

# *Documentos*

---

ISSN 0104-9046  
Agosto, 2011

120

## **Diagnose Foliar e Recomendação de Adubação para Lavouras Comerciais**



ISSN 0104-9046

Agosto, 2011

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Acre  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# ***Documentos 120***

## **Diagnose Foliar e Recomendação de Adubação para Lavouras Comerciais**

Paulo Guilherme Salvador Wadt

Embrapa Acre  
Rio Branco, AC  
2011

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Acre**

Rodovia BR 364, km 14, sentido Rio Branco/Porto Velho  
Caixa Postal 321

CEP 69908-970 Rio Branco, AC

Fone: (68) 3212-3200

Fax: (68) 3212-3285

<http://www.cpafac.embrapa.br>

[sac@cpafac.embrapa.br](mailto:sac@cpafac.embrapa.br)

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *Maria de Jesus Barbosa Cavalcante*

Secretária-Executiva: *Suely Moreira de Melo*

Membros: *Andréa Raposo, Elias Melo de Miranda, Ernestino de Souza Gomes Guarino, Maykel Franklin Lima Sales, Romeu de Carvalho Andrade Neto, Tadário Kamel de Oliveira, Tatiana de Campos, Uilson Fernando Matter, Virginia de Souza Álvares*

Supervisão editorial: *Claudia Carvalho Sena / Suely Moreira de Melo*

Revisão de texto: *Claudia Carvalho Sena / Suely Moreira de Melo*

Normalização bibliográfica: *Riquelma de Sousa de Jesus*

Tratamento de ilustrações: *Davi Lima de Moura*

Editoração eletrônica: *Davi Lima de Moura*

Foto da capa: *Paulo Guilherme Salvador Wadt*

**1ª edição**

1ª impressão (2011): 300 exemplares

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Embrapa Acre**

---

W124p Wadt, Paulo Guilherme Salvador.

Diagnose foliar e recomendação de adubação para lavouras comerciais / Paulo Guilherme Salvador Wadt – Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2011.

69p. (Documentos / Embrapa Acre, ISSN 0104-9046; 120)

1. Diagnose foliar. 2. Sistema DRIS. 3. Adubação – Recomendação – Lavoura comercial. I. Título. II. Série.

CDD (21. ed.) 631.42

# **Autor**

**Paulo Guilherme Salvador Wadt**

Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Acre,  
paulo@cpafac.embrapa.br



# Apresentação

A pesquisa agropecuária brasileira tem proporcionado, nos últimos 20 anos, importantes avanços no desenvolvimento de técnicas de avaliação do estado nutricional das plantas para o manejo dos sistemas de adubação.

Essas técnicas possibilitam uma nova abordagem para o desenvolvimento de sistemas de recomendação de adubação de nutrientes destinados às culturas agrícolas, nos quais o monitoramento nutricional passa a ser um fator decisivo, substituindo a necessidade de condução de ensaios de calibração de adubação por longos períodos e em diferentes locais.

Este trabalho apresenta o referencial teórico e prático relacionado ao método do potencial de resposta à adubação, o qual permite utilizar a interpretação do estado nutricional das lavouras na recomendação de adubação, integrando análises de solos, patamar tecnológico e estado nutricional em um sistema unificado para o manejo das adubações.

*Judson Ferreira Valentim*  
Chefe-Geral da Embrapa Acre



# Sumário

1. Introdução.....	9
2. Tabelas de adubação.....	10
3. Sistemas baseados no balanço nutricional solo-planta .....	15
4. Limitações do uso de sistemas de recomendação baseados na análise de solos.....	16
5. Princípios da nutrição de plantas aplicadas.....	20
5.1. Uso de relações bivariadas no controle da taxa de acumulação de biomassa.....	27
5.2. Métodos diagnósticos.....	29
5.2.1 Método das Faixas de Suficiência.....	31
5.2.2 Método DRIS.....	34
5.2.3 Método CND.....	41
5.3. Interpretação do estado nutricional das plantas por meio dos índices DRIS .....	42
5.4. Recomendação de adubação com base na diagnose foliar.....	50
6. Conclusão.....	61
7. Referências.....	62



# Diagnose Foliar e Recomendação de Adubação para Lavouras Comerciais

---

*Paulo Guilherme Salvador Wadt*

## 1. Introdução

O Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS), desenvolvido por Beaufils (1973), foi proposto como um sistema de monitoramento dos fatores produtivos e para a recomendação de práticas de manejo e de adubação visando aumentar a produtividade das culturas cultivadas. Entretanto, desde o início de sua divulgação (SUMNER, 1978), o sistema tem sido preconizado como uma ferramenta de avaliação do estado nutricional das plantas, com base na análise de tecido (normalmente folhas), sem a necessidade de estabelecer rígido controle experimental. Além disso, é capaz de realizar diagnósticos nutricionais acurados, independente das condições locais de crescimento das plantas ou de seu desenvolvimento fenológico (independência em relação à idade da planta e/ou cultura).

Dada a impossibilidade de se reproduzir nas culturas comerciais as mesmas condições em que foram obtidos os valores de referência para a avaliação do estado nutricional pelos métodos convencionais de análise foliar, face aos efeitos de diluição e de concentração nunca completamente controlados (JARREL; BEVERLY, 1981), o DRIS

representaria uma alternativa segura de identificar acuradamente o impacto de um dado nutriente sobre a produtividade das culturas, atendendo, portanto, o objetivo principal da avaliação nutricional foliar que consiste em otimizar o manejo da adubação, tornando-a mais eficiente (MOURÃO FILHO, 2004).

Nesse contexto, observou-se que o sistema DRIS produz diagnósticos nutricionais mais precisos do que os métodos convencionais, notadamente o método do Nível Crítico ou da Faixa de Suficiência. Assim, tem-se pesquisado nas quatro últimas décadas equações ou modelos matemáticos mais apropriados para descrever as funções DRIS, em avaliações envolvendo diferentes bases de dados (com ou sem calibração local, por exemplo) ou na comparação dos diagnósticos nutricionais proporcionados pelos diferentes métodos de avaliação das plantas.

Contudo, menor atenção tem sido dada ao uso do sistema DRIS para a recomendação de adubação propriamente dita, ou seja, no juízo baseado no diagnóstico e que prescreve as medidas agrônomicas e prevê a evolução do estado nutricional da cultura avaliada. De um modo mais simples, muito se tem avançado em relação ao desenvolvimento de um diagnóstico nutricional fundamentado no DRIS, porém, pouco tem sido possível no que diz respeito a transformar esse diagnóstico em recomendação prática.

Assim, o propósito deste trabalho foi apresentar o critério do potencial de resposta à adubação e sua utilidade para o manejo de adubação de lavouras comerciais.

## **2. Tabelas de adubação**

No manejo das adubações, a avaliação da fertilidade do solo e sua interpretação com base em níveis de disponibilidade dos nutrientes no solo, junto com a exportação de nutrientes pelas culturas, têm sido o princípio fundamental adotado em tabelas de recomendação de adubação para as culturas em geral.

A recomendação de adubação para as culturas comerciais consiste na interpretação de indicadores sobre o suprimento de nutrientes pelo solo e da avaliação, por modelos sistematizados, do potencial produtivo e respectiva demanda de nutrientes pelas lavouras. Portanto, todo processo segue um determinado conjunto de regras (métodos) ou decisões (baseadas no conhecimento empírico ou científico), visando à quantificação dos nutrientes e o manejo a ser aplicado para cada fonte do nutriente utilizada na adubação.

Neste trabalho, embora não menos importantes, as questões relacionadas às fontes de nutrientes e ao manejo da adubação não serão abordadas. Trata-se unicamente de conciliar a avaliação da fertilidade do solo com o diagnóstico do estado nutricional das lavouras visando quantificar a necessidade de nutrientes para as lavouras comerciais.

Especificamente, a avaliação da fertilidade do solo baseia-se na interpretação da análise química de algumas de suas propriedades. Essas análises são úteis para identificar a existência de fatores que possam comprometer o desenvolvimento das culturas, como por exemplo, a acidez ou salinidade, como também estimar sua capacidade em suprir os nutrientes necessários ao crescimento e desenvolvimento das culturas.

A análise de solos é uma ferramenta de uso simples e direto. Existem duas abordagens principais para sua utilização: tabelas de adubação ou estimativa do suprimento do nutriente pelo solo para aplicar em sistemas baseados no balanço nutricional solo-planta. As tabelas de adubação consistem na ferramenta mais utilizada para a interpretação da análise de solos e a determinação das quantidades de nutrientes requeridas pelas lavouras. A construção dessas tabelas é realizada na etapa da correlação, ou seja, da escolha do extrator químico que apresente a melhor correlação entre a estimativa da disponibilidade de nutriente no solo e a absorção pelas plantas; e na etapa de calibração, que consiste em ajustar a relação entre os valores dos nutrientes

disponíveis no solo com a produtividade e doses de fertilizantes necessárias para o crescimento ótimo ou econômico da cultura.

Na etapa da calibração, o objetivo central é verificar a correlação entre o método de extração do nutriente no solo e a absorção pela planta. Normalmente, são realizados ensaios de adubação em muitos solos distintos, em condições de casas de vegetação, procurando otimizar todos os demais nutrientes nos solos e as condições de crescimento da planta (pH, disponibilidade de água, temperatura ambiente, dentre outras) (NOVAIS et al., 2007). A espécie vegetal utilizada nesses ensaios normalmente deve apresentar um rápido crescimento e elevada absorção de nutriente, sendo os híbridos de milho comumente escolhidos como planta indicadora.

Havendo, em um grande número de solos, correlação significativa entre as quantidades de nutrientes que um determinado extrator retira do solo e o crescimento da planta, ou com as quantidades absorvidas pela planta, o nutriente extraído pode então ser considerado como a fração do elemento no solo que se encontra “disponível” para as lavouras. O melhor método de extração para determinado elemento químico será aquele que proporciona maior correlação; contudo, do ponto de vista prático, é necessário também considerar que o extrator a ser utilizado deverá apresentar correlações satisfatórias com um maior número possível de nutrientes, de modo que em um único procedimento de extração seja possível avaliar a disponibilidade de um maior número de nutrientes minerais essenciais.

A etapa de calibração corresponde à fase de campo, na qual o objetivo será calibrar a disponibilidade do nutriente com a produtividade da cultura e suas doses necessárias para o desenvolvimento da lavoura. Nessa etapa, são determinadas as faixas de disponibilidade do nutriente do solo em função do crescimento relativo da lavoura e de sua resposta à adubação. As faixas de disponibilidade determinadas são normalmente muito baixo, baixo, adequado, alto e muito alto.

Alguns extratores, quando sensíveis à capacidade de tamponamento do nutriente do solo, necessitam para a interpretação da disponibilidade do nutriente da estimativa do fator de capacidade tampão do solo, como por exemplo, o fósforo extraído com solução de Mehlich-1 e a avaliação da capacidade tampão do solo para fósforo, essa última estimada por meio da análise do fósforo remanescente (ALVAREZ et al., 2000; NOVAIS et al., 2007). Nesse caso, a interpretação da disponibilidade do nutriente no solo dependerá da avaliação da contribuição do fator capacidade tampão, como por exemplo, interpretar a disponibilidade de fósforo em solos do Estado do Acre (Tabela 1) (WADT; SILVA, 2011).

**Tabela 1.** Classes de interpretação da disponibilidade de fósforo extraído com solução de Mehlich-1, em  $\text{mg dm}^{-3}$ , em função do fator capacidade de fosfato (FCP) estimado pelo teor P rem, em  $\text{mg dm}^{-1}$ .

FCP	P rem	Muito baixo	Baixo	Médio	Bom	Muito bom	P Mehlich-1	
							----- $\text{mg dm}^{-3}$ -----	
Muito alto	$P \text{ rem} \leq 3$	$P < 3$	$3 \leq P < 4$	$4 \leq P < 6$	$6 \leq P < 8$	$P \geq 8$		
Alto	$3 < P \text{ rem} \leq 9$	$P < 4$	$4 \leq P < 6$	$6 \leq P < 8$	$8 \leq P < 12$	$P \geq 12$		
Médio	$9 < P \text{ rem} \leq 18$	$P < 5$	$5 \leq P < 8$	$8 \leq P < 11$	$11 \leq P < 16$	$P \geq 16$		
Baixo	$18 < P \text{ rem} \leq 36$	$P < 9$	$9 \leq P < 13$	$13 \leq P < 18$	$18 \leq P < 28$	$P \geq 28$		
Muito baixo	$P \text{ rem} > 36$	$P < 15$	$15 \leq P < 22$	$22 \leq P < 30$	$30 \leq P < 45$	$P \geq 45$		

Fonte: Wadt; Silva (2011).

Por outro lado, alguns nutrientes não possuem extratores que apresentem correlações satisfatórias entre os valores extraídos e o crescimento de plantas ou as quantidades absorvidas, como o nitrogênio. Nesse caso, as tabelas de adubação são construídas por meio de curvas de respostas médias, obtidas em condições de campo, com dados de vários ensaios, repetidos em diferentes anos e locais (CANTARELLA, 2007).

Outra informação utilizada nas tabelas de adubação é a produtividade esperada, uma importante medida para definir a dose de um nutriente, visto que quanto maior o potencial de produção de uma lavoura (definido pelo local de cultivo, material genético utilizado, condições climáticas, manejo fitotécnico) maior poderá ser a demanda de determinado nutriente (CANTARELLA, 2007).

As tabelas de adubação podem ainda utilizar outros modelos complexos, porém empíricos, e alguns não parametrizados. Como por exemplo, o cálculo da contribuição de cultivos anteriores, como no caso da tabela de recomendação de adubação para milho em sistema de plantio direto (AMADO et al., 2002), a finalidade de uso do cultivo comercial, como a tabela de recomendação de adubação para laranja destinada ao consumo industrial ou in natura (QUAGGIO et al., 2005), ou ainda, a idade da conversão da área para uso agrícola, o uso de adubos verdes ou a combinação do teor de matéria orgânica do solo e da atividade de argila para a interpretação da disponibilidade de nitrogênio no solo (Tabela 2) (WADT; CRAVO, 2005).

**Tabela 2.** Classes de interpretação da disponibilidade de nitrogênio no solo.

Nitrogênio disponível		
Baixo	Médio	Alto
Solos com uso agrícola maior que 5 anos, com CTC menor que 10 $\text{cmol}_{(c+)} \text{dm}^{-3}$ e sem utilização de adubos orgânicos ou verdes	Solos recém-desmatados, com utilização de adubos orgânicos ou verdes, ou recém-desmatados com CTC maior que 10 $\text{cmol}_{(c+)} \text{dm}^{-3}$ e teor de carbono orgânico menor que 11 $\text{g kg}^{-1}$	Solos recém-desmatados, com CTC maior que 10 $\text{cmol}_{(c+)} \text{dm}^{-3}$ e com teor de carbono orgânico maior que 11 $\text{g kg}^{-1}$

Fonte: Wadt; Cravo (2005).

