
Capítulo 10

Medidas de Acurácia para Diagnósticos Nutricionais e seu Impacto no Manejo das Adubações

*Paulo Guilherme Salvador Wadt¹
Cleigiane de Oliveira Lemos²*

10.1 Introdução

A utilidade de sistemas de avaliação do estado nutricional das plantas depende da capacidade destes em identificar corretamente qual(is) nutriente(s) limita(m) a produtividade das culturas, de modo a corrigir possíveis desequilíbrios nutricionais, seja pela adição do nutriente limitante, no caso de comprovada deficiência nutricional, seja no caso de correção no manejo da adubação, em casos de desequilíbrio por excesso (BEVERLY, 1993).

O primeiro método proposto para avaliar metodicamente a utilidade de sistemas de diagnóstico do estado nutricionais foi o sistema “Prescient Diagnostic Analysis Methodogy” (PDAM) (BEVERLY, 1987; BEVERLY; HALLMARK, 1992; BEVERLY, 1992; BEVERLY, 1993).

¹ Engenheiro Agrônomo, Doutor, Pesquisador da Embrapa Acre, Caixa postal 321, CEP 69.910-350, Rio Branco-AC, paulo.wadt@satra.eti.br

² Analista de Sistemas, Mestranda em Ciências da Computação, Universidade Federal de Pernambuco, Av. Prof. Luís Freire s/n, Cidade Universitária, Recife-PE, CEP 50740-540, cleigiane@satra.eti.br

Resumidamente, o processo consiste em (BEVERLY, 1993):

a) aproveitar informações de ensaios experimentais que avaliam a resposta das plantas à adição de nutrientes;

b) escolher um tratamento-teste, onde se avalia a resposta da planta à aplicação de um dado nutriente, comparando-a com a de um tratamento-controle, a qual difere do primeiro unicamente pela ausência do nutriente em análise;

c) avaliar o estado nutricional da planta no tratamento-controle, definindo-a como insuficiente ou normal (equilibrado), de acordo com critérios específicos do método a ser testado;

d) avaliar se a adição do nutriente (tratamento-teste) resultou em maior produtividade quando comparada com o tratamento sem o nutriente (tratamento-controle). Se houve aumento da produtividade, este será considerado como provavelmente limitante do rendimento, ou seja, deficiente. Neste caso, se o diagnóstico nutricional, feito no tratamento-controle, tiver indicado insuficiência, então o diagnóstico foi verdadeiro (V); se o diagnóstico nutricional no mesmo tratamento-controle tiver indicado estado suficiente, então o diagnóstico foi falso (F);

e) na mesma avaliação, se a adição do nutriente não resultou em maior produtividade, este será considerado como provavelmente em níveis adequados, ou seja, suficiente. Neste caso, se o diagnóstico nutricional feito no tratamento-controle tiver indicado deficiência, então o diagnóstico foi falso (F); ainda, caso o diagnóstico nutricional tiver indicado normal ou equilibrado, então o diagnóstico foi verdadeiro (V).

Portanto, considerando dois estados nutricionais (deficiente ou suficiente) e dois diagnósticos do estado nutricional (insuficiente ou equilibrado), há quatro possibilidades de avaliação do estado nutricional (Tabela 1).

Tabela 1 - Distribuição da adequação de diagnósticos nutricionais.

Contagem de casos		Estado nutricional fisiológico	
		Deficiente	Suficiente
Estado nutricional determinado pelo sistema de avaliação nutricional	Insuficiente	Verdadeira Insuficiência (Vi)	Falsa Insuficiência (Fi)
	Normal ou equilibrado	Falso equilíbrio (Fe)	Verdadeiro equilíbrio (Ve)

De acordo com Beverly (1993), idealmente, a diagnose será útil se diagnosticar todas as deficiências existentes (V_i) e todas as suficiências (V_e). As falhas em detectar uma deficiência (F_e) resulta em perda de produtividade da lavoura, diminuindo a utilidade do sistema e a identificação de insuficiência; onde a planta está bem nutrida (F_i), poderá resultar em aplicação desnecessária de fertilizantes, resultando em perda econômica e possível degradação ambiental.

Com base na distribuição dos diagnósticos verdadeiros ou falsos, foram originalmente propostas três medidas de utilidade dos diagnósticos: acurácia propriamente dita e a razão da acurácia (BEVERLY, 1987; BEVERLY; HALLMARK, 1992; BEVERLY, 1992) e a taxa de eficiência da acurácia (BEVERLY, 1993).

A acurácia propriamente dita consiste no percentual de diagnósticos verdadeiros em relação ao total de diagnósticos realizados ($Ac = [100 \times (V_i + V_e)] / [V_i + F_i + V_e + F_e]$).

A outra medida é a razão da acurácia, que consiste no percentual de diagnósticos verdadeiros em relação ao total de diagnósticos de insuficiência ($R_{Ac} = 100 \times V_i/F_i$).

Uma limitação associada a estas duas medidas é que a distribuição de casos de deficiência e de suficiência é acentuadamente desproporcional, fazendo com que elevados valores para a acurácia possam ser obtidos, bastando que o percentual de diagnósticos verdadeiros para equilíbrio seja elevado, mesmo que não haja diagnóstico verdadeiro para insuficiência. De modo semelhante, a razão da acurácia pode apresentar valores elevados desde que o número total de plantas deficientes seja pequeno.

