero, indica teor ótimo. Quanto maior o valor absoluto do índice, maior a severidade da deficiência ou excesso. A soma dos valores absolutos de todos os nutrientes da amostra, representa um índice do balanço ou equilíbrio nutricional da lavoura, o que permite a comparação de lavouras distintas entre si. O somatório com maior valor, representa também, maior desequilíbrio nutricional.

Os *Índices Balanceados de Kenworthy* (Kenworthy, 1961) consideram, além dos desvios percentuais, os coeficientes de variação observados para cada nutriente na população onde se obteve o padrão. Essa é uma vantagem pois permite ajustar os índices à variabilidade associada à composição da população padrão.

Assim, o *Índice Balanceado de Kenworthy* de cada nutriente, é obtido obedecendo-se os seguintes critérios:

- 1) Se o valor da concentração do nutriente na amostra (C) for menor que o do padrão (C_{ref}), a influência da variabilidade (I) é somada ao valor percentual para se obter o índice balanceado.

Portanto: se $C < C_{ref}$, $IK = P + I$

onde:

IK = Índice Balanceado de Kenworthy do nutriente;

$P = (C/C_{ref}) \cdot 100$, ou seja, C em % de C_{ref} ;

$I = (100 - P) \cdot CV/100$, ou seja, influência da variância;

CV = coeficiente de variação do nutriente na população padrão.

- 2) Se o valor da concentração do nutriente na amostra (C) for maior que o do padrão (C_{ref}), a influência da variabilidade (I) é subtraída do valor percentual para obter o valor do índice balanceado.

Portanto: se $C > C_{ref}$, $IK = P - I$

onde:

IK = Índice Balanceado de Kenworthy do nutriente;

$P = (C/C_{ref}) \cdot 100$, ou seja, C em % de C_{ref} ;

$I = (P - 100) \cdot CV/100$, ou seja, influência da variância;

CV = coeficiente de variação do nutriente na população padrão.

A dificuldade que se encontra para o uso prático em longa escala dos Índices de Kenworthy, é a necessidade de se dispor do valor do coeficiente de variação para cada nutriente na população padrão. Portanto, o uso do método com a utilização dos padrões disponíveis na literatura fica inviável, pela falta dos valores dos coeficientes de variação. Assim, sua aplicação só seria possível quando o próprio técnico estabelecer seus padrões a partir de lavouras ou populações de alta produtividade, calculando-se, também, os coeficientes de variação para cada nutriente.

A interpretação dos índices balanceados obtidos para os nutrientes da amostra, pode ser feita através da classificação empírica sugerida a seguir (Malavolta et al., 1997):

- a) faixa de deficiência: 17 a 50%.
 - b) faixa abaixo do normal: 50 a 83%.
 - c) faixa normal ou adequada: 83 a 117%.
 - d) faixa acima do normal: 117 a 150%.
 - e) faixa de excesso: 150 a 183%.
-

2.3 - OUTROS MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO

2.3.1 - Testes de Tecidos e Análise da Seiva

Os *testes de tecidos* ou “spot tests”, são testes colorimétricos ou turbidimétricos rápidos, feitos na matéria fresca da planta no próprio campo. Eles permitem uma determinação semi-quantitativa ou aproximada das concentrações de alguns nutrientes que estão na seiva ou no suco celular na forma solúvel (iônica). Lembra-se que na análise foliar, são determinados os teores totais dos nutrientes nas folhas, ou seja, as formas solúveis e insolúveis (orgânicas e inorgânicas). A grande vantagem dos testes de tecidos é que a análise é feita no próprio campo e com resultados imediatos; embora haja muitas interferências de outros fatores não nutricionais como horário do dia, umidade do solo, temperatura, e isso exige do técnico bastante cuidado na aplicação da técnica e na interpretação dos resultados.

O princípio em que se baseia os testes de tecidos é que lavouras de alta produtividade devem apresentar no suco celular (ou seiva) teores solúveis dos nutrientes (NO_3^- , H_2PO_4^- , K^+ , Zn^{++} , etc.) maiores que plantas deficientes. Várias pesquisas têm demonstrado elevadas correlações entre os teores solúveis dos nutrientes na seiva com seus teores totais no limbo foliar, como citado para o NO_3^- por Guimarães (1998) para a batata, tomate, alface, brócolis e pimentão.