Nas tabelas de adubação podem ser utilizadas informações sobre o estado nutricional das lavouras, o qual é avaliado com base no critério das faixas de suficiência ou do potencial de resposta à adubação, respectivamente para a interpretação do estado nutricional pelo método convencional ou pelo método do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS). São exemplos a tabela de recomendação de nitrogênio para cafeeiros no Estado de São

Paulo (RAIJ et al., 1996) e a do Estado do Acre (WADT, 2005), respectivamente, para o método convencional e o método do DRIS. Esse assunto será tratado com mais detalhes em outro tópico deste trabalho.

### 3. Sistemas baseados no balanço nutricional solo-plantas

A adição ou reposição de nutrientes pode ser quantificada mediante sistemas baseados no balanço nutricional entre a demanda pelas plantas para uma dada produtividade esperada e o suprimento pelo solo. No Brasil, o principal exemplo desse tipo de sistema é o Nutricalc (BARROS et al., 1995), que vem sendo utilizado para diversas culturas, dentre a principal, o eucalipto.

O cálculo da quantidade de nutriente suprida pelo solo é função de seu teor, da taxa de recuperação do nutriente pelo extrator utilizado e do volume de solo explorado pelas raízes (OLIVEIRA, 2003). Esse volume explorado depende da espécie vegetal, sendo adotados valores como 0 cm a 40 cm para essências florestais, como a teca (*Tectona grandis*) (OLIVEIRA, 2003), ou 0 cm a 30 cm para frutíferas, como a bananeira (OLIVEIRA et al., 2005).

O teor do nutriente indicado na análise química do solo é um índice de disponibilidade e não a quantificação do nutriente realmente disponível para a cultura. Assim, nesse sistema, divide-se o teor de um nutriente indicado na análise de solo pela respectiva taxa de recuperação do extrator ( $TR_{EX}$ ), variável em função de cada nutriente, obtendo-se a quantidade de nutriente suprida pelo solo ( $mg\ dm^{-3}$ ). Em seguida, multiplica-se o valor obtido pelo volume de solo explorado pelas raízes, dividindo-se o resultado por 1.000.000, obtendo-se assim o suprimento do nutriente proveniente do solo ( $kg\ ha^{-1}$ ) (OLIVEIRA et al., 2005).

Outra informação necessária nesse sistema é a quantidade de nutriente oriundo dos resíduos da cultura. Nesse caso, devem ser computados a produtividade obtida na cultura anterior, o coeficiente de utilização biológica de cada nutriente na matéria seca restituída ao solo e a fração desses nutrientes que será mineralizada entre o ciclo anterior e o atual.

O somatório do valor estimado para o suprimento do nutriente proveniente do solo e dos resíduos vegetais constitui o suprimento do nutriente para a lavoura. A dose a ser recomendada, em  $\text{kg ha}^{-1}$ , será então calculada a partir da diferença entre a quantidade requerida pela cultura e aquela suprida pelo sistema (solo + resíduos). Na determinação da quantidade requerida são necessárias informações sobre o coeficiente de utilização biológica de cada parte da planta (exportada e resíduos culturais), para cada nutriente ( $\text{kg MS kg}^{-1}$  nutriente), das quantidades de matéria seca exportadas e restituídas ao solo e da taxa de recuperação do nutriente fornecido via adubação.

A recomendação de adubação com base nos princípios do balanço solo-planta tem sido desenvolvida em diversas culturas e instituições de pesquisa e ensino, com destaque para a Universidade Federal de Viçosa, nos sistemas desenvolvidos para as culturas do algodão, arroz irrigado, bananeira, cana-de-açúcar, cafeeiro, coqueiro, eucalipto, milho, pastagem, soja e tomate (OLIVEIRA et al., 2005).

#### **4. Limitações do uso de sistemas de recomendação baseados na análise de solos**

A análise da disponibilidade de um nutriente para as lavouras e a sua capacidade de suprimento pelo solo podem ser estimadas com relativa exatidão para o fósforo, potássio, cálcio e magnésio. Em outros nutrientes, como nitrogênio, enxofre e os micronutrientes, a exatidão dessa estimativa é insatisfatória, o que explica, por exemplo, não existirem até o momento faixas para interpretação da disponibilidade

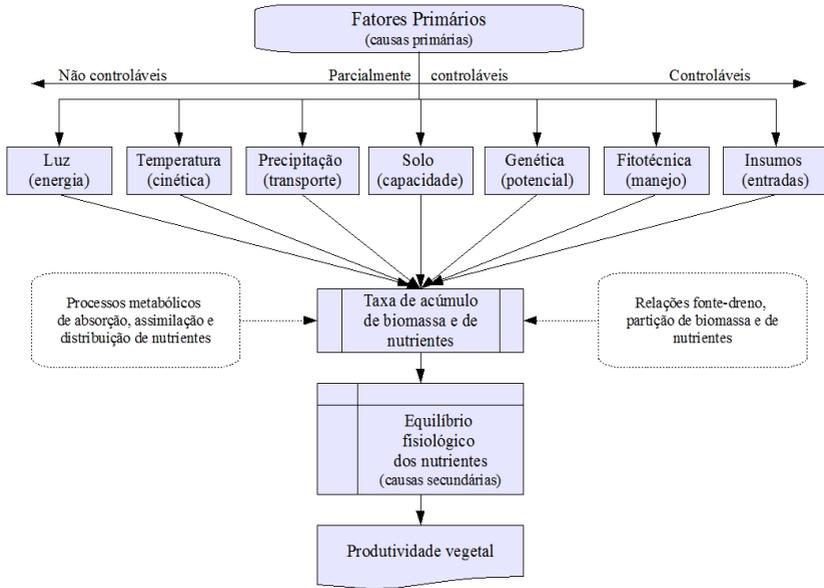
de nitrogênio ou enxofre no solo, em relação à maioria absoluta das culturas e mesmo diante da diversidade de métodos utilizados para estimar essa disponibilidade (incubação aeróbica, incubação anaeróbica, extratores ácidos ou básicos).

Informações complementares relacionadas à dinâmica desses nutrientes no solo, como sistema de manejo e de rotação de culturas, uso de inoculantes biológicos e de adubação verde (WADT; ALVAREZ, 2005), podem fornecer subsídios adicionais que contribuem na indicação das proporções e quantidades de nutrientes a serem recomendadas.

Entretanto, as recomendações de adubação fundamentadas unicamente nesses critérios não consideram de forma adequada as diversas interações que ocorrem entre os cultivos e todos os demais fatores de crescimento (luminosidade, temperatura, precipitação, potencial genético, entre outros) (Figura 1).

A produtividade de uma lavoura resulta do somatório do efeito interativo dos processos primários que regulam as taxas de absorção, assimilação e distribuição de nutrientes e de biomassa numa planta. Esses fatores variam desde aqueles não controláveis (luz, temperatura e precipitações pluviométricas), passando pelos parcialmente controláveis (solo, material genético), até os controláveis (manejo fitotécnico e adubação) (Figura 1).

Qualquer um desses fatores primários, isoladamente ou interagindo com outros, poderá alterar a taxa de acumulação da biomassa, do nutriente ou de ambos, e, portanto, determinar um estado único para o equilíbrio fisiológico dos nutrientes (INGESTAD; AGREEN, 1995). Esse estado fisiológico é a causa secundária determinante da produtividade vegetal (BEAUFILS, 1973) (Figura 1).



**Figura 1.** Representação esquemática dos efeitos das causas primárias nos processos metabólicos de acumulação de biomassa e de nutrientes e sua relação com o equilíbrio fisiológico dos nutrientes e com a produtividade vegetal.

Fonte: adaptado de Beaufilets (1973).

Nesse cenário, controlar a adubação, estabelecer a produtividade esperada com base no manejo fitotécnico e no potencial genético da lavoura e avaliar a capacidade de suprimento de nutrientes pelo solo não representam todos os fatores primários que afetam as taxas de acumulação de biomassa e de nutrientes. Assim, não é possível determinar com segurança os ajustes que podem ser feitos naqueles fatores mais facilmente controláveis no sentido de melhorar a produtividade das culturas.

Por outro lado, uma vez determinado o estado nutricional de uma lavoura, facilmente podem-se identificar as causas secundárias

que controlam a produtividade e, dessa forma, realizar os ajustes necessários visando corrigir desequilíbrios nutricionais, caso esses venham a ser identificados.

Nesse sentido, a diagnose foliar passa a ser uma importante ferramenta para o manejo da adubação, uma vez que as folhas representam o principal compartimento da planta relacionado ao seu potencial produtivo.

Isso implica que, seja pelo uso das tabelas de adubação ou de sistemas de balanço nutricional solo-planta, somente parte das interações que ocorre nas plantas será considerada se as causas secundárias da produtividade não forem investigadas no processo de recomendação de adubação.

Na maioria das vezes, esses sistemas serão suficientes para proporcionar um maior patamar em relação à produtividade das lavouras, porém, insuficientes para o suprimento equilibrado de nutrientes em sistemas de alta produtividade e que exigem elevada eficiência do uso de recursos. Acrescente-se que quanto mais complexo for o sistema agrícola, maior será a distorção entre a recomendação de nutrientes por esses sistemas e as reais necessidades da cultura.

As necessidades de nutrientes para uma lavoura podem ser mais bem avaliadas se for considerado seu estado nutricional, mas o uso dessa ferramenta não deve implicar no abandono da análise de solos, pois essa é indispensável para verificar periodicamente a evolução da sua fertilidade e possíveis alterações na capacidade de suprir os nutrientes necessários.

Deve-se ainda considerar que as lavouras poderão apresentar deficiência para um ou mais nutrientes, mesmo se estiverem disponíveis em quantidades elevadas no solo. Isso sugere que as medidas corretivas não devem passar necessariamente pelo aumento da quantidade do nutriente a ser fornecido via adubação, mas por

outras alternativas que facilitem sua absorção e utilização pelas plantas. É possível que essa situação ocorra, por exemplo, em solos com impedimentos físicos ou químicos, ou até mesmo estresse hídrico.

Nos próximos tópicos será discutido como a análise foliar poderá complementar o diagnóstico do estado nutricional de uma lavoura e, assim, influir no processo de recomendação da adubação. Para isso, serão inicialmente abordados os princípios da nutrição de plantas aplicadas e os principais métodos disponíveis para o diagnóstico do estado nutricional de lavouras comerciais, discutindo-se suas limitações. Ao final, será apresentado o uso do método DRIS na recomendação de adubação.

## **5. Princípios da nutrição de plantas aplicadas**

Sob a ótica estritamente quantitativa, a concentração de um nutriente em um tecido vegetal ( $C_n$ ) corresponde ao quociente da quantidade de nutriente acumulada nesse tecido ( $n$ ), num dado intervalo de tempo ( $\Delta t$ ), pela quantidade de biomassa acumulada no mesmo tecido ( $B$ ), a esse mesmo intervalo de tempo ( $\Delta t$ ). Embora o valor da  $C_n$  seja resultante de dois processos dinâmicos de acumulação biológica (nutriente e biomassa), constitui uma medida estática, instantânea (INGESTAD, 1987). Esses processos dinâmicos são representados pelas taxas de acumulação do nutriente ( $\Delta n = n/\Delta t$ ) e de biomassa ( $\Delta B = B/\Delta t$ ), sendo suportados pelo órgão da planta desde o início de seu crescimento até o momento da amostragem.

Por esse motivo, a concentração do nutriente no tecido amostrado é uma medida estática que, embora derive de processos dinâmicos e interdependentes, pouco informa sobre a dinâmica desses processos.

Em outras palavras, os distintos fatores que atuam ao longo da história de crescimento do tecido amostrado, relacionados aos processos fisiológicos, como a taxa de absorção de nutriente, as relações fonte-dreno, as taxas de transporte interno de nutrientes e

carboidratos, a respiração e a fotorrespiração celular e a fotossíntese, entre outros (INGESTAD; AGREEN, 1995), não podem ser conhecidos apenas pela quantificação da concentração do nutriente no tecido vegetal.

Além disso, os processos de acúmulo de nutriente e de biomassa apresentam mecanismos de autocontrole, de modo que a quantidade de um nutriente absorvida pela planta afetará a sua capacidade em continuar absorvendo o respectivo nutriente. Em razão disso, as taxas de acúmulo podem ser quantificadas pelas taxas relativas de acúmulo de nutrientes ( $\Delta n_r$ ) e pela taxa relativa de acúmulo de biomassa ( $\Delta B_r$ ) (INGESTAD; AGREEN, 1992, 1995).

Suponha-se uma planta nutricionalmente sadia em que a  $C_n$  mantenha-se constante durante um dado período de tempo. Nessa situação, a derivada de  $C_n$  em relação ao tempo será igual a zero, ou seja, as taxas de acúmulo de nutriente serão proporcionais entre si, fazendo com que a concentração do nutriente mantenha-se constante em função do tempo:

$$d(C_n)/dt = 0$$

Como a  $C_n$  pode ser descrita pelo quociente da quantidade de nutriente (n) pela quantidade de biomassa (B), então:

$$d(n/B)/dt = 0$$

Derivando-se a expressão, segue que:

$$((B \cdot dn/dt) - (n \cdot dB/dt))/B^2 = 0$$

E, rearranjando os termos, tem-se que:

$$B \cdot (dn/dt)/B^2 - n \cdot (dB/dt)/B^2 = 0$$

$$B \cdot (dn/dt) = n \cdot (dB/dt)$$

$$(dn/dt)/n = (dB/dt)/B$$

Ou em termos de taxa de acúmulo relativa:

$$\Delta n_R = \Delta B_R$$

Demonstra-se, assim, que enquanto a  $C_n$  de um nutriente for mantida constante em um dado tecido, durante um determinado período de tempo, as taxas relativas de acúmulo do nutriente ( $\Delta n_R$ ) e da biomassa ( $\Delta B_R$ ) serão iguais.