A outra medida de utilidade é a taxa de eficiência da acurácia (Te_{Ac}) (BEVERLY, 1993), que corresponde à expressão $((Acc[DEF] \times Acc[DEF]) / (Acc[DEF] + 100 - Acc[SUF]))$, em que:

$$Acc[DEF] = (V_i) / [(V_i) + (F_i)], \text{ e}$$

$$Acc[SUF] = (V_e) / [(V_e) + (F_e)].$$

A Te_{Ac} foi proposta como uma medida capaz de compensar a distribuição desproporcional do número de casos de deficiência e suficiência. Sua utilidade limita-se, entretanto, pelo fato de não mensurar separadamente a eficiência de diagnósticos de toxicidade ou excesso daqueles de suficiência. Ou seja, as medidas anteriores não conseguem identificar aquelas situações

em que o estado nutricional de determinado elemento resulta em perda de produtividade e onde o manejo das adubações deve ser direcionado para a redução de sua disponibilidade, em termos relativos ou absolutos.

Normalmente, o que vem sendo feito são avaliações de frequência do número de ocorrências de determinados nutrientes nas diferentes classes de interpretação do estado nutricional ou, então, comparação entre diferentes métodos, como o realizado por Wadt et al. (1999), computando-se apenas as frequências ou, em casos mais detalhados, computando-se o número de diagnósticos concordantes (PARTELLI et al., 2006). Entretanto, nenhuma destas alternativas avalia objetivamente a utilidade dos diagnósticos obtidos; a análise da frequência não garante que as mesmas lavouras tenham tido o mesmo diagnóstico, mas apenas que a proporção de casos observados é semelhante entre duas situações. A abordagem feita por Partelli et al. (2006) corrige este problema, mas não corrige a medida de concordância em função da distribuição desigual entre casos de deficiência ou suficiência.

Para contornar as limitações propostas por estas medidas de utilidade, são propostas sete medidas de acurácia; a primeira, uma medida global, equivalente à acurácia proposta por Beverly e Hallmark (1992), porém considerando três estados nutricionais possíveis: deficiência, suficiência e toxicidade (Tabela 2). Esta abordagem é compatível com a utilização do critério do Potencial de Resposta à Adubação (WADT, 2005), o qual classifica os nutrientes em cinco classes quanto ao estado nutricional, em determinada planta: insuficiente (com alta e baixa probabilidades), equilibrado e excesso (com baixa e alta probabilidades).

Dadas as diferentes situações possíveis (Tabela 2), torna-se necessária a determinação de medidas de utilidade que possam ser adotadas para avaliar a qualidade dos diagnósticos produzidos e, assim, definir a possibilidade de adoção ou não de determinado processo de avaliação do estado nutricional.

Do ponto de vista da denominação a ser adotada para a mensuração da utilidade dos diagnósticos nutricionais, existem três termos que poderiam ser adotados.

O primeiro corresponde à precisão, onde representa a regularidade da medição de uma variável, ou seja, a reprodutibilidade dos valores obtidos em medições sucessivas da mesma grandeza. Se considerarmos que a utilidade dos diagnósticos que pretendemos mensurar corresponde a índices DRIS,

ou seja, valores determinados por expressões matemáticas, não faz sentido determinar sua precisão, uma vez que o valor obtido para o cálculo será sempre o mesmo, considerando-se os mesmos valores para as variáveis de cada expressão a ser calculada. A mesma equação, dadas as mesmas variáveis de entrada, resultará sempre no mesmo valor.

Tabela 2 - Distribuição dos casos de estado nutricional fisiológico (determinado experimentalmente ou indiretamente) e de diagnósticos produzidos por métodos de avaliação do estado nutricional das plantas.

Contagem de casos		Estado nutricional fisiológico			Subtotal
		Deficiência	Suficiência	Toxicidade	
Diagnóstico nutricional	Insuficiência	I_v	$I_{F(S)}$	$I_{F(T)}$	ΣI
	Equilíbrio	$Eq_{F(D)}$	Eq_v	$Eq_{F(T)}$	ΣEq
	Excesso	$Ex_{F(D)}$	$Ex_{F(S)}$	Ex_v	ΣEx
Subtotal		ΣD	ΣS	ΣT	$\Sigma \Sigma n$

Em que: I_v = contagem do número de diagnósticos verdadeiros para insuficiência nutricional; $I_{F(S)}$ = contagem do número de diagnósticos falsos para insuficiência em situações de reconhecida suficiência nutricional; $I_{F(T)}$ = contagem do número de diagnósticos falsos para insuficiência em situações de reconhecida toxicidade nutricional; Eq_v = contagem do número de diagnósticos verdadeiros para equilíbrio nutricional; $Eq_{F(D)}$ = contagem do número de diagnósticos falsos para equilíbrio em situações de reconhecida deficiência nutricional; $Eq_{F(T)}$ = contagem do número de diagnósticos falsos para equilíbrio em situações de reconhecida toxicidade nutricional; Ex_v = contagem do número de diagnósticos verdadeiros para excesso nutricional; $Ex_{F(D)}$ = contagem do número de diagnósticos falsos para excesso em situações de reconhecida deficiência nutricional; $Ex_{F(S)}$ = contagem do número de diagnósticos falsos para excesso em situações de reconhecida suficiência nutricional; ΣD = total de casos de deficiência nutricional; ΣS = total de casos de suficiência nutricional; ΣT = total de casos de toxicidade nutricional; ΣI = total de diagnósticos para insuficiência nutricional; ΣEq = total de diagnósticos para equilíbrio nutricional; ΣEx = total de diagnósticos para excesso nutricional; $\Sigma \Sigma n$ = total de casos computados.