A técnica dos testes de tecidos se baseia em reações químicas entre o nutriente na forma iônica com reagentes específicos, havendo desenvolvimento de cor: quanto maior a concentração do nutriente na seiva ou suco celular, maior será a intensidade da coloração desenvolvida.

De acordo com Malavolta (1980), só se pode confiar nos resultados dos testes de tecidos quando as condições seguintes são atendidas:

- as reações são específicas para os nutrientes que se pretende determinar e os resultados dos testes podem ser facilmente reproduzidos;
- a análise é feita em um órgão ou parte da planta que reflete fielmente seu estado nutricional;
- os resultados obtidos foram calibrados com dados fornecidos por experimentos rigorosos em que o estado nutricional da planta era bem conhecido.

A aplicação prática dos testes é mais comum para o N, P e K, embora existam metodologias para o Ca, Mg, Zn, Cu, Fe e Mn. Não se pode pensar em substituir a análise foliar, que é um método mais desenvolvido e mais preciso, pelos testes de tecidos que são uma aproximação.

No Brasil, embora esses testes não encontrem uma utilização prática muito grande, são encontrados no mercado kits para análise de N (NO_3^-), P (H_2PO_4^-) e K (K^+). Os kits trazem os reagentes específicos para cada nutriente, os materiais

necessários para a análise, manual de instruções e padrões de cores para a interpretação dos resultados.

A determinação do NO_3^- é feita pelo reagente de Griess-Bray, que consta de ácido sulfanílico, alfa naftilamina, zinco em pó, sulfato de bário, ácido cítrico e sulfato de manganês. A determinação se baseia na reação entre o NO_2^- (nitrito) - produzido pela redução do NO_3^- da seiva ou suco celular pelo Zn - com o ácido sulfanílico, dando um sal diazônico, que ao se combinar com a alfa naftilamina, forma um composto de cor rósea. A intensidade da cor rósea produzida depende da concentração do NO_3^- no suco celular, que levará à formação do NO_2^- . Através da padronização das cores em laboratório, é possível estimar-se a concentração do NO_3^- presente no suco celular.

Os teores de fósforo são avaliados pela formação de fosfo-molibdato de amônio, devido a reação do H_2PO_4^- do suco celular com o molibdato, seguida da redução pelo estanho metálico. Há formação de uma coloração azul cuja intensidade é proporcional ao teor de fosfato no suco celular. A padronização de cores com concentrações conhecidas de H_2PO_4^- em laboratório, também permite estimar-se as concentrações de fosfato no tecido analisado.

A análise de potássio se baseia na formação de um composto insolúvel em ácido com a dipicrilamina, com tonalidade laranja-avermelhado. A interpretação é realizada pela intensidade de turbidez da solução promovida pela precipitação do K contido no suco celular do tecido.

Tal como relatado para a diagnose foliar, os testes de tecidos também exigem uma padronização da amostragem do tecido vegetal para análise, considerando-se o órgão - pecíolo, caule, nervura principal, limbo - e a época ou idade da planta. Uma importante lembrança de padronização refere-se ao horário do dia para se fazer a análise de NO_3^- . Como o nitrato, na maioria das plantas, é reduzido nos cloroplastos, o processo ocorre muito mais intensamente durante o período luminoso do dia e muito pouco à noite. Portanto, os teores de NO_3^- no suco celular varia drasticamente durante o período luminoso, sugerindo-se que sua análise pelo teste seja executada das 10:00 às 12:00 h. Deve-se evitar, também, analisar lavouras após longo período chuvoso, bem como sob déficit hídrico.

Os manuais dos kits de testes de tecidos trazem a padronização de amostragem (órgão e época) para algumas culturas e, também, os padrões de cores para a interpretação, apresentando uma classificação de “muito baixo, baixo, médio, bom, muito bom”. Para uma interpretação mais segura, é importante sempre comparar os resultados da lavoura que se pretende avaliar, com análises de lavouras de alta produtividade.

A Tabela 17, apresenta alguns exemplos ou recomendações de órgãos e épocas de amostragem, bem como de interpretação para algumas culturas.

TABELA 17 - Recomendações para os testes rápidos em tecido de algumas culturas.