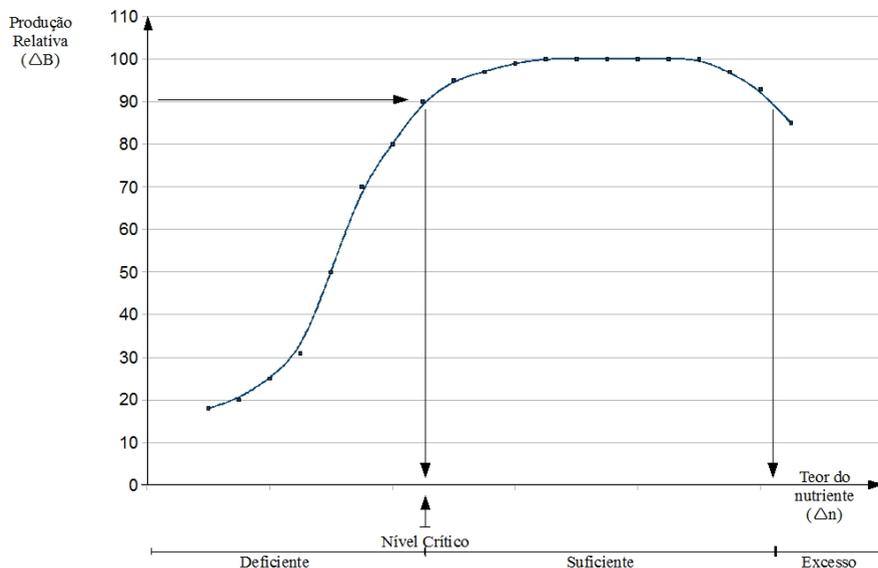
Se algum fator diminuir a  $\Delta n_R$  a uma proporção maior que a  $\Delta B_R$ , a  $C_n$  diminuirá, sugerindo que há limitação nutricional.

Por outro lado, se a  $\Delta n_R$  ocorrer a uma maior taxa que a  $\Delta B_R$ , a  $C_n$  da planta aumentará, sugerindo que o nutriente se encontra em excesso.

Dessa dinâmica, pode-se construir um relacionamento hipotético e ideal entre o teor do nutriente e a produtividade vegetal (Figura 2), em que se obtêm, pelo menos, três zonas para a dependência da produtividade vegetal em função de variações no teor do nutriente: zona de deficiência, de suficiência e de consumo de luxo.

Na zona de deficiência, o aumento da  $\Delta n$  resultará em aumento da  $\Delta B$ , porém, a taxa de aumento relativo de  $\Delta n$  ainda é ligeiramente menor que  $\Delta B$  ( $\Delta n_R < \Delta B_R$ ), significando que a taxa de acúmulo de nutrientes não atende à demanda imposta pela taxa de crescimento.

Quando  $\Delta n_R$  for ótimo ( $\Delta n_{R \text{ ótimo}}$ ),  $\Delta B_R$  também será ótimo ( $\Delta B_{R \text{ ótimo}}$ ). Fisiologicamente, esse ponto representa o potencial máximo de crescimento da planta em condições naturais (INGESTAD; AGREEN, 1992, 1995) e corresponde, aproximadamente, à zona de suficiência. Nessa região, há uma sincronia entre o acúmulo de nutriente e de biomassa, de forma que a planta apresenta nessa situação melhores condições para alcançar maiores produtividades biológicas.



**Figura 2.** Relacionamento teórico entre a produtividade relativa de uma lavoura e o teor do nutriente em tecidos vegetais.

Após o nível ótimo fisiológico, se  $\Delta n_R > \Delta B_R$ , diz-se que a planta está na zona de consumo de luxo. Nessa faixa, a taxa de acúmulo de biomassa já atingiu seu máximo fisiológico e o acúmulo de nutriente no tecido não contribui para o maior crescimento da planta.

Tendo-se definido o relacionamento teórico entre  $C_n$  e a produtividade vegetal, pode-se estabelecer o nível crítico (NC) como a concentração do nutriente abaixo do qual a taxa de acúmulo de nutriente não é suficiente para atender às demandas da taxa de acúmulo de biomassa. Nesse contexto, nível crítico consiste na  $C_{n_r}$ , ou faixa de valores de  $C_{n_r}$ , que separa plantas deficientes daquelas não deficientes.

O nível crítico tem sido determinado empiricamente como sendo o teor mínimo na planta que proporciona uma produtividade equivalente a 90% da produtividade máxima (Figura 2).

Quando  $C_n < NC$ , diz-se que a planta está nutricionalmente deficiente. Quando  $C_n > NC$ , diz-se que a planta está suficiente ou não deficiente.

Se a taxa de acúmulo relativa do nutriente for menor que a taxa de acúmulo relativa de biomassa ( $\Delta n_r < \Delta B_r$ ), significa que a planta estará crescendo mais rapidamente que sua capacidade de absorver o nutriente e, portanto, resultará em  $C_n < NC$ . Por outro lado, se a taxa de acúmulo relativa do nutriente for maior que a taxa de acúmulo relativa de biomassa ( $\Delta n_r > \Delta B_r$ ), significa que a planta estará absorvendo o nutriente a uma taxa mais rápida que a taxa de crescimento e, portanto, resultará em  $C_n > NC$ .

Todavia, a análise química dos tecidos informa somente o resultado do quociente entre as taxas de acúmulo do nutriente e da biomassa. Uma vez que tanto o acúmulo de nutrientes como o de biomassa resultam de processos metabólicos controlados por diferentes fatores internos e externos à planta, um mesmo teor de nutriente poderá ser resultante de diversas combinações de acúmulo de biomassa e de nutrientes. Jarrel e Beverly (1981) apresentaram 11 possibilidades de variações nas taxas de acúmulo do nutriente e da biomassa (Tabela 3), exemplificando muitos dos mecanismos possivelmente envolvidos, como alteração no crescimento radicular, na taxa de fotossíntese e de respiração, na concentração de nutriente na solução externa à planta, entre outras.

Nesse sentido, os ensaios de calibração para avaliar a dependência da produtividade de uma lavoura em relação à  $C_n$  somente são possíveis sob condições em que todos os demais fatores de crescimento se mantêm controlados e, supostamente, no nível ótimo. A abordagem convencional da nutrição de plantas aplicada baseia-se no controle experimental dos diversos fatores, avaliando o estado nutricional em função da variação de um único nutriente nos ensaios de calibração em que o nutriente em diagnose é feito variável, mantendo-se todos os demais em níveis ótimos (NOVAIS et al., 2007).

Dessa forma, a correlação obtida em ensaios de campo representa apenas uma exceção à regra mais geral do fenômeno observado na natureza. Obtém-se essa exceção quando  $\Delta n_R$  for o único fator a controlar a  $\Delta B_R$ , uma vez que todos os demais fatores de crescimento deverão ser mantidos no nível ótimo, sendo a  $C_n$  a única variável.

Nessas condições ideais,  $\Delta B_R$  será máxima enquanto não houver limitação nutricional; à medida que essa limitação surge,  $\Delta n_R$  diminui, resultando na diminuição da  $\Delta B_R$ . A curva de calibração, assim obtida, será adequada para avaliar lavouras em que a  $\Delta B_R$  não esteja sendo afetada por outros fatores além da  $\Delta n_R$ .

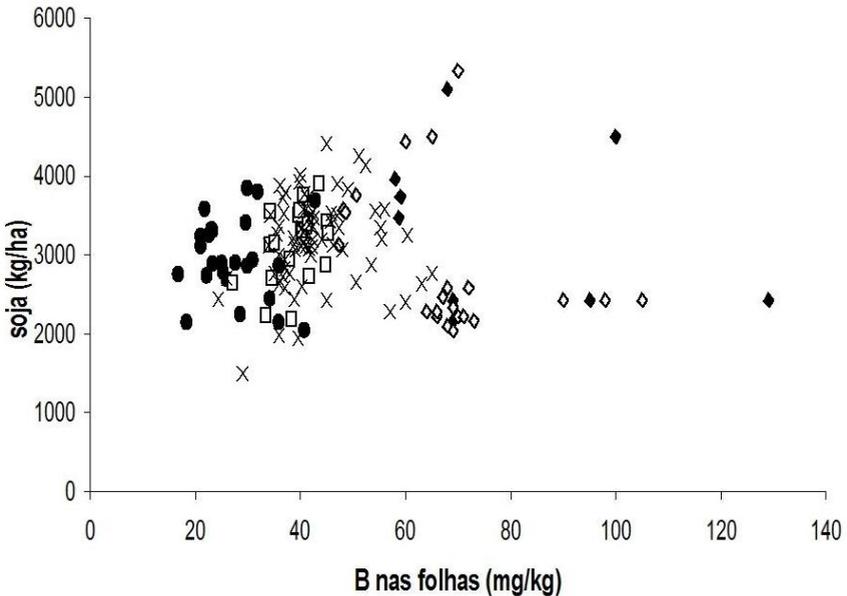
**Tabela 3.** Representação das mudanças na acumulação total de nutrientes, de matéria seca e da concentração em resposta aos mecanismos fisiológicos de acumulação de nutrientes e de biomassa.

Caso	Alteração na acumulação do nutriente	Alteração na acumulação de matéria seca	Alteração na concentração do nutriente	Comentário
1	↑	↑	↑	Sinergismo
2	↑	↑	0	-
3	↑	↑	↓	Efeito de diluição
4	↑	0	↑	Sinergismo
5	↑	↓	↑	Efeito de concentração
6	0	0	0	Ausência de resposta
7	↓	↑	↓	Efeito de diluição
8	↓	0	↓	Antagonismo
9	↓	↓	↑	Efeito de concentração
10	↓	↓	0	-
11	↓	↓	↓	Antagonismo

Fonte: Jarrel; Beverly (1981).

Variando-se as condições fisiológicas das plantas, em resposta a fatores abióticos ou bióticos,  $\Delta B_r$  poderá variar a uma taxa diferente da  $\Delta n_r$ , e a predição do potencial de produção da planta por meio da  $C_n$  torna-se inexata, fazendo com que o método do Nível Crítico tenha utilidade restrita na avaliação nutricional das plantas.

Em condições de campo, onde diversos fatores primários estão atuando simultaneamente sobre as taxas de acúmulo de nutrientes e de biomassa (Figura 1), não é possível obter qualquer correlação entre o teor do nutriente ( $C_n$ ) e a produtividade ( $\Delta B$ ). O padrão mais comumente esperado será para qualquer  $C_n$  obter-se também qualquer produtividade ( $\Delta B$ ), como por exemplo, para a relação entre o teor de boro em folhas de soja e a produtividade da cultura (Figura 3).



**Figura 3.** Teor de boro nas folhas e produtividade de 157 lavouras de soja da região dos cerrados<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Dados em arquivo eletrônico fornecido pelo Dr. T. Yamada a Paulo Guilherme Salvador Wadt, pesquisador da Embrapa Acre, em abril de 1998.

Essa ausência de correlação explica-se pelo fato de que a taxa de acúmulo de biomassa é controlada por inúmeros fatores de crescimento e não somente pelo nutriente em análise.

Esse tipo de análise permite identificar facilmente os efeitos de diluição e concentração (JARREL; BEVERLY, 1981). Por exemplo, alta produtividade associada a baixo teor nutricional representa os casos de efeitos de diluição ( $\Delta n_R < \Delta B_R$ ), e baixa produtividade associada a altos teores nutricionais representa os casos de efeitos de concentração ( $\Delta n_R > \Delta B_R$ ) (Figura 3).

### 5.1. Uso de relações bivariadas no controle da taxa de acumulação de biomassa

Parte da dificuldade de interpretação do estado nutricional nas plantas, por meio da  $C_n$ , decorre da ausência de um adequado controle de  $\Delta B$ . Se a variação de  $\Delta B$  resultante da ação dos fatores de crescimento não controlados fosse mitigada, essa dificuldade não ocorreria.

Por hipótese, considere-se uma planta crescendo em ambiente com suprimento adequado de N ( $\leftrightarrow \Delta n_N$ ), porém, com suprimento inadequado de P ( $\downarrow \Delta n_p$ ), em duas condições: luminosidade adequada ( $\leftrightarrow \Delta B$ ) e luminosidade insuficiente ( $\downarrow \Delta B$ ).

No primeiro caso, a interpretação do estado nutricional com base na concentração do nutriente poderia resultar em diagnóstico de suficiência para N ( $\leftrightarrow C_{n_N} = [\leftrightarrow \Delta n_N] / [\leftrightarrow \Delta B]$ ) e de deficiência para P ( $\downarrow C_{n_p} = [\downarrow \Delta n_p] / [\leftrightarrow \Delta B]$ ). Já no segundo caso, a interpretação seria de excesso de N ( $\uparrow C_{n_N} = [\leftrightarrow \Delta n_N] / [\downarrow \Delta B]$ ) e de suficiência de P ( $\leftrightarrow C_{n_p} = [\downarrow \Delta n_p] / [\downarrow \Delta B]$ ).

Esse fenômeno ocorre porque toda vez que algum fator estiver afetando a taxa de acúmulo de biomassa em taxas diferentes da taxa de acúmulo do nutriente, não será possível interpretar corretamente o estado nutricional das plantas por meio da avaliação do valor do teor do nutriente ( $C_n$ ).

Por outro lado, nesses mesmos casos, se a avaliação fosse feita com base na relação bivariada entre a  $Cn_N$  e  $Cn_p$ , a análise seria:

Para a primeira situação em que a luminosidade é adequada:  $(Cn_N / Cn_p) = ([\leftrightarrow \Delta n_N] / [\leftrightarrow \Delta B]) / ([\downarrow \Delta n_p] / [\leftrightarrow \Delta B]) = ([\leftrightarrow \Delta n_N] / [\downarrow \Delta n_p])$ .

Para a segunda situação com luminosidade inadequada:  $(Cn_N / Cn_p) = ([\leftrightarrow \Delta n_N] / [\downarrow \Delta B]) / ([\downarrow \Delta n_p] / [\downarrow \Delta B]) = ([\leftrightarrow \Delta n_N] / [\downarrow \Delta n_p])$ .

Ou seja, a taxa de acúmulo de biomassa afetada pela luminosidade não comprometeria a avaliação das taxas de acúmulo de N e P, que nos dois casos indicaram uma maior proporção no acúmulo de N em relação ao P (ou menor acumulação de P em relação ao N).

Outra hipótese seria uma planta crescendo em ambiente com níveis adequados de N ( $\leftrightarrow \Delta n_N$ ) e P ( $\leftrightarrow \Delta n_p$ ), porém com o crescimento limitado pela baixa incidência de energia luminosa fotossinteticamente ativa ( $\downarrow \Delta B$ ). Nesse caso, ocorreria pelo método convencional ( $\uparrow Cn_N = [\leftrightarrow \Delta n_N] / [\downarrow \Delta B]$ ) e ( $\uparrow Cn_p = [\leftrightarrow \Delta n_p] / [\downarrow \Delta B]$ ), ou seja, indicação de excesso de N e P. Por outro lado, fazendo a relação bivariada entre a concentração dos dois nutrientes,  $(Cn_N / Cn_p) = ([\leftrightarrow \Delta n_N] / [\downarrow \Delta B]) / ([\leftrightarrow \Delta n_p] / [\downarrow \Delta B]) = ([\leftrightarrow \Delta n_N] / [\leftrightarrow \Delta n_p])$ , a indicação seria que as taxas de acúmulo de N e P estão equilibradas.