O segundo termo é a exatidão, a qual representa a aproximação da medida ao ser valor verdadeiro ou, em outras palavras, a diferença entre o valor verdadeiro e o valor observado de uma grandeza. Embora, à primeira vista, este conceito possa ser mais apropriado, a medida de exatidão aplica-se a mensurações físicas de fenômenos ou propriedades, não sendo apropriada

para a mensuração de um conjunto de resultados derivados de processos matemáticos.

O terceiro termo possível de ser adotado é a acurácia, derivado do termo exatidão. Esse termo, porém, representa um processo ou procedimento, mais adequado para ser aplicado a processos matemáticos.

Neste contexto, a acurácia pode ser definida como a exatidão de uma operação, tendo como objetivo representar a proximidade entre um conjunto de valores obtidos por processos determinísticos e o valor verdadeiro relacionado à grandeza física deste mesmo conjunto de dados. Em nutrição mineral de plantas, indica a medida da proximidade entre o valor que foi obtido em um diagnóstico nutricional com o verdadeiro estado nutricional da planta. Diferentemente da medida da exatidão, na medida da acurácia, há incertezas (imprecisões ou inexatidões) tanto na medida da grandeza física – no caso, o verdadeiro estado nutricional fisiológico da planta - quanto na medida produzida pelo processo de sua estimativa, no caso a avaliação de seu estado nutricional ou de seu diagnóstico nutricional.

Assim, de modo simplificado, pode-se dizer que a acurácia corresponde a uma medida que avalia o grau em que a variável representa o que realmente deveria representar, ou seja, o grau de acerto de determinado conjunto de diagnósticos para um determinado nutriente.

10.2 Medidas de acurácia

Para a avaliação dos diagnósticos nutricionais, são propostas sete medidas de acurácia, definidas em uma escala de 0 a 1, facilitando a sua interpretação: acurácia global, acurácia para insuficiência, acurácia para equilíbrio, acurácia para excesso, acurácia para deficiência, acurácia para suficiência e acurácia para toxicidade. Além disso, as seis últimas medidas de acurácia podem ser adotadas para a modelagem das funções DRIS, conforme proposto por Wadt et al. (2007).

A modelagem das funções DRIS, tratada mais adiante, consiste em ajustar o valor da constante k associada a cada função DRIS, adotando-se valores distintos para cada nutriente, com o objetivo de subestimar ou superestimar determinada estimativa para o estado nutricional.

Cada medida proposta tem como finalidade determinar a eficácia de determinado aspecto do processo de avaliação nutricional, orientado na escolha de determinado processo de diagnóstico ou, ainda, ajustando o processo com a finalidade de torná-lo mais seguro para utilização comercial.

10.2.1 Acurácia global (AG)

Esta medida é uma mensuração genérica para a utilidade dos processos diagnósticos e representa a média aritmética de diagnósticos corretos em relação a cada situação de estado nutricional possível para as plantas avaliadas.

Sua principal vantagem é que indica o desempenho global do método de diagnóstico nutricional, podendo comparar diferentes metodologias por meio de único indicador; todavia, alta acurácia global não representa, necessariamente, melhor desempenho para uma dada metodologia. A desvantagem desta medida é que não distingue os diagnósticos quanto ao acerto em identificar cada um dos possíveis estados nutricionais e, como o número de situações para o estado nutricional não é uniforme, uma elevada acurácia global pode não indicar corretamente a capacidade do método em diagnosticar corretamente plantas nutricionalmente deficientes daquelas suficientes. Outra desvantagem deste processo é que não possibilita distinguir a utilidade do diagnóstico para o aperfeiçoamento do processo de identificação do estado nutricional das plantas.

A acurácia global é avaliada pela expressão (Tabela 3):

$$AG = (I_v/\sum D + E_q/\sum S + Ex_v/\sum T)/3$$

Em que:

AG = grau de diagnósticos verdadeiros, na escala de 0 a 1;

I_v = contagem do número de diagnósticos verdadeiros para insuficiência nutricional;

E_q = contagem do número de diagnósticos verdadeiros para equilíbrio nutricional;

Ex_v = contagem do número de diagnósticos verdadeiros para excesso nutricional;

$\sum D$ = total de casos de deficiência nutricional;

$\sum S$ = total de casos de suficiência nutricional, e

$\sum T$ = total de casos de toxicidade nutricional.

Esquemáticamente, a acurácia global consiste na média aritmética do porcentual de acerto de diagnósticos corretos (Tabela 3).