Cultura	Época de amostragem	Amostra	Interpretação		
			NO ₃	PO ₄	K ^(*)
Alface	Formação da "cabeça"	Nervura principal de folha externa	A	A	A
Alfafa	Início da floração	Caule superior	A	A	A
Algodão	Início da floração	Pecíolo da 1ª folha recém madura do caule principal	A	A	A
Bananeira	Formação do cacho	Bainha 3ª e 5ª folha	A	A	A
Batata	Um mês e meio depois da emergência	Pecíolo da 4ª folha a contar da ponta	A	A	A
Batata-doce	Idem	Pecíolo 3ª e 5ª folha.	A	A	A
Cana-de-açúcar	4-6 meses depois da emergência	Nervura principal da 3ª ou 4ª folha a contar da ponta	M	M	A
Cafeeiro	Florescimento	Brotos terminais	A	M	A
Cereais	Início do perfilhamento Início do espigamento	Metade inferior da bainha	A	A	A
		Terço inferior do caule	A	M	M
Couve-flor	Cabeça em formação	Pecíolo 3ª e 5ª folha	A	A	A
Feijão e Soja	Início da floração	Base do pecíolo da folha mais desenvolvida	-	A	A
Melão e Melancia	Início da frutificação	Pecíolo da 6ª folha a contar da ponta	A	A	A
Milho	1 mês depois da emergência Aparecimento de "cabelo"	Nervura principal da 1ª folha	A	M	A
		Nervura principal da última folha bem desenvolvida	A	M	A
Repolho	Ver alface				
Sorgo	Início da formação da espiga	Ver 2ª época para Milho			
Tomate	Início da floração	Ver batata			

(*) Níveis adequados: A = Alto, M = Médio.

MALAVOLTA (1980).

A *análise da seiva* é outro teste rápido de diagnóstico do estado nutricional das plantas. Recentemente, foram desenvolvidos equipamentos portáteis dotados de eletrodos específicos para análise de NO_3^- , K^+ , Na^+ , pH, na seiva das plantas, que podem ser usados diretamente no campo. Esses kits portáteis são fabricados pela Horiba, Inc., Kyoto, Japão. O método consiste em se coletar a seiva da planta através de micropipeta e colocar uma gota da mesma sobre o eletrodo do equipamento calibrado. O resultado expresso em ppm (mg L^{-1}) é emitido em segundos. De acordo com Mills e Jones (1996), o equipamento é de difícil calibração e pode levar a resultados inconsistentes devido a interferência de outros íons e sensibilidade à variações de temperatura, como ocorre sob condições de campo e casa de vegetação. Como relatado pelos autores, melhor seria seu uso em laboratório, trazendo-se as amostras de campo para essa condição. Destaca-se que nesse caso, o teste não seria tão rápido quanto se deseja.

A análise da seiva seria particularmente importante para o diagnóstico da nutrição nitrogenada da planta. Primeiro, devido a não realização de análise de solo para N e, assim, a sua recomendação é baseada em dados experimentais de doses. Segundo, devido à necessidade de parcelamento da adubação com o N, o que permite uma alteração no programa de adubação pré-estabelecido.

Lembra-se que em solos corrigidos, o NO_3^- é a forma mineral de N predominante e, assim, aquela preferencialmente absorvida e translocada pelas plantas. Portanto, a análise do NO_3^- na seiva informa o estado nutricional da planta em um dado instante e a capacidade atual do solo no suprimento do nutriente, permitindo interferências nos parcelamentos futuros.

Mas, tal como relatado para a análise foliar e para os testes de tecidos, a análise da seiva também exige uma padronização do órgão e da época ou idade da planta para análise. No caso do NO_3^- , um outro aspecto relevante já destacado, deve ser rigorosamente observado, é o horário da análise. Nesse sentido, poucas são as informações encontradas na literatura sobre a padronização da análise da seiva, bem como, sobre os teores adequados ou níveis críticos dos nutrientes. Guimarães (1998), realizou experimentos com tomate sob condições de campo e em estufa, objetivando estabelecer os níveis críticos de NO_3^- na seiva do pecíolo em diversas fases do ciclo da cultura. A Tabela 18 mostra os resultados do experimento de campo conduzido de forma tradicional (irrigação por sulcos e adubação nitrogenada de cobertura manual). Observa-se que os teores de NO_3^- nos pecíolos variam em função da folha amostrada, indicando a necessidade de padronização. Importante destacar, também, que embora os valores dos coeficientes de correlação não tenham sido elevados (variaram de 0,509** a 0,673**), os autores observaram uma correlação altamente significativa entre os teores de NO_3^- na seiva e a produção de frutos extra e total, para todas as folhas (épocas) amostradas.