Entretanto, na hipótese de que haja suprimento inadequado tanto de N como de P ( $\downarrow \Delta n_N$  e  $\downarrow \Delta n_p$ ), com adequado acúmulo de biomassa ( $\leftrightarrow \Delta B$ ), pelo método convencional, a conclusão seria pela deficiência de N ( $\downarrow Cn_N = [\downarrow \Delta n_N] / [\leftrightarrow \Delta B]$ ) e P ( $\downarrow Cn_p = [\downarrow \Delta n_p] / [\leftrightarrow \Delta B]$ ), enquanto pelo uso de relações bivariadas a indicação seria de equilíbrio nas taxas de absorção de N e P:  $(Cn_N / Cn_p) = ([\downarrow \Delta n_N] / [\leftrightarrow \Delta B]) / ([\downarrow \Delta n_p] / [\leftrightarrow \Delta B]) = ([\leftrightarrow \Delta n_N] / [\leftrightarrow \Delta n_p])$ . Essa possibilidade tem sido uma das críticas ao Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação, de que por se tratar de um quociente de duas relações indicará equilíbrio nutricional na situação em que as concentrações dos nutrientes, no numerador e no denominador da relação, estiverem ao mesmo tempo, ou abaixo ou acima da média.

A incerteza quanto à direção do valor em uma relação bivariada (R) pode ser minimizada tomando-se a média aritmética de várias relações bivariadas entre o nutriente em diagnose e os demais. Assim, ao se calcular a média da relação bivariada do N com outros nutrientes (P, K, Ca, Mg, Zn, Fe e Cu, por exemplo), será pouco provável que todos eles possam estar simultaneamente sujeitos a efeitos de diluição (ou de concentração), de forma que se obterá a direção da mudança, quer seja no sentido de excesso ou de deficiência, se houver.

Em resumo, no exemplo acima, a razão (R) entre o teor de N ( $\Delta N/\Delta B$ ) e de P ( $\Delta P/\Delta B$ ) pode ser usada para eliminar a influência de  $\Delta B$ , de tal modo que  $R = (\Delta N/\Delta B)/(\Delta P/\Delta B) = \Delta N/\Delta P$ , ou seja, o quociente entre a taxa de acúmulo de N e P foi feito independente da  $\Delta B$ , eliminando-se o efeito não controlado da luminosidade.

O uso das relações bivariadas (R) minimiza tanto os efeitos de diluição como os de concentração. Assim, pode-se considerar que haveria um valor ótimo para R, em que  $\Delta N$  e  $\Delta P$  também estariam no ótimo. Desvios de R em relação a esse valor ótimo (r) poderiam sugerir que  $\Delta N$  ou  $\Delta P$  estariam a taxas limitantes.

## 5.2. Métodos diagnósticos

Os métodos diagnósticos podem ser classificados como dependentes ou não do controle da taxa de acumulação de biomassa ( $\Delta B$ ), ou em função do uso ou não de relações bivariadas ou multivariadas (Tabela 4). A maioria dos métodos de diagnósticos é utilizada em programas de adubação, já que o diagnóstico produzido consiste em identificar se um dado nutriente encontra-se deficiente, suficiente ou em excesso.

Apenas os métodos da Alimentação Global e do Equilíbrio Fisiológico, por não possibilitarem identificar o estado nutricional de um nutriente individualmente, não possuem aplicação direta em programas de adubação.

A distinção entre muitos métodos é exclusivamente quanto ao procedimento usado para a parametrização. O método das Faixas de Suficiência e da Chance Matemática, por exemplo, adotam intervalos limites dos teores dos nutrientes para definir o estado nutricional da lavoura. A diferença entre eles é que o método das Faixas de Suficiência baseia-se em ensaios de calibração regional, enquanto o método da Chance Matemática utiliza dados de lavouras comerciais submetidas a tratamentos estatísticos.

Ainda, os métodos do Nível Crítico, Faixas de Suficiência, Alimentação Global, Equilíbrio Fisiológico, Desvio do Ótimo Percentual e Índices Balanceados de Kenworthy necessitam de ensaios de calibração para definir os parâmetros (teores críticos ou limites dos nutrientes).

O DRIS e a diagnose da composição nutricional (CND) são métodos que não dependem de ensaios de calibração, uma vez que o uso de relações bivariadas ou multivariadas minimiza os efeitos não controlados da taxa de acúmulo de biomassa.

O método da análise de plantas por escores padronizados (PASS), embora use o DRIS, é fortemente dependente da interpretação ditada pela análise univariada dos nutrientes (como no método das Faixas de Suficiência), de modo que o uso de parâmetros calibrados regionalmente aumenta a sua acurácia.

O método da Chance Matemática é um artifício matemático para não fazer a calibração regional, sendo dependente de um número grande de observações. Assim, embora na definição dos parâmetros para interpretar as faixas de suficiência não seja necessário o controle da taxa de acúmulo de biomassa, na interpretação dos resultados estará sujeito às mesmas limitações que o método das Faixas de Suficiência ou do Nível Crítico.

**Tabela 4.** Classificação dos métodos de avaliação do estado nutricional das plantas baseados na diagnose foliar.

Método	Controle da taxa de acúmulo de biomassa	Tipo de relação	Uso em programas de adubação
Nível Crítico	Sim	Univariada	Sim
Faixas de Suficiência	Sim	Univariada	Sim
Alimentação Global	Sim	Univariada	Não
Equilíbrio Fisiológico	Sim	Univariada	Não
Índice do Desvio do Ótimo Percentual (DOP)	Sim	Univariada	Sim
Índices Balanceados de Kenworthy (IB)	Sim	Univariada	Sim
Chance Matemática	Sim	Univariada	Sim
DRIS	Não	Bivariada	Sim
CND	Não	Multivariada	Sim
PASS	Sim(?)	Univariada e bivariada	Sim

Do ponto de vista prático e visando ao uso do sistema em programas de adubação, importa conhecer a natureza dos dados aptos a serem utilizados em cada um dos métodos existentes, principalmente, no que diz respeito à capacidade em separar adequadamente os efeitos da variação de  $\Delta B$  e  $\Delta n$ .

Nesse sentido, será feita uma breve apresentação dos três métodos principais (Faixas de Suficiência, DRIS e CND), podendo as considerações para um dado método serem extrapoladas para outros, cujo diagnóstico esteja baseado nos mesmos fundamentos quanto ao controle da taxa de acumulação de biomassa.

### 5.2.1. Método das Faixas de Suficiência

Por esse método de interpretação, um nutriente será considerado como deficiente se o seu teor no tecido amostrado estiver abaixo do limite inferior da faixa de suficiência. Se estiver acima, será considerado como em níveis tóxicos ou em consumo de luxo. Finalmente, se o teor estiver entre os limites inferior e superior da faixa de suficiência, o

nutriente será considerado como suficiente. Ademais, cada nutriente é avaliado independentemente dos outros (BALDOCK, 1999).

O limite inferior e superior é obtido em ensaios de calibração, que devem ser conduzidos em vários locais e em diversos anos, mantendo-se os demais fatores de produção (inclusive outros nutrientes) controlados e com suprimento adequado ao pleno desenvolvimento das plantas (CANTARELLA, 2007; NOVAIS et al., 2007).

Esse controle experimental dos fatores de produção, obtido por meio de uma rigorosa calibração local, faz-se necessário desde que as variações no teor do nutriente atribuídas à  $\Delta B$  sejam indesejáveis. Portanto, os limites inferior e superior da faixa de suficiência, para um dado nutriente, possibilitarão interpretar de forma segura o estado nutricional da lavoura somente se as condições de crescimento das plantas forem semelhantes àquelas utilizadas para obter a curva de calibração, seja no que diz respeito ao local de condução dos ensaios, à idade das plantas e do tecido, ao tipo de material genético, à posição do tecido na planta, época do ano, disponibilidade dos demais nutrientes, dentre outras.

Nesse sentido, um diagnóstico bem-sucedido dependerá do estabelecimento de um diferencial entre teores adequados e inadequados, com o mínimo possível de interferências quanto a variações de  $\Delta B$ . Em outras palavras, deve-se garantir a máxima homogeneidade possível aos efeitos ambientais sobre  $\Delta B$ , para que a variável  $\Delta n$  seja o principal fator de controle da produtividade vegetal. Experimentalmente, esse controle é conseguido padronizando-se as causas primárias (luz, temperatura, água, etc.) por meio de definição de época e região de plantio, garantindo via adubação e calagem do solo todos os demais nutrientes e aplicando doses crescentes do nutriente a ser calibrado (portanto, variando-se  $\Delta n$ ).

O problema é que nem sempre essas condições são possíveis de ser extrapoladas para lavouras comerciais, nas quais pelo menos outros

nutrientes podem estar em níveis não ótimos, comprometendo toda a calibração realizada.

Apesar dessas limitações, esse método é o mais utilizado, seja pela sua simplicidade na interpretação do teor do nutriente no tecido vegetal, seja pelo fato de que os valores de referência estão disponíveis em várias publicações especializadas.

O limite inferior da faixa de suficiência, também conhecido por nível crítico, é definido arbitrariamente, sendo normalmente escolhido o teor do nutriente que correspondente a 90% da produtividade máxima da lavoura. Por sua vez, o limite superior da faixa de suficiência será aquele valor acima do qual não há mais resposta da planta em termos de crescimento (o nutriente não apresenta toxicidade mesmo quando presente em altas concentrações no tecido vegetal) ou o valor a partir do qual ocorrem os primeiros sinais de queda no crescimento devido a altas concentrações do nutriente.

Tabelas de adubação construídas com base em informações específicas, como sistema de plantio, capacidade do solo em suprir os nutrientes, finalidade comercial da produção agrícola e do estado nutricional, poderiam se tornar extremamente complexas, exigindo um número crescente de ensaios de calibração, que por sua vez poderiam demandar tempo e recursos humanos e financeiros em quantidades não disponíveis para a maioria das regiões agrícolas.

Com a finalidade de superar a limitação da necessidade de ensaios de calibração, têm sido desenvolvidos métodos alternativos para determinar as faixas de suficiência dos nutrientes foliares. Uma alternativa para obtenção dos valores críticos destinados ao método das Faixas de Suficiência é o método da Chance Matemática, que aplica distribuições de probabilidades a dados obtidos de lavouras comerciais (WADT et al., 1998), tendo sido aplicado na cultura do cafeeiro (NOVAIS et al., 1994), eucalipto (WADT et al., 1998) e soja (KURIHARA, 2004; URANO et al., 2007). O processo, por estabelecer os valores padrões a partir de dados obtidos sob as mais variadas

condições ecofisiológicas, torna possível utilizar dados de condições de campo (talhões ou lavouras comerciais) e não apenas de ensaios controlados, podendo os valores padrões serem constantemente reavaliados toda vez que se faz o monitoramento nutricional e novas informações são agregadas ao conjunto de dados (WADT et al., 1998). Esse processo depende, entretanto, de grande volume de dados e de uma amostragem representativa das principais condições ecofisiológicas, não havendo, até o momento, a adoção das faixas de suficiência obtidas por esses métodos em tabelas oficiais de interpretação do estado nutricional.

### **5.2.2. Método DRIS**

O Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) permite identificar a ordem de limitação nutricional, agrupando os nutrientes desde o mais limitante por deficiência até aquele que está em níveis excessivos (BEAUFILS, 1973). Por esse método, identifica-se facilmente o balanço dos nutrientes numa planta, permitindo determinar se o crescimento da planta está sujeito à limitação de natureza nutricional ou não nutricional (BATAGLIA; SANTOS, 1990).

A avaliação nutricional das plantas com base no DRIS fundamenta-se na interpretação de índices calculados por meio das relações entre os nutrientes. O uso das relações tem sido indicado para sobrepujar as limitações impostas pelos efeitos de diluição e de concentração.

Os índices DRIS são calculados principalmente a partir de relações binárias entre os nutrientes, de forma a minimizar o efeito não controlado de  $\Delta B$  e maximizar as variações entre os nutrientes. O valor de cada índice DRIS é a média aritmética dos desvios das relações binárias entre a amostra e uma população de referência, ponderando-se cada um desses desvios pela variabilidade (desvio padrão) da relação binária na própria população de referência. Qualquer relação binária entre dois nutrientes pode vir a ser utilizada para determinar os índices DRIS, desde que seja potencialmente útil ao diagnóstico. A definição de uma relação binária como sendo útil ou não ao diagnóstico nutricional baseia-se em avaliações dos parâmetros estatísticos entre

a população de referência e aquela de baixa produtividade (BEAUFILS, 1973; JONES, 1981; WADT; 1996; WADT et al., 1999).

Portanto, ao aplicar o DRIS torna-se necessário estabelecer o valor ótimo de cada relação binária e conhecer a sua variabilidade no conjunto de plantas da população de referência. Alguns autores ainda selecionam as relações binárias que serão úteis ao diagnóstico nutricional.

O valor ótimo de cada relação binária pode ser obtido a partir de uma calibração local ou de ensaios regionais, ou seja, podem-se, a princípio, obter normas DRIS específicas para diferentes condições. Por outro lado, quanto maior o tamanho amostral da população de lavouras usadas para essa calibração, maior a probabilidade delas representarem os verdadeiros valores ótimos de cada relação binária, o que leva à recomendação de que as normas DRIS devem ter caráter universal, representando o maior conjunto possível de situações de desenvolvimento das lavouras (BEAUFILS, 1973).

Um erro normalmente observado é a tendência em obter valores ótimos para situações específicas (normas DRIS específicas), como se para cada combinação de fatores primários (Figura 1) fosse necessário definir o valor ótimo da relação bivariada. As normas DRIS específicas, quando obtidas, somente poderão ser usadas para lavouras cuja predominância dos fatores primários seja a mesma da população de referência.

A utilização de normas DRIS específicas, para situações distintas daquelas usadas na calibração, poderá resultar em diagnósticos incorretos, conforme demonstrado por Partelli et al. (2006b) e Dias et al. (2009a, 2009b), respectivamente para cafeeiros e cupuaçueiros. Isso significa que ao se aplicar normas DRIS para cafeeiros sob sistema de produção orgânico na avaliação de lavouras convencionais, ou normas DRIS para cupuaçueiros cultivados em monocultivo na avaliação de pomares em sistemas agroflorestais, o diagnóstico

produzido pela norma DRIS específica não será coerente com aquele produzido para cada uma das situações descritas.