Tabela 3 - Variáveis utilizadas para a mensuração da acurácia global

Contagem de casos		Estado nutricional fisiológico			Subtotal
		Deficiência	Suficiência	Toxicidade	
Diagnóstico nutricional	Insuficiência	I_v			
	Equilíbrio		Eq_v		
	Excesso			Ex_v	
Subtotal		ΣD	ΣS	ΣT	

10.2.2 Acurácia para insuficiência (ACI)

Esta medida de acurácia indica o grau de acerto para os diagnósticos de insuficiência nutricional: quando a acurácia para insuficiência for elevada (próximo de 1), significa que a maioria dos diagnósticos para insuficiência foram corretos e há um baixo número de diagnósticos de insuficiência para plantas com nutrição pelo menos suficiente. Por outro lado, se a acurácia para insuficiência for baixa (próximo de 0), significa que houve muitos diagnósticos falsos, com plantas com nutrição pelo menos suficiente, sendo diagnosticadas com insuficiência.

No manejo da adubação, uma baixa acurácia para insuficiência significa que a recomendação de adubação resultante estaria acima da necessidade das culturas, pois plantas saudáveis estariam sendo diagnosticadas como em estado de insuficiência nutricional.

A acurácia para insuficiência calcula-se pela expressão (Tabela 4):

$$ACI = [2 + (I_v / \Sigma D - [I_{F(S)} / \Sigma S + I_{F(T)} / \Sigma T])] / 3$$

Em que:

ACI = grau de diagnósticos verdadeiros para insuficiência, na escala de 0 a 1;

I_v = contagem do número de diagnósticos verdadeiros para insuficiência nutricional;

$I_{F(S)}$ = contagem do número de diagnósticos falsos para insuficiência em situações de reconhecida suficiência nutricional;

$I_{F(T)}$ = contagem do número de diagnósticos falsos para insuficiência em situações de reconhecida toxicidade nutricional;

ΣD = total de casos de deficiência nutricional;

ΣS = total de casos de suficiência nutricional, e

ΣT = total de casos de toxicidade nutricional.

Tabela 4 - Variáveis utilizadas para a mensuração da acurácia para insuficiência nutricional.

Contagem de casos		Estado nutricional fisiológico			Subtotal
		Deficiência	Suficiência	Toxicidade	
Diagnóstico nutricional	Insuficiência	I_V	$I_{F(S)}$	$I_{F(T)}$	
	Equilíbrio				
	Excesso				
Subtotal		ΣD	ΣS	ΣT	

No caso da modelagem das funções DRIS (WADT et al., 2007), faz-se necessário diminuir o valor do fator de sensibilidade (fk), diminuindo-se assim o número de diagnósticos falsos para insuficiência.

10.2.3 Acurácia para equilíbrio nutricional (ACEQ)

Esta medida de acurácia indica o grau de acerto para os diagnósticos de equilíbrio nutricional: quando a acurácia para equilíbrio nutricional for elevada (próximo de 1), significa que a maioria dos diagnósticos para equilíbrio foram corretos e há um baixo número de diagnósticos falsos para insuficiência ou excesso. Por outro lado, se a acurácia para equilíbrio for baixa (próximo de 0), significa que houve muitos diagnósticos falsos para insuficiência ou excesso.

Em termos do manejo da adubação, representa perda do potencial produtivo da lavoura (quando o falso diagnóstico não identificar corretamente a deficiência nutricional) ou impacto ambiental indesejável pelo uso excessivo de nutrientes (quando o falso diagnóstico não identificar

corretamente a toxicidade nutricional).

A acurácia para equilíbrio calcula-se pela expressão (Tabela 5):

$$ACEq = [2 + (Eq_v / \sum S - [Eq_{F(D)} / \sum D + Eq_{F(T)} / \sum T]) / 3]$$

Em que:

ACEq = grau de diagnósticos verdadeiros para suficiência, na escala de 0 a 1;

Eq_v = contagem do número de diagnósticos verdadeiros para equilíbrio nutricional;

Eq_{F(D)} = contagem do número de diagnósticos falsos para equilíbrio em situações de reconhecida deficiência nutricional;

Eq_{F(T)} = contagem do número de diagnósticos falsos para equilíbrio em situações de reconhecida toxicidade nutricional;

$\sum D$ = total de casos de deficiência nutricional;

$\sum S$ = total de casos de suficiência nutricional, e

$\sum T$ = total de casos de toxicidade nutricional.

No caso da fórmula proposta por Wadt et al. (2007), faz-se necessário aumentar o valor do fator de sensibilidade (fk), diminuindo-se assim o número de diagnósticos falsos de suficiência para plantas com reconhecida deficiência ou excesso nutricional.

Tabela 5 - Variáveis utilizadas para a mensuração da acurácia para equilíbrio nutricional.