TABELA 18 - Níveis críticos de N-NO₃ na seiva e na matéria seca do pecíolo e de N-org na matéria seca do limbo das folhas opostas (F1, F2, F4, F5, F6 e F7) aos cachos (1, 2, 4, 5, 6 e 7, respectivamente) do tomateiro.

Folha amostrada	Determinação e material de análise		
	N-NO ₃ na seiva	N-NO ₃ na matéria seca	N-org na matéria seca
	g/L	g/kg	dag/kg
F1	4,93	18,9	5,86
F2	3,70	5,42	5,35
F4	3,16	6,45	4,87
F5	3,11	6,44	4,43
F6	3,96	7,79	3,92
F7	3,04	6,18	4,12

GUIMARÃES (1998).

2.3.2 - Métodos Bioquímicos

As reações metabólicas nos seres vivos, dentre eles os vegetais, são mediadas por enzimas, as quais são proteínas que se especializaram em catalisar as reações químicas termodinamicamente possíveis. E graças à essas participações é que determinadas reações ocorrem segundo as necessidades a que um determinado organismo é submetido.

Muitas enzimas, para o desempenho de sua função catalítica, necessitam de um componente não protéico denominado de cofator, que pode ser um grupo prostético, uma coenzima ou ativadores metálicos - nutrientes catiônicos como o K⁺, Mg²⁺, Mn²⁺, Cu²⁺, Zn²⁺.

Assim, o princípio em que se baseiam os métodos bioquímicos para a avaliação do estado nutricional das plantas é que: “determinadas enzimas exigem metais (nutrientes) específicos para sua formação ou atividade”.

A equação típica de uma reação metabólica catalisada por uma enzima é representada:

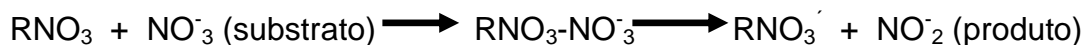


onde:

E = enzima; S = substrato; ES = complexo enzima-substrato; E' = enzima regenerada e P = produto da reação.

Dessa maneira, a avaliação da atividade de determinada enzima é possível em laboratório, pela quantificação do substrato remanescente e, ou, produto da reação, após determinado tempo de reação. Isto é avaliado colocando-se amostras de tecidos da cultura em estudo, em meio próprio (solução) com a concentração do substrato conhecida, em função do tempo.

Por exemplo, a redutase do nitrato (RNO_3), enzima que contém Mo e Fe, é a responsável pela redução do NO_3^- à NO_2^- no citoplasma, para posterior redução do NO_2^- à NH_3 nos cloroplastos. A equação seguinte ilustra a atividade da RNO_3 :



Nesse caso, para se avaliar a atividade da RNO_3 , seguindo-se a metodologia específica para tal, são colocados cortes de tecidos da planta em estudo, em solução contendo concentração de NO_3^- (substrato) conhecida. Após determinado período de tempo de reação, é medido na solução o NO_3^- (substrato) remanescente ou o NO_2^- (produto) produzido. O resultado pode ser expresso como: $\mu g NO_2^-/g \text{ mat.fresca} \cdot h$.

A comparação da atividade da enzima obtida na amostra problema com aquela do padrão, obtida em planta normal, dá informações sobre o estado nutricional da cultura no nutriente envolvido na reação.

O uso de métodos bioquímicos (atividade enzimática ou acúmulo de metabólitos) como indicadores do estado nutricional das plantas, reveste-se de interesse pela possibilidade de diagnóstico precoce da deficiência, pois apresenta grande chance de correção sem perda da produção da cultura.

Embora promissores, os métodos bioquímicos não são de uso generalizado. De modo geral são morosos, pouco práticos e onerosos. Há ainda, a necessidade do estabelecimento de padronizações referentes à atividade enzimática adequada, órgão e idade para as diversas culturas. São usados hoje mais como uma ferramenta de pesquisa do que um método prático à disposição do técnico ou produtor.