De forma similar, ao se obter um conjunto de normas DRIS distintas para diferentes períodos do ano (como, por exemplo, para relações nutricionais de inverno ou verão), as normas de cada época de amostragem não poderão ser utilizadas para diagnosticar lavouras de outro período, conforme demonstrado em cafeeiro arábica por Partelli et al. (2007).

Ainda, Silva et al. (2005) argumentam que apesar de, em média, 15% dos diagnósticos derivados de normas específicas e de normas gerais de plantações de eucalipto em Minas Gerais terem sido diferentes entre si, as normas DRIS não podem ser consideradas genéricas, sendo portanto preferível a utilização de normas específicas em vez de normas gerais. Outra perspectiva para esse resultado é que em relação às subpopulações distintas, o grau de concordância entre as normas DRIS gerais e específicas pode atingir, em média, cifra da ordem de 85% de diagnósticos semelhantes. A magnitude dessa concordância é ainda mais significativa, se for considerado que no critério de interpretação dos índices DRIS, adotado por esses autores, há cinco classes para definir o estado nutricional de cada nutriente.

Por outro lado, normas DRIS genéricas, que representam condições não específicas e, portanto, maior conjunto possível dos fatores primários, resultam em diagnósticos coerentes como aqueles obtidos pelas normas DRIS específicas (WADT et al., 2009; DIAS et al., 2009a, 2009b; TAVELLA et al., 2009). Assim, as normas DRIS genéricas produzem diagnósticos muito semelhantes àqueles obtidos pelas normas DRIS específicas, quando aplicados em lavouras que apresentam as mesmas situações representadas pelas normas DRIS específicas.

A geração de normas DRIS específicas poderia resultar em uma infinidade de padrões nutricionais distintos, adequados somente para situações específicas. Isso representa um contrassenso em relação à

proposta principal do uso do método, que é justamente minimizar os efeitos não controlados da taxa de acúmulo de biomassa ( $\Delta B$ ) sobre o diagnóstico nutricional (Figura 1) (BEAUFILS, 1973).

O conhecimento da variabilidade da relação binária no conjunto de plantas da população de referência, apesar de sistematicamente ignorado, é uma questão fundamental na aplicação do método DRIS.

Nas funções DRIS, que avaliam o desvio de cada relação bivariada quanto ao valor de referência (ou valor ótimo), a variabilidade da relação na população de referência é usada como o denominador da função. Assim, quanto menor a variabilidade (em número de desvio padrão da relação bivariada na população de referência), maior será a estimativa para o valor do desvio da respectiva relação bivariada na lavoura amostrada.

Ao se utilizar normas DRIS específicas (obtidas de populações de referência representativas de um determinado tipo de manejo ou condições ecofisiológicas), é provável que a variabilidade das relações bivariadas seja menor que a observada para as mesmas relações, em condições não específicas. Espera-se, assim, que normas específicas possam superestimar desvios nutricionais que não correspondam necessariamente a desequilíbrios nutricionais, uma vez que outros conjuntos de lavouras poderiam apresentar relações bivariadas em lavouras de alta produtividade, com relações que seriam consideradas inadequadas sob as condições específicas.

Assim, conceitualmente, a obtenção de normas DRIS genéricas pode resultar em uma melhor estimativa para a variabilidade das relações bivariadas do que aquelas obtidas por normas DRIS específicas. Acrescente-se, ainda, que não é comum encontrar diferenças significativas na variabilidade da maioria das relações bivariadas entre grupos de normas DRIS específicas e genéricas, como demonstrado por Dias et al. (2009a) para cupuaçueiros, de forma que, mais uma vez, é contrassenso o esforço para obter normas DRIS específicas.

Em resumo, o conhecimento da variabilidade da relação binária na população de referência é um fator de extrema relevância, pois se essa variabilidade for inferida a partir de dados sob condições controladas (ensaios de calibração local), certamente, não representará toda a variabilidade que pode haver nas condições de campo e fará com que os valores de cada função dos índices DRIS sejam estimados de forma inadequada, conduzindo à superestimação dos desequilíbrios nutricionais.

Por isso, o esforço deve ser no sentido de se obter normas DRIS genéricas, que possam ser utilizadas sobre uma gama de situações sem perder sua capacidade preditiva do estado nutricional das lavouras. Isso envolve não apenas o esforço da pesquisa, mas também dos usuários do sistema para possibilitar de forma transparente o compartilhamento de informações visando à disponibilização de banco de dados capazes de viabilizar a geração de normas DRIS universais para diferentes culturas. Esse compartilhamento de dados, entretanto, não pode violar aspectos relacionados à privacidade das informações.

O terceiro aspecto a ser abordado, quanto à aplicação do DRIS, trata da seleção das relações binárias que serão úteis ao diagnóstico nutricional. A maioria dos autores costuma utilizar todas as relações bivariadas, na forma direta e inversa, para o cálculo dos índices DRIS (BATAGLIA; SANTOS, 1990; ALVAREZ; LEITE, 1992). Entretanto, conforme já demonstrado para cafeeiros (WADT et al., 1999), a inclusão de todas as relações bivariadas no cálculo do índice DRIS de um nutriente resulta na perda da capacidade do sistema em discriminar lavouras nutricionalmente saudáveis daquelas não saudáveis. Isso ocorre porque muitas relações bivariadas apresentam elevada variabilidade tanto na subpopulação de plantas de alta como de baixa produtividade.

Uma forma de contornar esse problema é estabelecer critérios para selecionar as relações bivariadas, escolhendo-se aquelas cuja variância seja diferente entre as duas populações (alta e baixa produtividade), a um dado nível de significância (WADT et al., 1999), ou selecionar

entre as relações, em sua forma direta e inversa, aquela de maior potencial para discriminar o estado nutricional das plantas, seja pelo teste F entre as variâncias de duas subpopulações de alta e baixa produtividade (JONES, 1981; WALWORTH; SUMNER, 1987) ou pela análise de correlação entre a relação bivariada e a produtividade das lavouras, selecionando-se a relação com maior valor para o módulo do coeficiente de correlação (NICK, 1998; NACHTIGALL, 2004). Entretanto, dependendo do grupo de normas utilizadas, pode não haver diferenças significativas nos diagnósticos nutricionais com ou sem adoção do critério da seleção das relações DRIS (PARTELLI et al., 2006a).

Outro aspecto relacionado à utilização do sistema DRIS trata da escolha da fórmula de cálculo dos seus índices. Existem atualmente na literatura diversas proposições visando melhorar a fórmula original proposta por Beaufils (1973):

- Fórmula de Beaufils (1973): fórmula original proposta ao sistema DRIS, na qual para todos os nutrientes em situação de deficiência há a superestimação do desequilíbrio nutricional (MAIA, 1999). Embora seja uma das fórmulas mais utilizadas, é adequada para avaliar poucos nutrientes para os quais as culturas são normalmente mais responsivas.
- Fórmula de Jones (1981): fórmula em que o equilíbrio nutricional é determinado com base exclusivamente na medida padronizada do desvio de uma relação bivariada em função do valor ótimo. É uma fórmula bastante descrita na literatura e corresponde ao valor médio padronizado de todas as relações bivariadas computadas. Pode mascarar a deficiência de alguns nutrientes que sejam responsivos; uma de suas desvantagens é superestimar a deficiência de nutrientes pouco responsivos ou de alguns micronutrientes.
- Fórmula de Elwali e Gascho (1984): fórmula em que os desequilíbrios nutricionais medidos em cada relação bivariada

somente são computados quando o desvio absoluto relacionado ao valor ótimo for maior que o desvio padrão amostral. É pouco utilizada, sendo indicada apenas para situações com excessivo número de diagnósticos falso negativo ou falso positivo (indicação de deficiência nutricional quando a planta não responde à aplicação do nutriente que estiver com a suposta deficiência). Na interpretação dos valores dos índices DRIS por essa fórmula, valores negativos ou positivos devem ser entendidos como provável desequilíbrio nutricional, não se recomendando o uso de métodos adicionais para interpretar os índices DRIS.

- Rathfon e Burger (1991): fórmula semelhante à de Elwali e Gascho (1984) para macronutrientes; para micronutrientes, o desvio de uma relação somente é computado quando seu valor ultrapassar os valores máximos e mínimos da respectiva relação na população de referência. Sua tendência é eliminar diagnósticos falso positivo e falso negativo, principalmente para micronutrientes; por outro lado, tem o inconveniente de gerar diagnósticos falsos para equilíbrio nutricional.
- Maia (1999) e Wadt et al. (2007): fórmula de cálculo proposta originalmente por Maia (1999) e depois modelada em função da responsividade da planta para os nutrientes (considerando tanto deficiência como toxicidade) (WADT et al., 2007). É pouco utilizada por necessitar de ajustes no coeficiente de sensibilidade para cada nutriente, tornando o método mais complexo. Por outro lado, é o único método que permite otimizar, para uma dada população, o diagnóstico que resulte no maior número de acertos, minimizando os resultados falso negativo, falso positivo e falso equilibrado.

Outro aspecto relacionado ao uso do método DRIS consiste na interpretação dos resultados dos seus índices. Dada sua importância para o programa de adubação, esse assunto será tratado a seguir, em tópico à parte.

As relações bivariadas podem ainda, em qualquer uma dessas fórmulas, ser log-transformadas ou não (BEVERLY, 1987). A única exceção é o método CND no qual as relações são sempre log-transformadas.

Ainda há a possibilidade de se realizar o diagnóstico a partir do uso de relação multivariada, pelo método CND (PARENT; DAFIR, 1992), o qual será tratado à parte.

### 5.2.3. Método CND

Uma das limitações do método DRIS está relacionada a sua restrita aplicação em estatística multivariada, como por exemplo, análise de componentes principais que contemple todas as relações binárias do DRIS (PARENT; NATALE, 2008).

Visando tornar o DRIS adequado para estatísticas multivariadas, foi desenvolvido o método do diagnóstico nutricional composicional (CND), que se fundamenta em relações log-transformadas entre cada nutriente e a média geométrica da composição nutricional do tecido amostrado (PARENT; DAFIR, 1992).

O método CND apresenta ainda como vantagem a maior facilidade de cálculo dos índices de balanço nutricional, os quais podem ser interpretados de forma semelhante aos índices DRIS, seja em função da ordem de limitação nutricional, pelo método do potencial de resposta à adubação, ou de forma semelhante ao método M-DRIS, comparando-se o valor do índice CND de um nutriente com o da matéria seca (representado, nesse caso, pelo valor R, complemento para 100% do somatório dos teores dos nutrientes, em  $\text{dag kg}^{-1}$ ).

Comparativamente, os diagnósticos produzidos pelo método CND têm sido equivalentes aos do método DRIS. Entretanto, a aplicação desse método ainda tem sido restrita, possivelmente devido ao efeito que causa na média geométrica da composição nutricional de uma amostra a ausência de um nutriente qualquer, já que nesse caso o valor de R acaba sendo superestimado, o que não ocorre com o método DRIS.

Portanto, o método CND pode ser utilizado quando os padrões e a composição nutricionais das amostras diagnosticadas forem obtidos para o mesmo número de nutrientes. Dessa forma, embora o método CND facilite o cálculo do índice DRIS, exige um grupo de normas CND para cada conjunto de combinação de nutrientes a ser analisado, o que torna o método restrito apenas para estudos científicos.

Comumente, tem-se optado por utilizar o método CND para simplex (conjunto de teores nutricionais e o respectivo complemento a 100%) formado pelos macronutrientes N, P, K, Ca e Mg, não se incluindo os demais nutrientes na análise.

### **5.3. Interpretação do estado nutricional das plantas por meio dos índices DRIS**

Basicamente, a interpretação dos índices DRIS consiste em identificar os nutrientes limitantes da produtividade vegetal, separando-os daqueles que são considerados nutricionalmente equilibrados ou não limitantes. Qualquer que seja a fórmula ou modelo matemático a ser utilizado para o cálculo dos índices DRIS, sempre serão obtidos esses índices com valores que podem ser todos nulos ou com valores nulos, positivos e negativos.

A hipótese de se obter um diagnóstico com todos os nutrientes com índices DRIS nulos é uma situação pouco provável, pois todas as relações entre dois nutrientes quaisquer de uma dada cultura deveriam apresentar, simultaneamente, o valor idêntico ao da média da mesma relação na população tomada como referência. Em outras palavras, todas as relações nutricionais na amostra apresentariam o valor idêntico ao das respectivas normas DRIS.

A segunda situação, em que os valores para os índices DRIS podem ser nulos, negativos e positivos, é a condição mais comum e aquela que ocorre normalmente. Os valores nulos significam que na média os desvios para um determinado nutriente, quanto ao estado de deficiência e de suficiência em relação aos demais, são equidistantes e anulam-se na expressão do valor final para o índice DRIS. Observa-

se, portanto, que o referido nutriente está em situação de equilíbrio nutricional.

A situação de equilíbrio não significa necessariamente que a planta está adquirindo o nutriente nas quantidades necessárias para suas demandas metabólicas, pois, se todos os nutrientes estiverem sendo absorvidos, proporcionalmente, em condições de insuficiência, a planta poderia estar sofrendo carência do nutriente. Hipoteticamente, se a concentração de todos os nutrientes fosse exatamente a metade da quantidade requerida para um bom desenvolvimento da cultura, a planta teria uma carência generalizada, porém nutricionalmente equilibrada.

O mesmo ocorre em relação ao excesso de nutrientes, no qual o consumo de luxo de todos eles, em uma mesma proporção em relação às quantidades requeridas para plantas em condições normais de crescimento, levaria a uma situação de equilíbrio nutricional, porém em quantidades excessivas.

Ambas as situações são pouco prováveis de ocorrer na prática, de forma que estando um nutriente com índice DRIS nulo, pode-se afirmar com relativa segurança que seu estado nutricional está adequado.

O problema reside, portanto, em distinguir quando o valor negativo ou positivo de um determinado nutriente representa, efetivamente, uma situação de excesso ou de deficiência nutricional. A questão é que pelo fato dos índices DRIS serem interdependentes (BALDOCK, 1999), sempre que um ou mais nutriente tiver um índice positivo, haverá um ou mais nutrientes com índice negativo, ou seja, um dado diagnóstico de excesso implicará necessariamente em diagnósticos de deficiência e, do mesmo modo, um diagnóstico de deficiência implicará em uma situação de excesso.

Portanto, mesmo lavouras com alta produtividade e nutricionalmente equilibradas deverão apresentar índices DRIS não nulos (negativos ou positivos). Desse modo, um índice DRIS negativo não representa

necessariamente a indicação de que a lavoura esteja com deficiência nutricional.