Contagem de casos	Estado nutricional fisiológico			Subtotal
	Deficiência	Suficiência	Toxicidade	
	Insuficiência			
Diagnóstico nutricional	Equilíbrio	Eq _{F(D)}	Eq _v	Eq _{F(T)}
	Excesso			
Subtotal	$\sum D$	$\sum S$	$\sum T$	

10.2.4 Acurácia para excesso nutricional (ACEX)

Esta é uma medida semelhante à acurácia para insuficiência, avaliando,

todavia, o grau de acerto para os diagnósticos de excesso nutricional: quando a acurácia para excesso nutricional for elevada (próximo de 1), significa que a maioria dos diagnósticos para excesso foram corretos e há um baixo número de diagnósticos falsos. Por outro lado, se a acurácia para excesso for baixa (próximo de 0), significa que houve muitos diagnósticos falsos para excesso.

A acurácia para excesso nutricional calcula-se pela expressão (Tabela 6):

$$ACEx = [2 + (Ex_v/\sum T - [Ex_{F(S)}/\sum S + Ex_{F(D)}/\sum D])]/3$$

Em que:

ACEx = grau de diagnósticos verdadeiros para excesso, na escala de 0 a 1;

Ex_v = contagem do número de diagnósticos verdadeiros para excesso nutricional;

Ex_{F(D)} = contagem do número de diagnósticos falsos para excesso em situações de reconhecida deficiência nutricional;

Ex_{F(S)} = contagem do número de diagnósticos falsos para excesso em situações de reconhecida suficiência nutricional;

$\sum D$ = total de casos de deficiência nutricional;

$\sum S$ = total de casos de suficiência nutricional, e

$\sum T$ = total de casos de toxicidade nutricional.

Tabela 6 - Variáveis utilizadas para a mensuração da acurácia para excesso nutricional.

Contagem de casos	Estado nutricional fisiológico			Subtotal
	Deficiência	Suficiência	Toxicidade	
Diagnóstico nutricional	Insuficiência			
	Equilíbrio			
	Excesso	Ex _{F(D)}	Ex _{F(S)}	Ex _v
Subtotal	$\sum D$	$\sum S$	$\sum T$	

No caso da fórmula proposta por Wadt et al. (2007), faz-se necessário diminuir o valor do fator de sensibilidade (f_k), diminuindo-se assim o número de diagnósticos falsos para excesso em casos de reconhecida suficiência.

10.2.5 Acurácia para deficiência nutricional (ACD)

Esta medida de acurácia representa uma estimativa da eficiência do diagnóstico de deficiências nutricionais. Se a acurácia para deficiência for elevada (próximo de 1), significa que a maioria das plantas com deficiência nutricional está sendo corretamente identificada. Por outro lado, se a acurácia de deficiências for baixa (próximo de 0), significa que há muitas plantas deficientes sendo interpretadas como estando não deficientes.

A acurácia para deficiência calcula-se pela expressão (Tabela 7):

$$ACD = [2 + (I_v/\sum I - [Eq_{F(D)}/\sum Eq + Ex_{F(D)}/\sum Ex])]/3$$

Em que:

ACD = grau de diagnósticos verdadeiros para deficiência, na escala de 0 a 1;
 I_v = contagem do número de diagnósticos verdadeiros para insuficiência nutricional;

$Eq_{F(D)}$ = contagem do número de diagnósticos falsos para equilíbrio em plantas com deficiência nutricional;

$Ex_{F(D)}$ = contagem do número de diagnósticos falsos para excesso em plantas com deficiência nutricional;

$\sum I$ = total de diagnósticos para insuficiência nutricional;

$\sum Eq$ = total de diagnósticos para equilíbrio nutricional, e

$\sum Ex$ = total de diagnósticos para excesso nutricional.

Tabela 7 - Variáveis utilizadas para a mensuração da acurácia para deficiência nutricional.

Contagem de casos		Estado nutricional fisiológico			Subtotal
		Deficiência	Suficiência	Toxicidade	
Diagnóstico nutricional	Insuficiência	I_v			$\sum I$
	Equilíbrio	$Eq_{F(D)}$			$\sum Eq$
	Excesso	$Ex_{F(D)}$			$\sum Ex$
Subtotal					

No manejo da adubação, uma baixa eficiência para o diagnóstico de deficiências nutricionais pode significar recomendação de adubação abaixo da real necessidade das culturas; portanto, para a modelagem das funções DRIS, deve-se aumentar o fator k , diminuindo-se o caso de falsos diagnósticos para equilíbrio ou excesso em casos de reconhecida deficiência nutricional.

10.2.6 Acurácia para suficiência (ECS)

Esta medida de acurácia representa uma estimativa da eficiência do diagnóstico de deficiências nutricionais. Se a acurácia para suficiência for elevada (próximo de 1), significa que a maioria das plantas com suficiência nutricional está sendo corretamente identificada. Por outro lado, se a acurácia de suficiência for baixa (próximo de 0), significa que há muitas plantas suficientes sendo interpretadas como estando insuficientes ou em excesso.