A Tabela 19 mostra que se dispõem de métodos bioquímicos para quase todos os nutrientes vegetais. Melo e Lemos (1991) e Malavolta et al. (1997) apresentam uma série de exemplos, os quais ilustram a relação entre a nutrição da planta em determinados nutrientes e a atividade de enzimas específicas que os exigem para suas atividades, ou acúmulo de certos metabólitos sob condições de carência de alguns elementos. Citam-se alguns: teores de NO_3^- ou Mo x atividade da redutase do nitrato; teor de fósforo no tecido x atividade da fosfatase; teor de potássio x acúmulo de putrescina; teor de cobre x atividade da oxidase do ascorbato; nutrição em ferro x atividades da peroxidase ou catalase; teor de zinco x atividade da RNase, dentre outros.

TABELA 19 - Testes bioquímicos para a avaliação do estado nutricional.

Elemento	Testes
N	Teor de asparagina Atividade da sintetase da glutamina Redução de NO ₃ ⁻ N amínico N total
P	Frutose-1,6-2P e fotossíntese Atividade da fosfatase
K	Teores de amidas e de ácido pipecólico Concentração de putrescina
Mg	Teor de ácido pipecólico
S	Reação com glutaraldeído Aminoácidos livres
B	Atividade da ATPase
Cl	Aminoácidos livres
Cu	Oxidase do ácido ascórbico Relação clorofila a/b
Fe	Peroxidase Catalase Teor de xilose
Mn	Peroxidase Relação clorofila a/b
Mo	Redução de nitrato
Ni	Atividade da urease
Zn	Ribonuclease Anidrase carbônica Teor de arginina

MALAVOLTA et al. (1997) .

2.3.3 - Aplicações Foliares ou Técnicas de Infiltração

As aplicações foliares são técnicas simples que podem ser usadas no campo. Normalmente são usadas para diferenciar sintomas visuais que não apresentam características típicas, o que dificulta o diagnóstico. Por exemplo, Fe e Mn, Mn e Zn (cujos sintomas ocorrem em folhas novas), K e Mg (folhas velhas), incidência de pragas e doenças, fatores climáticos, toxidez por herbicidas, etc.

Nesse caso, para uma identificação mais segura da origem do sintoma e, ou, qual o nutriente envolvido, algumas alternativas podem ser utilizadas como: diagnose foliar, pulverização da planta isoladamente com os nutrientes suspeitos e as

aplicações foliares. Dentre essas três alternativas, as aplicações foliares se destacam pela simplicidade, rapidez e baixo custo.

De acordo com Malavolta et al. (1997), existem três técnicas principais de infiltração:

a) Técnica de Roach

Preparar soluções com os nutrientes a serem testados, colocando-as em frascos separados. Selecionar na planta, folhas com sintomas visuais ainda leves do problema, fazendo-se um corte no limbo das mesmas com uma lâmina afiada. Tomar um barbante de algodão e prender uma extremidade no corte do limbo foliar e a outra deve permanecer submersa na solução contendo o nutriente no frasco. Dessa maneira, por capilaridade, haverá o fornecimento do nutriente presente na solução à folha selecionada. Certamente, a folha que receber a solução contendo o nutriente responsável pelo sintoma, apresentará em alguns dias uma recuperação da coloração normal. Pelo contrário, aquela que receber o nutriente “errado”, apresentará uma evolução do sintoma.

b) Técnica de Alvim

Essa técnica, proposta por Dr. Paulo de Tarso Alvim, é uma simplificação da anterior. Também em folhas com sintomas iniciais do problema, são feitos três cortes em forma de U, na posição vertical, de tamanho suficiente para a formação de uma lingüeta. Essa lingüeta é introduzida em uma cápsula de gelatina contendo a solução com o nutriente em teste, havendo, portanto, a absorção do mesmo pelo tecido. Tal como descrito na técnica anterior, se o nutriente presente na solução for aquele relacionado à deficiência, haverá em alguns dias a recuperação da coloração normal da folha. Caso contrário, o sintoma irá se acentuando gradativamente.

c) Técnica da meia folha

Essa técnica foi desenvolvida por Costa e Mendes do IAC, Campinas (SP). O princípio é o mesmo das técnicas anteriores. Em meia folha selecionada para o teste, esfrega-se levemente o carborundum fino, com o objetivo de quebrar a hidrorrepelência da cutícula e facilitar a absorção foliar da solução. Sobre essa meia folha aplica-se a solução com o nutriente em teste, através de um cotonete ou pedaço de algodão. Da mesma forma, se o nutriente aplicado for relacionado com a deficiência, haverá a recuperação da coloração normal da folha em alguns dias.