O valor negativo para o índice DRIS pode estar próximo a zero (próximo do equilíbrio) ou distante de zero (distante do equilíbrio) (WADT, 1996). No primeiro caso, poderia ser resultante do efeito de outro nutriente que estivesse em excesso, e, portanto, a adição do nutriente deficiente poderá não resultar em aumento da produtividade.

De um modo geral, o nutriente de índice DRIS menor e negativo tem sido considerado o mais limitante; o segundo menor tem sido o segundo mais limitante e assim sucessivamente, até o nutriente menos limitante, que teria o índice DRIS maior e positivo (BATAGLIA; SANTOS, 1990). Esse critério tem sido usado tanto para avaliar a acurácia do método (JONES, 1981) como para levantamentos nutricionais, quando se tem o DRIS como ferramenta para identificar as classes de distribuição das lavouras quanto ao seu estado nutricional. Entretanto, como um índice com valor negativo pode ser resultante, simplesmente, de um desequilíbrio por excesso de um segundo nutriente, nesse caso, poderia não haver resposta à adubação com o nutriente mesmo que esse fosse o mais limitante por deficiência.

Caso todo nutriente com índice DRIS negativo seja considerado deficiente, os diagnósticos produzidos pelo DRIS são insatisfatórios e inferiores em relação aos métodos convencionais (BEVERLY, 1993). Portanto, essa forma de interpretação é inadequada, já que valores negativos podem ser decorrentes dos nutrientes em excesso e vice-versa.

Outro critério sugerido é a definição de valores críticos para os índices DRIS (KELLING; SCHULTE, 1986). A inconveniência desse critério é que pode ser afetado, por exemplo, por diferentes normas DRIS, mesmo apresentando a mesma ordem de limitação.

Há dois outros critérios mais seguros para a interpretação dos índices DRIS: o DRIS da matéria seca ou método DRIS modificado (Modified-

Diagnosis and Recommendation Integrated System – M-DRIS) (HALLMARK et al., 1987; 1990) e o critério do potencial de resposta à adubação (WADT, 1996).

O critério do M-DRIS tem como finalidade principal separar os nutrientes limitantes dos não limitantes. Isso foi possível pela introdução de uma nova variável, que é o índice DRIS de matéria seca: um dado nutriente será considerado limitante se seu respectivo índice DRIS for negativo e menor que o de matéria seca; será considerado em excesso se seu índice DRIS for positivo e maior que o de matéria seca, sendo considerado equilibrado nas demais situações.

O índice DRIS de matéria seca consiste na média aritmética das funções das concentrações dos nutrientes. Para obtê-lo, é necessário, além das relações entre nutrientes, usar também sua concentração. A função será então:

$$f = (C - c)/d$$

Em que:

C = concentração do nutriente na amostra, em g/kg ou dag/kg.

c = concentração média do nutriente na população de referência.

d = desvio padrão da concentração do nutriente na população de referência.

A inovação consistiu em tratar a concentração do nutriente como uma relação entre ele e a matéria seca (MS), como por exemplo, N/MS (HALLMARK et al., 1987). A lógica do método pode ser compreendida com base nos possíveis efeitos de diluição e de concentração dos nutrientes (JARREL; BEVERLY, 1981). Por exemplo, se um fator externo promover a concentração dos nutrientes nos tecidos da planta, o índice de matéria seca torna-se menor (e provavelmente negativo) em relação às plantas sem essa anormalidade. Assim, quanto maior a concentração dos nutrientes nos tecidos, maior o índice DRIS de cada nutriente e menor o de matéria seca, tornando-se mais difícil a possibilidade de um nutriente ser apontado como deficiente ou limitante.

De modo inverso, se esse fator externo resultar em decréscimo da concentração dos nutrientes nos tecidos da planta (efeito de diluição), maior será o índice DRIS de matéria seca em relação às plantas sem esse efeito. A probabilidade de encontrar índices DRIS de nutrientes menores que os de matéria seca aumenta, ou seja, é maior a probabilidade de se apontar um ou mais nutrientes como deficiente.

Com o M-DRIS os efeitos de concentração e de diluição dos nutrientes passam a ser determinantes no diagnóstico, o que pode ser inconveniente. Entretanto, o maior inconveniente pode estar no uso de um índice baseado na variação de um único fator (matéria seca) como referência absoluta. O índice DRIS de matéria seca passa a ser essa referência, e todos os demais nutrientes serão interpretados em razão do valor de seus respectivos índices DRIS em relação ao índice DRIS de matéria seca.

Do mesmo modo que o índice DRIS de matéria seca, o índice de qualquer outro nutriente poderia também ser utilizado. Beaufils (1958), por exemplo, sugeriu que é possível usar a concentração de K no látex de seringueira como referência no estudo das relações entre os nutrientes. O problema é que poderia haver diferentes critérios de interpretação, dependendo do elemento escolhido (nutriente ou matéria seca).

Entretanto, o critério do M-DRIS proposto é bem elaborado e não tem sido utilizado com a frequência necessária, provavelmente por ser considerado de forma errônea apenas como a introdução de mais um indicador (índice DRIS de matéria seca) e não necessariamente um método para a interpretação do índice DRIS dos nutrientes.

O segundo critério é bastante semelhante ao critério do M-DRIS, mas diferente da opção de adotar um único índice como valor crítico. A escolha foi adotar o índice de balanço nutricional médio (IBNm), que consiste na média aritmética do módulo de todos os índices DRIS. Esse critério foi denominado de método do potencial de resposta à adubação (PRA) (WADT, 1996).

O IBNm foi escolhido por ser um valor que reflete a média dos desvios de cada nutriente em relação ao valor de referência. Exemplificando: para quatro nutrientes quaisquer (X1, X2, X3 e X4), cujos respectivos índices DRIS fossem -3,2, -0,8, +1,2 e +2,8, o IBNm, por consistir na média aritmética do somatório dos valores dos índices DRIS, seria de +2,0. Em outras palavras, os desvios absolutos (3,2, 0,8, 1,2, 2,8) teriam um efeito médio de 2,0, que é representado pelo IBNm.

Com os índices DRIS, os desvios acima de zero são compensados por desvios abaixo de zero e vice-versa, isto é, o valor de -3,2 para o índice DRIS do nutriente X1 está sendo compensado pelos valores positivos dos índices DRIS dos nutrientes X3 e X4, podendo, também, aumentar o valor do índice DRIS do nutriente X2 (tornando-o mais próximo de zero). Essa situação é clara quando se utilizam todas as relações no cálculo dos índices DRIS, de forma que o somatório desses índices resulte sempre em zero, desde que o valor do desvio atribuído a um nutriente seja compensado nos valores dos desvios dos demais, em sentido oposto ao do primeiro nutriente.

Portanto, podem-se ter:

- a) Nutrientes cujos desvios foram causados em razão de outro nutriente estar em desequilíbrio.
- b) Nutrientes cujos desequilíbrios causam desvios nos valores dos índices dos demais nutrientes.

Assim, a primeira situação (a) indicaria um nutriente não limitante e, a segunda (b), um nutriente limitante da produtividade da lavoura. Dessa forma, fica estabelecida uma regra, na qual o nutriente capaz de causar os desvios nos índices dos demais será considerado o nutriente problema.

Podem-se ainda atribuir diferentes graus de probabilidade de resposta à adubação para um nutriente em função da ordem de limitação e da comparação do índice DRIS com o valor do IBNm, de modo que

o estado nutricional atribuído a cada nutriente pode ser classificado em cinco categorias de expectativa de resposta à adubação: mais deficiente, deficiente, equilibrado, em excesso e em maior excesso (Tabela 5).

O estado de mais deficiente representa a situação em que há maior probabilidade de resposta positiva com a adição do nutriente. Essa resposta positiva deve ser representada por maior produtividade da lavoura, ou pela melhoria da qualidade do produto agrícola em um grau comercialmente desejado.

Por sua vez, o estado de deficiente indica também que há probabilidade de aumento da produtividade da lavoura com a aplicação do nutriente, porém, essa probabilidade poderá depender da correção do nutriente com maior grau de deficiência (mais deficiente).

O estado equilibrado indica que não se espera resposta da lavoura quanto à aplicação do nutriente, ou seja, haveria ausência de resposta da lavoura ou uma resposta nula.

O estado de maior excesso representa a situação em que a aplicação do nutriente poderá resultar em resposta negativa quanto à produtividade da lavoura, ou seja, diminuição da produtividade.

Finalmente, o estado de excesso indica que a adição do nutriente também poderá resultar em resposta negativa da lavoura quanto a sua produtividade, mas que esse efeito poderá ser controlado pelo nutriente em maior excesso.

O conceito central para a adição do nutriente é que esse acréscimo deve ser considerado como um ajuste na adubação. Por exemplo, ao se afirmar que o nutriente está em estado de equilíbrio e que adicioná-lo à lavoura não resultará em melhoria da produtividade, não significa que esse nutriente deverá ser excluído da recomendação de adubação, mas sim que deverá ser mantida a adubação com as mesmas dosagens que vinham sendo utilizadas.

**Tabela 5.** Critério para interpretação dos índices DRIS pelo método do potencial de resposta à adubação.

Estado nutricional	Potencial de resposta à adubação	Critério de determinação
Mais deficiente	Muito alto	$ID_n < 0$ e $  ID_n   > IBNm$ e $ID_n =$ menor índice DRIS
Deficiente	Alto	$ID_n < 0$ e $  ID_n   > IBNm$
Equilibrado	Nulo	$  ID_n   < IBNm$
Em excesso	Baixo	$ID_n > 0$ e $  ID_n   > IBNm$
Em maior excesso	Muito baixo	$ID_n > 0$ e $  ID_n   > IBNm$ e $ID_n =$ maior índice DRIS

$ID_n$ : índice DRIS do nutriente em diagnose;  $IBNm$ : índice de balanço nutricional médio.

Fonte: Wadt (1996).

Assim, espera-se que essas cinco classes de potencial de resposta à adubação possam orientar na determinação de ajustes a serem feitos na quantidade de cada nutriente a ser aplicado nas culturas (WADT; ALVAREZ, 2005) (Tabela 6).

**Tabela 6.** Significado do potencial de resposta à adubação quanto à interpretação dos valores dos índices DRIS obtidos da diagnose foliar de plantas.

Potencial de resposta à adubação	Significado prático
Positivo	A planta apresenta alta probabilidade de aumentar a produtividade se for adicionada maior quantidade do nutriente na adubação usual. A disponibilidade do nutriente avaliado é insuficiente para o bom desenvolvimento da cultura
Positivo ou nulo	A planta apresenta média probabilidade de aumentar a produtividade se for adicionada maior quantidade do nutriente na adubação básica. A disponibilidade do nutriente avaliado pode ser insuficiente para o bom desenvolvimento da cultura
Nulo	O nutriente avaliado está equilibrado e qualquer alteração em seu fornecimento não deve refletir em melhoria do estado nutricional da cultura ou em maiores produtividades
Negativo ou nulo	A planta apresenta média probabilidade de diminuir a produtividade se for adicionada maior quantidade do nutriente na adubação básica. A disponibilidade do nutriente avaliado pode ser excessiva para o bom desenvolvimento da cultura
Negativo	A planta apresenta alta probabilidade de diminuir a produtividade se for adicionada maior quantidade do nutriente na adubação básica. A disponibilidade do nutriente avaliado é excessiva para o bom desenvolvimento da cultura

## **5.4. Recomendação de adubação com base na diagnose foliar**

Sendo a folha o órgão da planta mais diretamente relacionado à fotossíntese, é normalmente escolhida para a diagnose do estado nutricional das lavouras em geral (MALAVOLTA et al., 1999). Dependendo do método adotado, as lavouras podem ser classificadas em duas a cinco classes quanto ao estado nutricional (Tabela 7).

O método do Nível Crítico e do M-DRIS possibilita a identificação de duas classes: uma indicando a falta do nutriente (deficiente ou limitante) e outra indicando o suprimento adequado (suficiente ou não limitante).

Por outro lado, o método do potencial de resposta à adubação permite identificar até cinco classes para o estado nutricional das lavouras (Tabelas 5, 6 e 7).

Entretanto, qualquer que seja o diagnóstico, nenhum deles fornece diretamente informação acerca das quantidades de nutrientes que devem ser manejadas a fim de tornar a nutrição da cultura mais equilibrada.

Métodos que utilizam ensaios de calibração para determinar os valores de referência (como o método do Nível Crítico ou das Faixas de Suficiência) poderiam, em princípio, ser utilizados para a recomendação de adubação, uma vez que a calibração permite definir determinadas doses de nutrientes que seriam responsáveis por estabelecer valores dos nutrientes em níveis satisfatórios nas lavouras. Assim, nos ensaios de calibração conhece-se para cada faixa de aplicação do nutriente qual o seu valor provável no tecido vegetal tomado como referência. Entretanto, na prática, não será possível determinar com segurança, a partir da avaliação do estado nutricional, qual será a dose adicional a ser aplicada, uma vez que em condições não controladas vários fatores estão afetando simultaneamente as taxas de acúmulo de nutrientes e de biomassa.

Outra alternativa para a análise de tecidos é determinar o coeficiente de utilização biológico. Entretanto, esse valor representa o inverso da composição média de cada nutriente em determinado compartimento das plantas, como, folhas, ramos, troncos, caules, pseudocaules, frutos, etc. (OLIVEIRA et al., 2005; OLIVEIRA, 2003), não podendo representar de forma correta o teor do nutriente nas folhas fotossinteticamente ativas, mas somente o teor médio de nutrientes estocados na folhagem como um todo (incluindo folhas novas, maduras e senescentes). O coeficiente de utilização biológico tem como finalidade a estimativa do balanço do nutriente no sistema solo-planta, portanto, o resultado desse balanço poderia ser utilizado para definir a quantidade de um dado nutriente a ser aplicado, mas não o estado nutricional da lavoura.