A acurácia para suficiência calcula-se pela expressão (Tabela 8):

$$ECS = [2 + (Eq_v / \sum Eq - [I_{F(S)} / \sum I + Ex_{F(S)} / \sum Ex]) / 3]$$

Em que:

ECS = grau de diagnósticos verdadeiros para suficiência, na escala de 0 a 1;

Eq_v = contagem do número de diagnósticos verdadeiros para equilíbrio nutricional;

$I_{F(S)}$ = contagem do número de diagnósticos falsos para insuficiência em plantas com suficiência nutricional;

$Ex_{F(S)}$ = contagem do número de diagnósticos falsos para excesso em plantas com suficiência nutricional;

$\sum I$ = total de diagnósticos para insuficiência nutricional;

$\sum Eq$ = total de diagnósticos para equilíbrio nutricional, e

$\sum Ex$ = total de diagnósticos para excesso nutricional.

Tabela 8 - Variáveis utilizadas para a mensuração da acurácia para suficiência nutricional.

Contagem de casos		Estado nutricional fisiológico			Subtotal
		Deficiência	Suficiência	Toxicidade	
Diagnóstico nutricional	Insuficiência		$I_{F(S)}$		$\sum I$
	Equilíbrio		Eq_v		$\sum Eq$
	Excesso		$Ex_{F(S)}$		$\sum Ex$
Subtotal					

No manejo da adubação, uma baixa eficiência para o diagnóstico de suficiência nutricional pode significar recomendação de adubação acima da real necessidade das culturas; portanto, para a modelagem das funções DRIS, deve-se diminuir o fator k, diminuindo-se o caso de falsos diagnósticos para insuficiência ou excesso em casos de reconhecida suficiência nutricional.

10.2.7 Acurácia para toxicidade nutricional (ACT)

Esta medida de acurácia representa uma estimativa da eficiência do diagnóstico de toxicidades nutricionais. Se a acurácia para toxicidade for elevada (próximo de 1), significa que a maioria das plantas com toxicidade ou excesso nutricional está sendo corretamente identificada. Por outro lado, se a acurácia de toxicidade for baixa (próximo de 0), significa que há muitas plantas com excesso de nutrientes sendo interpretadas como estando suficientes.

A acurácia para toxicidade calcula-se pela expressão (Tabela 9):

$$ACT = [2 + (Ex_v / \sum Ex - [I_{F(T)} / \sum I + Eq_{F(T)} / \sum Eq])] / 3$$

Em que:

ACT = grau de diagnósticos verdadeiros para toxicidade, na escala de 0 a 1;

Ex_v = contagem do número de diagnósticos verdadeiros para excesso nutricional;

$I_{F(T)}$ = contagem do número de diagnósticos falsos para insuficiência em plantas com toxicidade nutricional;

$Eq_{F(T)}$ = contagem do número de diagnósticos falsos para equilíbrio

em plantas com toxicidade nutricional;

ΣI = total de diagnósticos para insuficiência nutricional;

ΣEq = total de diagnósticos para equilíbrio nutricional, e

ΣEx = total de diagnósticos para excesso nutricional.

Tabela 9 - Variáveis utilizadas para a mensuração da acurácia para toxicidade nutricional.

Contagem de casos		Estado nutricional fisiológico			Subtotal
		Deficiência	Suficiência	Toxicidade	
Diagnóstico nutricional	Insuficiência			$I_{F(T)}$	ΣI
	Equilíbrio			$Eq_{F(T)}$	ΣEq
	Excesso			Ex_v	ΣEx
Subtotal					

No manejo da adubação, uma baixa eficiência para o diagnóstico de toxicidade nutricional pode significar recomendação de adubação acima da necessidade das culturas; portanto, para a modelagem das funções DRIS, deve-se aumentar o fator k , diminuindo-se o caso de falsos diagnósticos para equilíbrio nutricional em casos de reconhecida toxicidade nutricional.

10.3 Modelagem das fórmulas DRIS

A modelagem das funções DRIS foi um processo cujo desenvolvimento se baseou no trabalho de Maia (1999), o qual demonstrou que a fórmula original do sistema DRIS apresentava um fator de ajuste que tinha como resultado superestimar as deficiências nutricionais quando o valor da relação nutricional da amostra estivesse abaixo da média da mesma relação na população de referência.

Diante desta premissa, Wadt et al. (2007) propuseram que estes ajustes poderiam ser aplicados a outras situações, podendo as funções DRIS serem ajustadas para situações como subestimar deficiência, superestimar excesso ou subestimar o excesso. Além disto, conforme já havia sido sugerido por Maia (1999), foi também adotada a possibilidade de se utilizar a constante k , utilizada como um fator de escala nas fórmulas DRIS tradicionais, porém adotada como variável de ajuste para as funções DRIS.

Dentro desta contextualização, foram propostas novas fórmulas para o cálculo das funções DRIS (WADT et al., 2007), conforme o nutriente a ser avaliado. Estas funções DRIS são utilizadas no cálculo dos índices DRIS conforme a expressão:

$$I_{\text{nut}} = [f(A/B_1) + f(A/B_2) + \dots + f(A/B_n) + \dots - f(B_1/A) - f(B_2/A) - \dots - f(B_n/A)] / (2n).$$

As funções DRIS são:

- quando o elemento “A” for um macronutriente com resposta frequente à adubação (normalmente, os nutrientes N, P ou K), então:

$$f(A/B) = fk \times \{ [(A/B) - (a/b)] / \sigma_{(a/b)} \} \times [(a/b) / (A/B)]$$