Tem sido sugerido para os micronutrientes, as seguintes soluções para as aplicações foliares, em g L⁻¹: bórax = 2,4; sulfato cúprico = 5,9; sulfato manganoso = 5,9; molibdato de sódio = 0,15 e sulfato de zinco = 5,9.

2.3.4 - Análise de Clorofila

Tem sido demonstrado que o teor de clorofila pode ser indicativo da concentração de N nas folhas das plantas, podendo se apresentar como um método de diagnóstico precoce da deficiência do nutriente.

Existe metodologia para extração e quantificação de clorofila em laboratório, embora destrutiva e mais demorada. Atualmente, a determinação do teor de clorofila tornou-se mais fácil pelo uso de medidores portáteis, usados no próprio campo. O modelo SPAD-502 da Minolta (Minolta Camera Co. Ltd., Japan) tem sido usado com sucesso para diagnosticar o status nitrogenado de culturas como o milho, batata, trigo, arroz, tomate, dentre outras.

Como o SPAD mede a maior ou menor intensidade de cor verde das folhas, o uso do aparelho exige a atenção para algumas condições que podem alterar os resultados (Malavolta et al., 1997):

- apenas o nitrogênio deve estar influenciando o teor de clorofila; a deficiência de outros nutrientes, por exemplo, o Fe, leva à diminuição de sua síntese e causa amarelecimento;
- a tonalidade da coloração verde varia com a espécie, cultivar, tipo e idade da folha, portanto, afetará a leitura;
- a parte da folha pode modificar a leitura;
- a padronização da leitura deve ser feita usando-se folhas com teor de N conhecido;
- em lugar da unidade SPAD dada pelo aparelho, na calibração pode-se usar aproximações:
 - leitura diferencial = leitura em plantas bem nutridas em N e de alta produção (padrão) - leitura da amostra;
 - índice de suficiência = $\frac{\text{leitura da amostra}}{\text{leitura do padrão}} \times 100$

A Tabela 20 apresenta as recomendações de amostragem para algumas culturas para se efetuar a medida de clorofila.

TABELA 20 - Recomendações da amostragem de folhas para medir a clorofila.

Cultura	Amostra
Arroz	Duas semanas antes ou depois da diferenciação da panícula; Folha mais recentemente expandida; Três quartos de distância da base para a ponta da folha; Valor adequado: >40
Batatinha	4ª ou 5ª folha da ponta da planta para baixo (a folha mais nova completamente expandida); Um mês depois do plantio, pouco antes da iniciação dos tubérculos; Valores adequados: entre 49 e 56
Macieira	Porção mediana do lançamento do ano, início da primavera; Leituras nos lados opostos à nervura principal, na parte mais larga da folha; Valores adequados: entre 45 e 55
Milho	Aparecimento do cabelo, folha abaixo da espiga principal; Leitura a 1,5 cm da margem da folha; Valores adequados: entre 45 e 48
Trigo	Meio do perfilhamento; Meio da primeira folha totalmente expandida a partir da ponta da planta; Valores adequados: entre 48 e 52

MALAVOLTA et al. (1997).

Guimarães (1998) estabeleceu os níveis críticos da leitura SPAD nas folhas opostas aos sete primeiros cachos do tomateiro cultivado em estufa e a campo. Assim, os níveis críticos de leitura SPAD de 49, 48, 47, 46, 45, 44 e 43, no aparecimento do primeiro até o sétimo cacho, respectivamente, podem ser considerados como referência para a cultura. Para o milho, a leitura SPAD de 52 tem sido obtida em folhas nas épocas da antese e formação dos grãos.