**Tabela 7.** Classes de interpretação do estado nutricional de lavouras em função do método de diagnóstico adotado.

Método	Nº de classes	Significado das classes
Nível Crítico	2	Deficiente e suficiente
Faixas de Suficiência	3	Deficiente, suficiente, consumo de luxo
M-DRIS	2	Limitante e não limitante
PRA	3 ou 5	Deficiente (e m ais deficiente), e equilibrado, excesso (e maior excesso)

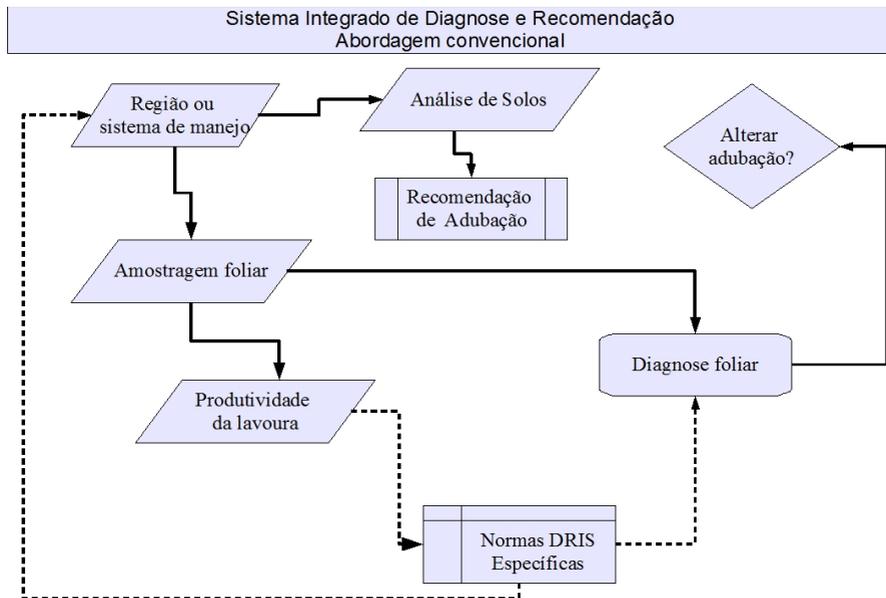
Na maioria das situações, o procedimento para definir as quantidades de nutrientes a serem aplicados é desenvolvido visando a situações ecofisiológicas específicas. Normalmente, esse procedimento é baseado no balanço do nutriente no sistema solo-planta ou ainda em ampla experimentação regional que permite, de acordo com a análise de solos e outros fatores (produtividade esperada, qualidade do produto, manejo fitotécnico), definir critérios ou tabelas de adubação para as principais culturas.

Em adubações baseadas no balanço solo-planta ou em tabelas de adubação, as quantidades de nutrientes necessárias para o desenvolvimento da cultura e a reposição da exportação são estimadas

a partir da produtividade esperada e de parâmetros fitotécnicos das plantas cultivadas (CANTARELLA, 2007; OLIVEIRA et al., 2005). Ambos os sistemas também estimam o suprimento de nutrientes do solo a partir da análise de fertilidade baseada em extratores químicos. A diferença entre os dois sistemas é que as tabelas de adubação resultam em quantidades discretas de nutrientes a serem aplicados, enquanto os sistemas baseados no balanço solo-planta resultam em quantidades contínuas.

Entretanto, qualquer que seja o sistema adotado, sempre que se utiliza um método de diagnose foliar, seja o convencional ou o DRIS, fundamentalmente avalia-se apenas o estado nutricional da lavoura, sem uma indicação segura para a tomada de decisão sobre manter ou alterar as adubações adotadas (Figura 4). Em outras palavras, o processo de tomada de decisão para recomendar a adubação é feito de forma independente da análise do estado nutricional da lavoura, já que essa informação somente é considerada após se definir a adubação.

Se o processo estiver vinculado a um banco de dados relacional, esse monitoramento permitirá aperfeiçoar de forma contínua, no caso do DRIS, os padrões nutricionais, de modo que uma base de dados mais ampla vai continuamente contribuindo para a melhoria das normas DRIS. Métodos alternativos, como o da Chance Matemática (WADT, 1996), também podem ser utilizados para definir os limites da faixa de suficiência.



**Figura 4.** Abordagem convencional para o sistema integrado de diagnóstico e recomendação.

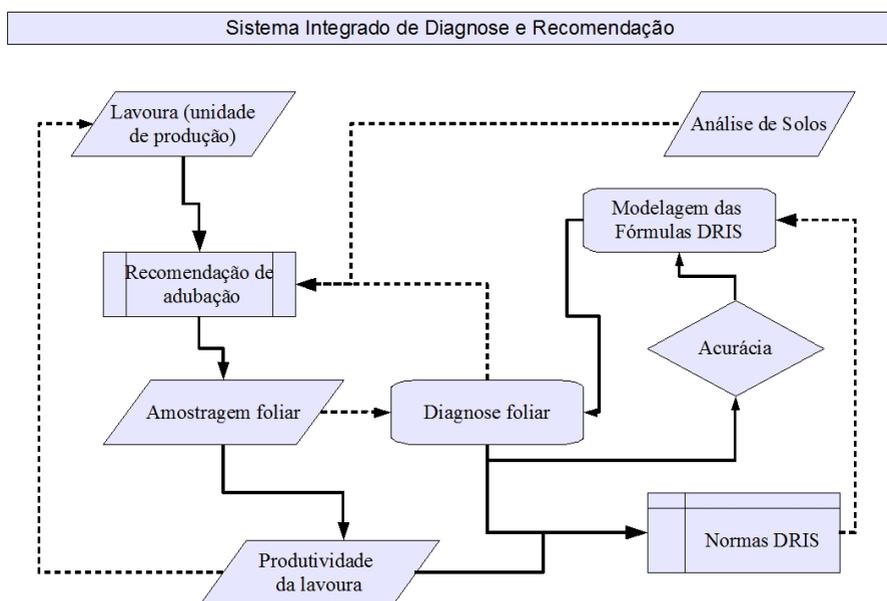
Deve ficar claro, entretanto, que nessa abordagem o DRIS é utilizado unicamente como um sistema de diagnóstico do estado nutricional, não como um sistema que também define a recomendação da adubação, como seu nome sempre indica, uma vez que o sistema de diagnóstico do estado nutricional está dissociado da recomendação de adubação.

Contudo, uma vez diagnosticado o grau de equilíbrio nutricional de um determinado nutriente, é possível realizar ajustes na adubação que estejam baseados na diagnose foliar.

Nesse caso, a definição final da adubação a ser realizada dependerá do conhecimento do estado nutricional das lavouras (Figura 5). Para culturas perenes, a própria lavoura poderá ser diagnosticada visando identificar o estado nutricional e, assim, a adubação a ser realizada. Para culturas anuais, o sistema é mais complexo, já que pode ser necessário utilizar informações de safras anteriores, o que torna o

procedimento menos seguro, pois muitos fatores que poderiam estar afetando o estado nutricional não ocorrem com a mesma frequência ou intensidade entre diferentes anos.

O procedimento pode ser aplicado a tabelas de adubação, ou ajustado para utilização junto à recomendação decorrente do balanço no sistema solo-planta. Podem-se facilmente construir tabelas de adubação que considerem simultaneamente as informações sobre produtividade esperada, fertilidade do solo e o estado nutricional da cultura (WADT; ALVAREZ, 2005; WADT, 2005).



**Figura 5.** Abordagem sugerida para integrar a recomendação de adubação com a avaliação do estado nutricional das plantas.

Assim, nas tabelas de adubação, deve ser considerada a capacidade do solo em fornecer determinado nutriente e a demanda da planta para atingir determinado nível de produtividade (WADT, 2005). A seguir, incorporam-se na tabela ajustes nas quantidades a serem aplicadas, acrescentando-se mais nutrientes ou diminuindo sua aplicação, conforme o estado nutricional da lavoura para o elemento considerado.

Na Tabela 8 foram considerados três níveis para a disponibilidade de K no solo (baixo, médio e alto), embora seja apropriado usar mais níveis (como muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto), e sete níveis de produtividade da lavoura cafeeira, em quilo de café beneficiado por hectare.

Na ausência de desequilíbrio nutricional, ou seja, quando o potencial de resposta à adubação é nulo, ou ainda, na ausência de informações sobre o estado nutricional da lavoura, a quantidade de  $K_2O$  a ser recomendada irá variar de  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  a  $330 \text{ kg ha}^{-1}$  (Tabela 8), em função exclusivamente da disponibilidade do elemento no solo e da produtividade esperada.

Entretanto, para cada categoria representada pelo suprimento do solo e a expectativa da demanda da planta estimada a partir da produtividade esperada, a quantidade efetivamente requerida do nutriente para a cultura poderá ser alterada, em função do grau de equilíbrio nutricional.

Assim, para o caso específico da adubação potássica em cafeeiro, como se considerou que para cada incremento de 600 kg de café beneficiado por hectare haveria uma demanda de  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$  adicional na adubação para solos com baixa disponibilidade de K, de  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$  adicional na adubação para solos com média disponibilidade de K e, finalmente, de  $10 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$  adicional na adubação para solos com alta disponibilidade de K, podem-se assumir os mesmos parâmetros para cada grau adicional de insuficiência ou de excesso de K na planta. Essas quantidades adicionais para cada incremento de 600 kg de café beneficiado na colheita ( $30 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $10 \text{ kg ha}^{-1}$ ) são definidas, portanto, em função tanto da produtividade esperada como do suprimento do solo.

**Tabela 8.** Doses recomendadas para a adubação potássica de cobertura na cultura do cafeeiro.

Potencial de resposta à adubação	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )	Adubação potássica em cobertura em kg ha <sup>-1</sup>		
		Disponibilidade de K no solo		
		Baixa	Média	Alta
Positivo	< 1.200	150	100	60
	1.200 a 1.800	180	120	70
	1.800 a 2.400	210	140	80
	2.400 a 3.000	240	160	90
	3.000 a 3.600	270	180	100
	3.600 a 4.800	330	210	120
	> 4.800	390	240	140
Positivo ou nulo	< 1.200	120	80	40
	1.200 a 1.800	150	100	50
	1.800 a 2.400	180	120	60
	2.400 a 3.000	210	140	70
	3.000 a 3.600	240	160	80
	3.600 a 4.800	300	190	100
	> 4.800	360	220	120
Nulo	< 1.200	90	60	20
	1.200 a 1.800	120	80	30
	1.800 a 2.400	150	100	40
	2.400 a 3.000	180	120	50
	3.000 a 3.600	210	140	60
	3.600 a 4.800	270	170	80
	> 4.800	330	200	100
Negativo ou nulo	< 1.200	60	40	0
	1.200 a 1.800	90	60	10
	1.800 a 2.400	120	80	30
	2.400 a 3.000	150	100	40
	3.000 a 3.600	180	120	50
	3.600 a 4.800	240	150	70
	> 4.800	300	180	90
Negativo	< 1.200	30	20	0
	1.200 a 1.800	60	40	0
	1.800 a 2.400	90	60	10
	2.400 a 3.000	120	80	20
	3.000 a 3.600	150	100	30
	3.600 a 4.800	210	130	50
	> 4.800	270	160	70

Dessa forma, se a cultura estiver em um solo com baixa disponibilidade de K, dependerá de uma adubação maior para reequilibrar seu estado nutricional de produtividade imediatamente superior. Nesse caso, se o potencial de resposta à adubação for positivo (grau 2), devem-se adicionar  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  na adubação de cobertura prevista com base na análise do solo e na produtividade esperada; por outro lado, se o PRA for positivo ou nulo (grau 1), devem-se adicionar  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  na adubação de cobertura prevista. Do mesmo modo, para situações em que o estado nutricional da lavoura esteja indicando excesso de K, deve-se diminuir a adubação em  $30 \text{ K}_2\text{O}$  de  $\text{ha}^{-1}$  ou  $60 \text{ K}_2\text{O}$  de  $\text{ha}^{-1}$ , respectivamente para condições em que o PRA for negativo ou nulo (grau -1) ou negativo (grau -2).

O mesmo raciocínio pode ser extrapolado para solos com média e alta disponibilidade de K, atentando apenas para o fato de que nesse caso as quantidades de K a serem aplicadas ou retiradas da adubação serão menores, respectivamente de  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  ou  $10 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  para cada grau de insuficiência ou de deficiência.

Nas situações em que a informação sobre a disponibilidade do nutriente no solo não esteja disponível ou o método de extração do nutriente for oneroso ou de baixa reprodutibilidade, essa informação poderia ser ignorada e a tabela de adubação ser construída apenas com base na produtividade esperada e no estado nutricional da lavoura, como é o caso das adubações de nitrogênio e de enxofre no cafeeiro (Tabela 9).

O sistema obedece, em princípio, à mesma lógica. Entretanto, como não há informação sobre a disponibilidade do nutriente no solo, a quantidade de N ou S a ser adicionada ou retirada da adubação vai variar em função da produtividade esperada e do potencial de resposta à adubação. Assim, por exemplo, a adubação de N em cobertura no cafeeiro poderia variar de  $75 \text{ kg ha}^{-1}$  a  $255 \text{ kg ha}^{-1}$  apenas em função da produtividade esperada (PRA = nulo), ou de  $25 \text{ kg ha}^{-1}$  de N (produtividade abaixo de  $1.200 \text{ kg ha}^{-1}$  de café beneficiado e PRA =

negativo) a até 350 kg ha<sup>-1</sup> de N (produtividade acima de 4.800 kg ha<sup>-1</sup> de café beneficiado e PRA = positivo) (Tabela 9).

**Tabela 9.** Doses recomendadas para a adubação nitrogenada e de enxofre, de cobertura, na cultura do cafeeiro.

Potencial de resposta à adubação	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )	Adubação em kg ha <sup>-1</sup>	
		N	S
Positivo	< 1.200	125	16
	1.200 a 1.800	150	19
	1.800 a 2.400	180	23
	2.400 a 3.000	210	26
	3.000 a 3.600	240	30
	3.600 a 4.800	290	36
	> 4.800	350	44
Positivo ou nulo	< 1.200	100	13
	1.200 a 1.800	125	16
	1.800 a 2.400	155	19
	2.400 a 3.000	185	23
	3.000 a 3.600	215	27
	3.600 a 4.800	260	33
Nulo	> 4.800	300	38
	< 1.200	75	9
	1.200 a 1.800	100	13
	1.800 a 2.400	130	16
	2.400 a 3.000	160	20
	3.000 a 3.600	190	24
Negativo ou nulo	3.600 a 4.800	225	28
	> 4.800	255	32
	< 1.200	50	6
	1.200 a 1.800	75	9
	1.800 a 2.400	105	13
	2.400 a 3.000	135	17
Negativo	3.000 a 3.600	160	20
	3.600 a 4.800	185	23
	> 4.800	210	26
	< 1.200	25	3
	1.200 a 1.800	50	6
	1.800 a 2.400	80	10
Negativo	2.400 a 3.000	110	14
	3.000 a 3.600	140	18
	3.600 a 4.800	165	21
	> 4.800	185	23

A regra a ser utilizada pode ser generalizada para cada cultura e derivar das próprias tabelas de adubação ou de ensaios de calibração convencionais: definem-se inicialmente as classes de produtividade e seu respectivo intervalo (no caso do exemplo, para cafeeiros foram adotadas sete classes com intervalo de 600 kg ha<sup>-1</sup> de café beneficiado como estimativa da produtividade).