- quando o elemento “A” for um macronutriente com resposta rara à adubação (normalmente, os nutrientes Ca, Mg ou S),

se $(A/B) < (a/b)$ e $(A/B) > (a/b)/2$, então:

$$f(A/B) = fk \times \{ [(A/B) - (a/b)] / \sigma_{(a/b)} \} \times [(A/B) / (a/b)]$$

se $(A/B) < (a/b)$ e $(A/B) \leq (a/b)/2$, então:

$$f(A/B) = fk \times \{ [(A/B) - (a/b)] / \sigma_{(a/b)} \}$$

se $(A/B) \geq (a/b)$, então:

$$f(A/B) = fk \times \{ [(A/B) - (a/b)] / \sigma_{(a/b)} \} \times [(a/b) / (A/B)]$$

- quando o elemento “A” for um micronutriente com resposta frequente à adubação (normalmente Zn ou B),

se $(A/B) < (a/b)$, então:

$$f(A/B) = fk \times \{ [(A/B) - (a/b)] / \sigma_{(a/b)} \}$$

se $(A/B) \geq (a/b)$, então:

$$f(A/B) = fk \times \{ [(A/B) - (a/b)] / \sigma_{(a/b)} \} \times [(A/B) / (a/b)]$$

- quando o elemento “A” for o micronutriente de resposta rara à adubação (normalmente o Fe, Mn ou Cu),

se $(A/B) < (a/b)$ e $(A/B) > (a/b)/2$, então:

$$f(A/B) = fk \times \{ [(A/B) - (a/b)] / \sigma_{(a/b)} \} \times [(A/B) / (a/b)]$$

se $(A/B) < (a/b)$ e $(A/B) \leq (a/b)/2$, então:

$$f(A/B) = fk \times \{ [(A/B) - (a/b)] / \sigma_{(a/b)} \}$$

se $(A/B) \geq (a/b)$, então:

$$f(A/B) = fk \times \{ [(A/B) - (a/b)] / \sigma_{(a/b)} \}$$

Em que:

I_{nut} : índice nutricional para o nutriente A;

$f(A/B)$: corresponde à função DRIS para dois nutrientes (A e B)

quaisquer;

n: correspondente ao número de nutrientes analisados;

B_1, B_2, B_n : corresponde aos nutrientes relacionados ao nutriente A;

(A/B): corresponde à relação entre os nutrientes A e B na amostra;

(a/b): corresponde à relação entre os nutrientes A e B na norma de referência;

$\sigma_{(a/b)}$: corresponde ao desvio-padrão da relação A e B na norma de referência, e

fk: corresponde ao fator de ajuste a ser aplicado a cada função DRIS; os valores adotados como padrão têm sido 2,0 para os macronutrientes de resposta frequente; 1,5 para os micronutrientes de resposta frequente; 1,0 para o micronutrientes de resposta frequente (exceto Cu) e 0,5 para os macronutrientes de resposta rara e para Cu.

Como as funções DRIS são definidas antecipadamente para cada nutriente, em função do tipo de resposta esperada para adubação de cada um destes elementos, a modelagem das funções DRIS é data, fundamentalmente, por variações no valor do fator k (fk).

Adicionalmente, para a interpretação dos valores dos índices DRIS, pode-se adotar o critério do potencial de reposta à adubação simplificada, o qual classifica o estado nutricional da planta para cada nutriente em insuficiente, equilibrado ou excessivo (WADT, 2005):

- Equilibrado: $|I_{nut}| < IBNm$;

- Insuficiente: $|I_{nut}| > IBNm$ e $I_{nut} < 0$, e

- Excesso: $|I_{nut}| > IBNm$ e $I_{nut} > 0$.

Assim, comparando-se cada diagnóstico nutricional com o verdadeiro estado nutricional das plantas, obtém-se a medida de acurácia dos diagnósticos obtidos por determinado método. Entretanto, se tiver sido utilizada a fórmula de Wadt et al. (2007), é possível, conhecida a acurácia dos diagnósticos para cada nutriente, realizar ajustes no fator k de cada função DRIS e para cada nutriente, calculando-se os índices DRIS pela nova fórmula modelada, refazendo-se a interpretação dos índices DRIS pelo método do potencial de reposta à adubação e, finalmente, obtendo-se nova estimativa para a acurácia, em interações sucessivas.

Os ajustes no fator k podem ser realizados a partir da determinação de cada uma das medidas de acurácia (Tabela 10).

Assim, a acurácia pode ser utilizada tanto como uma medida da utilidade dos diagnósticos nutricionais, como para modelar as funções DRIS e, assim, possibilitar uma melhoria da utilidade dos diagnósticos produzidos (Figura 1).

Tabela 10 - Ajustes no fator k (fk) para a modelagem das funções DRIS em função da acurácia dos diagnósticos alcançados pela interpretação dos índices DRIS, pelo método do Potencial de Resposta à Adubação.