É importante ressaltar, que todos os fatores que afetam o teor de clorofila, afetam a tonalidade verde da planta e, por conseqüência, os valores da leitura SPAD. Assim, os valores apresentados como limites entre suficiência e deficiência, ou seja, os níveis críticos, são apenas referenciais e precisam ser ajustados a cada condição.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise química do solo é, certamente, a ferramenta mais eficiente e segura que os técnicos e os produtores dispõem para a avaliação da capacidade do solo em fornecer nutrientes às plantas, recomendar quantitativamente as correções necessárias e, assim, prevenir problemas nutricionais das culturas. Mas, o solo é um meio heterogêneo física e quimicamente, com inúmeras reações químicas, físico-químicas e microbiológicas, que afetam o aproveitamento dos nutrientes pelas plantas. A análise da planta, por sua vez, representa uma integração de todos os fatores que afetam a disponibilidade dos nutrientes no solo e o estado nutricional da cultura em dado momento.

A análise do solo é bastante eficiente para avaliar a reação do solo e os problemas associados a ela, como a acidez, alcalinidade e salinidade, bem como para recomendar de forma quantitativa as medidas corretivas. A análise do solo é, também, eficaz para o fósforo, potássio, cálcio e magnésio. Nesses casos, a análise da planta se aplicaria basicamente para um acompanhamento das práticas recomendadas.

O maior interesse e aplicação da análise da planta fica para o nitrogênio - nutriente de previsão difícil pela análise do solo - e para os micronutrientes, considerando a carência de informações dos teores de referência no solo e padronização da metodologia analítica; embora tem-se observado um grande avanço nesse sentido nos últimos anos.

A análise do solo apresenta, também, algumas vantagens em relação à análise da planta: se for considerada a época de execução, a análise de solo sendo realizada antes do plantio das culturas anuais ou previamente à fase produtiva das perenes, permite a recomendação de doses para correção e adubação com antecedência. Já a análise da planta, sendo realizada quando as culturas estão bastante desenvolvidas, qualquer problema diagnosticado dificilmente poderá ser corrigido no mesmo ano agrícola. Deve-se ressaltar, ainda, que existem poucas informações sobre as doses a serem aplicadas para correção de uma carência identificada pela análise da planta.

Principalmente em plantas perenes, onde a adubação recomendada com base na análise do solo é aplicada parceladamente, a análise da planta pode dar informações importantes para um ajuste no plano de adubação.

Dessa maneira, não se deve pensar em substituir a análise de solo pela análise da planta e sim, usá-la nos seus diferentes métodos, como complementar àquela. Tanto para um acompanhamento dos resultados da adubação, quanto para a recomendação (no caso do nitrogênio para algumas cultura perenes) ou ajuste no plano de adubação (também para o parcelamento em perenes), o uso da análise da planta pode representar grande economia de fertilizantes e ganhos na produção.

LITERATURA CITADA

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; BRAGA, J. M.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F.; RIBEIRO, A. C.; DEFELIPO, B. V. Avaliação da fertilidade do solo: metodologia. In: SIMPÓSIO DA PESQUISA NA UFV, 1, 1988. Viçosa. **Resumo...** Viçosa: UFV, 1988. p. 68-69.

BALDOCK, J. O.; SCHULTE, E. E. Plant analysis standardized score combines DRIS and sufficient range approaches for corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, p. 448-456, 1996.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48p. (Boletim técnico, 78).

BEAUFILS, E. R. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS): a general scheme of experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. University of Natal, Pietermaritzburg, South Africa, 1973. (Soil Science Bulletin, 1).

BOUMA, D. Diagnosis of mineral deficiencies using plant tests. In: LAUCHELI, A.; BIELESKI, R. L. (eds.) **Inorganic plant nutrition**. Encyclopedia of Plant Physiology, New Series. Berlin: Heidelberg, Springer-Verlag, v. 15A, p. 120-146, 1983.

CATE, R. B.; NELSON, L. A. **A rapid method for correlation of soil analysis with plant response data**. Washington: North Carolina Agricultural Experimental Station, International Soil Testing Series, 1965. 23p. (Technical Bulletin, 1).

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 227p.

FERNANDES, L. A. **Formas de alumínio, de fósforo e fosfatase ácida em solos de várzea cultivados com feijoeiro: influência da calagem e fósforo**. Lavras: UFLA, 1997. 111p. (Tese - Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).