A partir da classe de produtividade, estima-se a demanda de cada nutriente que deve ser fornecido à lavoura, para cada categoria de produtividade (essa demanda pode ser fornecida com base em modelos de exportação de nutrientes, em ensaios de calibração ou em modelagens do balanço de nutrientes no sistema solo-planta).

O próximo passo é determinar a contribuição do suprimento do solo para o atendimento da demanda de nutriente dentro de cada categoria de produtividade. Por exemplo, um solo com uma capacidade de suprimento muito baixa pode não fornecer qualquer quantia dessa demanda, enquanto um solo com suprimento muito alto poderia fornecer 67% (dois terços).

A etapa seguinte consiste em ajustar a adubação com base no incremento de produtividade possível. Assim, para um dado nível de produtividade, uma vez identificados os nutrientes em situação de equilíbrio, de insuficiência e de excesso, pode-se quantificar o ajuste assumindo-se que, uma vez corrigido o estado nutricional da lavoura (considerando ser a nutrição o fator limitante, já que se espera que os demais fatores de manejo estejam também sendo tratados de forma adequada), a produtividade da cultura poderá aumentar em uma classe, caso o nutriente limitante seja corrigido (adicionado) e o nutriente em excesso seja retirado.

Isso resultará em uma nova combinação de valores para a adubação, que leva em consideração, além do suprimento do solo e a produtividade esperada, também o estado nutricional da lavoura. A cada safra, a avaliação é retomada e uma nova adubação pode ser obtida.

Se esse sistema estiver acoplado a um banco de dados relacional, com armazenamento de informações como produtividade das lavouras e das análises de tecidos, os padrões nutricionais poderão ser constantemente aperfeiçoados, com a geração de novas normas DRIS após cada safra (Figura 5).

Entretanto, somente o aperfeiçoamento das normas DRIS não é suficiente para que um sistema dessa natureza possa evoluir continuamente. Fazem-se necessárias duas medidas adicionais, que consistem na avaliação crítica dos diagnósticos realizados, identificando para cada nutriente a acurácia do diagnóstico com base no número de diagnósticos para deficiência e para suficiência que foram corretos e que foram incorretos (BEVERLY, 1993). A análise da acurácia permitirá que as fórmulas DRIS sejam modeladas (WADT et al., 2007), ou seja, que as funções utilizadas para o cálculo do índice DRIS de cada nutriente sejam ajustadas a fim de produzir diagnósticos com maior grau de acerto.

Essa acurácia pode ser objetivamente calculada a partir do aumento ou não da produtividade da lavoura em resposta à correção das deficiências nutricionais que tenham sido identificadas e da aplicação do nutriente limitante.

## **6. Conclusão**

A adoção de um sistema de recomendação de adubação para as lavouras que integre a diagnose foliar aos métodos convencionais, baseado em tabelas de adubação ou no balanço do nutriente no sistema solo-planta, permitiria adubações mais equilibradas e também representaria um meio eficaz de proporcionar melhoria constante no próprio sistema de diagnose do estado nutricional e, por conseguinte, na recomendação de adubação visando a sistemas de produção com maior eficiência no uso de fertilizantes.

## 7. Referências

ALVAREZ V. V. H.; LEITE, R. A. Fundamentos estatísticos das fórmulas para cálculo dos índices dos nutrientes no sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS). In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., 1992, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBCS, 1992, p. 186-187.

ALVAREZ V. V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 27-32, 2000.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 241-248, 2002.

BALDOCK, J. O. Plant analysis with Standardized Scores: status for corn, soybeans, and alfalfa. In: SIMPÓSIO SOBRE MONITORAMENTO NUTRICIONAL PARA A RECOMENDAÇÃO DA ADUBAÇÃO DE CULTURAS, 1999, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Potafós, [1999]. 1 CD-ROM.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; TEIXEIRA, J. L.; FERNANDES FILHO, E. I. Nutricalc 2.0: sistema para cálculo del balance nutricional y recomendación de fertilizantes para el cultivo de eucalipto. **Bosque**, v. 16, p. 129-131, 1995.

BATAGLIA, O. C.; SANTOS, W. R. Efeito do procedimento de cálculo e da população de referência nos índices do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 339-344, 1990.

BEAUFILS, E. R. **Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS)**. Pietermaritzburg: University of Natal, 1973. 132 p. (Soil Sci. Bulletin, 1).

BEAUFILS, E. R. Pesquisa de uma exploração racional da Hévea após um diagnóstico fisiológico demorado sobre a análise mineral de diversas partes da planta. **Fertilité**, v. 3, p. 27-38, 1958.

BEVERLY, R. B. Comparison of DRIS and alternative nutrient diagnostic methods for soybean. **Journal of Plant Nutrition**, v. 10, p. 901-920, 1987.

BEVERLY, R. B. DRIS Diagnoses of soybean nitrogen, phosphorus and potassium status are unsatisfactory. **Journal of Plant Nutrition**, v. 16, n. 8, p. 1431-1447, 1993.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 375-470.

DIAS, J. R. M.; PEREZ, D. V.; LEMOS, C. O.; WADT, P. G. S. Normas DRIS bivariadas para a avaliação nutricional de cupuaçuzeiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. **O solo e a produção de bioenergia: perspectivas e desafios**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009a. 1 CD-ROM.

DIAS, J. R. M.; PRADO, R. M.; WADT, P. G. S.; PEREZ, D. V.; LEMOS, C. O. Potencial de resposta à adubação para N, P, K, Ca e Mg em cupuaçueiros avaliados por diferentes normas DRIS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009. Fortaleza. **O solo e a produção de bioenergia: perspectivas e desafios: anais**. Fortaleza: SBCS, 2009b. 1 CD-ROM.

ELWALI, A. M. O.; GASCHO, G. J. Soil testing, foliar analysis and DRIS as guide for sugarcane fertilization. **Agronomy Journal**, v. 76, n. 3, p. 466-470, 1984.

HALLMARK, W. B.; BEVERLY, R. B.; SUMNER, M. E.; DEMOOY, C. J.; MORRIS, J. P.; FONTENOT, J. D. Soybean phosphorus and potassium requirement evaluation by three M-DRIS data bases. **Agronomy Journal**, v. 82, n. 2, p. 323-328, 1990.

HALLMARK, W. B.; WALWORTH, J. L.; SUMNER, M. E.; DEMOOY, C. J. de; PESEK, J.; SHAO, K. P. Separating limiting from non-limiting nutrients. **Journal of Plant Nutrition**, v. 10, p. 1381-1390, 1987.

INGESTAD, T. New concepts on soil fertility and plant nutrition as illustrated by research on forest trees and stands. **Geoderma**, v. 40, p. 237-252, 1987.

INGESTAD, T.; AGREN, G. Plant nutrition and growth: basic principles. **Plant and Soil**, v. 168-169, p. 15-20, 1995.

INGESTAD, T.; AGREN, G. Theories and methods on plant nutrition and growth. **Plant Physiology**, v. 84, p. 177-184, 1992.

JARREL, W. M.; BEVERLY, R. B. The dilution effect in plant nutrition studies. **Advanced in Agronomy**, v. 34, p. 197-224, 1981.

JONES, C. A. Proposed modifications of the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) for interpreting plant analyses. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 12, p. 785-794, 1981.

KELLING, K. A.; SCHULTE, E. E. Review: DRIS as a part of a routine plant analysis program. **Journal Fertilizer**, v. 3, p. 107-112, 1986.

KURIHARA, C. H. **Demanda de nutrientes pela soja e diagnose de seu estado nutricional**. 2004. 101 f. Tese (Doutorado) - Viçosa, Universidade Federal de Viçosa.

MAIA, C. Análise crítica da fórmula original de Beaufils no cálculo dos índices DRIS: a constante de sensibilidade. In: WADT, P. G. S.; MALAVOLTA, E. (Org.). **Monitoramento nutricional para a recomendação de adubação de culturas**. Piracicaba: Potafos, 1999. 1 CD-ROM.

MALAVOLTA, E.; OLIVEIRA, S. A.; WADT, P. G. S. Foliar Diagnosis: the status of the art. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. (Org.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Lavras: SBCS, 1999. p. 205-242.

MOURÃO FILHO, F. de A. A. DRIS: Concepts and applications on nutritional diagnosis in fruit crops. **Sci. Agric.**, v. 61, n. 5, p. 550-560, 2004.

NACHTIGALL, G. R. **Sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) para avaliação do estado nutricional da macieira no sul do Brasil**. 2004. 141 f. Tese (Doutorado) - Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

NICK, J. A. **DRIS para cafeeiros podados**. 1998. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 471-550.

NOVAIS, R. F.; WADT, P. G. S.; ALVAREZ V, V.H.; BARROS, N. F. Levantamento do estado nutricional de cafeeiros do estado do Espírito Santo com base no método da Chance Matemática. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTA, 21., 1994, Petrolina, PE. **Anais...** Petrolina: Sociedade Brasileira de Ciência do solo: EMBRAPA-CPATSA, 1994.

OLIVEIRA, F. H. T.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; CANTARUTTI, R. B. Desenvolvimento de um sistema para recomendação de adubação para a cultura da bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 131-143, 2005.

OLIVEIRA, J. R. V. **Sistema de cálculo de balanço nutricional e recomendação de calagem e adubação de povoamentos de teca - NUTRITECA**. 2003. 76 f. Dissertação (Mestrado) – Viçosa, Universidade Federal de Viçosa.

PARENT, L. E.; DAFIR, M. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. **Journal of the American Society for Horticultura Science**, v. 117, p. 239-242, 1992.

PARENT, L. E.; NATALE, W. CND: vantagens e benefícios para culturas de alta produtividade. In: PRADO, R. M.; ROZANE, D. E.; VALE, D. W.; CORREIA, M. A. R.; SOUZA, H. A. (Ed.). **Nutrição de plantas: diagnose foliar em grandes culturas**. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 2008. p. 105-114.

PARTELLI, F. L.; VIEIRA, H. D.; CARVALHO, V. B. de; MOURÃO FILHO, F. de A. A. Diagnosis and recommendation integrated system norms, sufficiency range, and nutritional evaluation of Arabian coffee in two sampling periods. **Journal of Plant Nutrition**, v. 30, n. 10, p. 1651-1667, 2007.

PARTELLI, F. L.; VIEIRA, H. D.; MONNERAT, P. H.; VIANA, A. P. Comparação de dois métodos DRIS para diagnóstico de deficiências nutricionais do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 2, p. 301-306, 2006a.

PARTELLI, F. L.; VIEIRA, H. D.; MONNERAT, P. H.; VIANA, A. P. Estabelecimento de normas DRIS em cafeeiro conilon orgânico ou convencional no Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 443-451, 2006b.

QUAGGIO, J. A.; MATTOS JR., D.; CANTARELLA, H. Manejo da fertilidade do solo na citricultura. In: MATTOS JR., D.; NEGRI, J. D.; PIO, R. M.; POMPEU JR., P. (Ed.). **Citros**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2005. p. 483-507.

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

RATHFON, R. A.; BURGER, J. A. Diagnosis and recommendation integrated system modifications for Fraser Fir Christmas Trees. **Soil Science Society of America Journal**, v. 55, p. 1026-1031, 1991.

SILVA, G. G. C.; NEVES, J. C. L.; ALVAREZ V. V. H.; LEITE, F. P. Avaliação da universalidade das normas DRIS, M-DRIS e CND. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 755-761, 2005.

SUMNER, M. E. New approach for predicting nutrient needs for increased crop yields. **Fert. Solutions**, v. 22, p. 68-78, 1978.

TAVELLA, L. B.; DIAS, J. R. M.; WADT, P. G. S.; LEMOS, C. O.; DELARME LINDA, E. A. Uso de normas DRIS (log-transformadas) para a cultura do cupuaçu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. **O solo e a produção de bioenergia: perspectivas e desafios**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, [2009]. 1 CD-ROM.

URANO, E. O. M.; KURIHARA, C. H.; MAEDA, S.; VITORINO, A. C. T.; GONÇALVES, M. C.; MARCHETTI, M. E. Determinação de teores ótimos de nutrientes em soja pelos métodos chance matemática, sistema integrado de diagnose e recomendação e diagnose da composição nutricional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 63-72, 2007.

WADT, P. G. S. **Os métodos da Chance Matemática e do Sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) na avaliação nutricional de plantios de eucalipto**. 1996. 99 f. Tese (Doutorado) - Viçosa, Universidade Federal de Viçosa.

WADT, P. G. S. Recomendação de adubação para as principais culturas. In: WADT, P. G. S. (Ed.). **Manejo do solo e recomendação de adubação para o Estado do Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2005. p. 397-532.

WADT, P. G. S.; ALVAREZ V. V. H. Monitoramento nutricional. In: WADT, P. G. S. (Ed.). **Manejo do solo e recomendação de adubação para o Estado do Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2005. p. 227-244.

WADT, P. G. S.; ALVAREZ V. V. H.; NOVAIS, R. F.; FONSECA, S.; BARROS, N. F. O método da Chance matemática na interpretação de dados de levantamento nutricional de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 773-778, 1998.

WADT, P. G. S.; CRAVO, M. S. Interpretação de resultados de análises de solos. In: WADT, P. G. S. (Ed.). **Manejo do solo e recomendação de adubação para o Estado do Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2005. p. 245-252.

WADT, P. G. S.; DIAS, J. R. M.; PEREZ, D. V.; SILVA, L. M.; LEMOS, C. O. Desempenho comparativo de normas DRIS para cupuaçueiros na Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. **O solo e a produção de bioenergia: perspectivas e desafios**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, [2009]. 1 CD-ROM.

WADT, P. G. S.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BRAGANÇA, S. M. Alternativas de aplicação do DRIS à cultura de café conilon (*Coffea canephora* Pierre). **Scientia Agricola**, v. 56, p.83-92, 1999.

WADT, P. G. S.; SILVA, L. M. **Determinação do fósforo remanescente para a avaliação da disponibilidade de fósforo em solos do Estado do Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2011. (Embrapa Acre. Comunicado técnico, 178).

WADT, P. G. S.; SILVA, D. J.; MAIA, C. E.; TOMÉ JÚNIOR, J. B.; PINTO, P. A. da C.; MACHADO, P. L. O. de A. Modelagem de funções no cálculo dos índices DRIS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 57-64, 2007.

WALWORTH, J. L.; SUMNER, M. E. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). **Advances in Soil Science**, v. 6, p. 149-188, 1987.





**Ministério da  
Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento**

GOVERNO FEDERAL  
**BRASIL**  
PAÍS RICO E PAÍS SEM POBREZA

CGPE 9710