GUIMARÃES, T. G. **Nitrogênio no solo e na planta, teor de clorofila e produção do tomateiro, no campo e na estufa, influenciados por doses de nitrogênio**. Viçosa: UFV, 1998. 184p. (Tese - Doutorado em Fitotecnia).

GUIMARÃES, P. T. G.; GARCIA, A. W. R.; ALVAREZ V., V. H.; PREZOTTI, L. C.; VIANA, A. S.; MIGUEL, A. E.; MALAVOLTA, E.; CORREA, J. B.; LOPES, A. S.; NOGUEIRA, F. D.; MONTEIRO, A. V. C.; OLIVEIRA, J. A. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª Aproximação. Viçosa: UFV, 1999. p. 289-302.

HARTZ, T. K.; MIYAO, E. M.; VALENCIA, J. G. DRIS evaluation of the nutritional states of processing tomato. **Hortscience**, Alexandria, v. 33, p. 830-832, 1998.

KENWORTHY, A. L. Interpreting the balance of nutrient-elements in leaves of fruits trees. In: REUTHER, W. **Plant analysis and fertilizers problems**. Washington: American Institute of Biological Science, 1961. p. 28-43.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E.; MOREIRA, A. Nutrição e adubação do cafeeiro adensado. Piracicaba: **Informações Agronômicas**, n. 80, p. 1-7, dez. 1997. (Encarte técnico).

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. New York: Academic Press, 1995. 889 p.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª Aproximação. Viçosa: UFV, 1999. p. 143-168.

MARTINEZ, H. E. P.; SOUZA, R. B.; ALVAREZ V., V. H.; MENEZES, J. F. S.; OLIVEIRA, J. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARENGA, A. P.; FONTES, P. C. R. Avaliação da fertilidade, padrões para diagnose foliar e potencial de resposta à adubação de lavouras cafeeiras de Minas Gerais. In: ZAMBOLIM, L. (ed.) **Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade**. Viçosa: UFV, 2000. p. 209-238.

MELO, W. J.; LEMOS, E. G. M. Análise bioquímica de plantas. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. (eds.) **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p. 309-331.

MILLS, H. A.; JONES Jr, J. B. **Plant analysis handbook II**. Athens: Micro Macro Publishing, Inc., 1996. 422p.

MONTAÑEZ, L.; HERAS, L.; ABADIA, J.; SANZ, M. Plant analysis interpretation based on a new index: deviation from optimum percentage (DOP). **Journal Plant Nutrition**, v. 16, n. 7, p. 1289-1308, 1993.

RAIJ, B. van; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**, 2 ed. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundação IAC, 1996. 285p. (Boletim técnico, 100).

RITCHEY, K. D.; COX, F. R.; GALRÃO, E. Z.; YOST, R. S. Disponibilidade de zinco para as culturas de milho, sorgo e soja em Latossolo Vermelho-Escuro argiloso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 21, p. 215-225, 1986.

SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: Dep. de Química, ESALQ - USP, 1974. (Mimeografado).

SILVA, A. R.; ANDRADE, J. M. V.; PERES, J. R. R. Efeito residual de micronutrientes no teor foliar e na produção de soja no cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, n. 21, p. 597-613, 1986.

SILVA, F. C. (org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA, 1999. 370p.

ULRICH, A.; HILLS, F. J. Principles and practices of plant analysis. In: SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. **Soil testing and plant analysis**. Madison, 1967. p. 11-24. (Special Publication, Series 2).

WADT, P. S. G. **Os métodos da chance matemática e do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) na avaliação nutricional de plantios de eucalipto**. Viçosa: UFV, 1996. 123p. (Tese - Doutorado).

WADT, P. S. G. DRIS em soja: usando a tecnologia tupiniquim. Piracicaba: **Informações Agrônomicas**, n. 87, p. 6-7, set. 1999.

WALWORTH, J. L.; SUMNER, M. E.; ISAAC, R. A.; PLANK, C. O. Preliminary DRIS norms for alfafa in the Southeastern United State and a comparison with the Midwest norms. **Agronomy Journal**, Madison, v. 78, p. 1046-1052, 1986.