Situação	Ajuste a ser realizado no Fator k (fk)	Problema relacionado ao manejo da adubação
$ACD < 0,7$ e $ACD < ACI$	Aumentar 1%	Grande número de diagnósticos falsos para deficiência, resultando em menores adubações que as realmente necessárias.
$ACI < 0,7$ e $ACI < ACD$	Diminuir 1%	Grande número de diagnósticos falsos para insuficiência, resultando em adubações desnecessárias.
$ACEq < 0,5$ e $ACEq < ACS$	Aumentar 1%	Grande número de diagnósticos falsos para equilíbrio nutricional, implicando a possibilidade de perda de rendimento devido tanto à falta como ao excesso de adubação.
$ACS < 0,5$ e $ACS < ACEq$	Diminuir 1%	Grande número de diagnósticos falsos para suficiência, implicando a possibilidade de perda de rendimento devido tanto a falta como ao excesso de adubação.
$ACEx < 0,4$ e $ACEx < ACT$	Diminuir 1%	Grande número de diagnósticos falsos para excesso, resultando em aumento dos nutrientes já fornecidos em quantidades excessivas.
$ACT < 0,4$ e $ACT < ACEx$	Aumentar 1%	Grande número de diagnósticos falsos para toxicidade, resultando em diminuição dos nutrientes fornecidos em quantidades adequadas ou equilibradas
Nenhuma das anteriores	Manter o mesmo valor	

de 67% a 97% de acerto na identificação das deficiências nutricionais, com B sendo o nutriente que apresentou melhor desempenho em praticamente todas as medidas de acurácia.

Por outro lado, a fórmula de Wadt et al. (2007) mostrou um desempenho variável, dependendo do nutriente avaliado; por exemplo, foi superior para fósforo, porém inferior para nitrogênio, principalmente em relação à acurácia para deficiência, que consiste na primeira medida de utilidade que deve ser verificada (Tabela 10). Entretanto, como esta fórmula pode ser modelada por meio de cálculos iterativos, observa-se que, após 100 interações, a acurácia de deficiência e insuficiência de N torna-se superior mesmo à fórmula de Jones, que havia apresentado o melhor desempenho inicial (Tabela 13).

Tabela 11 - Valores de acurácia para diagnósticos nutricionais de mangueiras cultivadas no perímetro irrigado do semiárido nordestino, obtidos pelo método DRIS, usando-se a fórmula de Jones, considerando-se o estado nutricional determinado pelo método do nível crítico como referência.

Nutriente	Global	Deficiência	Suficiência	Toxicidade	Insuficiência	Equilíbrio	Excesso
N	0,55	0,75	0,57	0,60	0,79	0,58	0,74
P	0,89	0,67	0,45	0,78	0,94	0,89	0,95
K	0,76	0,67	0,50	0,84	0,94	0,76	0,82
Ca	0,70	0,87	0,56	0,69	0,80	0,70	0,89
Mg	0,68	0,85	0,52	0,67	0,77	0,68	0,91
B	0,88	0,97	0,86	0,89	0,98	0,88	0,90
Zn	0,72	0,80	0,66	0,87	0,87	0,72	0,86
Fe	0,86	0,72	0,54	0,82	0,92	0,86	0,93
Mn	0,44	0,68	0,54	0,47	0,63	0,48	0,77
Cu	0,69	0,67	0,56	0,89	0,76	0,69	0,94

Tabela 12 - Valores de acurácia para diagnósticos nutricionais de mangueiras cultivadas no perímetro irrigado do semiárido nordestino, obtidos pelo método DRIS, usando-se a fórmula de Wadt et al. (2007) com valores-padrão para fk , considerando-se o estado nutricional determinado pelo método do nível crítico como referência.

Nutriente	Global	Deficiência	Suficiência	Toxicidade	Insuficiência	Equilíbrio	Excesso
N	0,37	0,69	0,59	0,45	0,50	0,55	0,69
P	0,67	1,00	0,69	0,69	1,00	0,67	0,67
K	0,75	0,67	0,47	0,80	0,96	0,75	0,79
Ca	0,33	0,86	0,86	1,00	0,67	0,33	0,67
Mg	0,66	0,88	0,55	0,67	0,67	0,66	1,00
B	0,48	0,87	0,77	0,90	0,80	0,48	0,68
Zn	0,52	0,75	0,67	0,76	0,76	0,58	0,69
Fe	0,45	0,68	0,62	0,93	0,78	0,45	0,67
Mn	0,33	0,68	0,57	0,44	0,61	0,39	0,67
Cu	0,67	1,00	0,86	0,86	1,00	0,67	0,67

É importante anotar que, durante a modelagem, os valores do fator k (fk) para cada nutriente vão sendo alterados, visando a adequar o diagnóstico ao estado nutricional considerado verdadeiro (Tabela 13). Assim, no exemplo, enquanto o fator de fk para P se manteve constante, dada a elevada acurácia observada para o diagnóstico deste nutriente, o valor fk para N foi diminuindo, visando a diminuir o número de diagnósticos falsos para insuficiência, em situações de reconhecida suficiente ou toxicidade, e o valor de fk para K foi aumentando, neste caso, visando a compensar a baixa acurácia para deficiência observada para este elemento (menor que 0,70).

Tabela 13 - Valores de acurácia para diagnósticos nutricionais de mangueiras cultivadas no perímetro irrigado do semiárido nordestino, obtidos pelo método DRIS, usando-se a fórmula de Wadt et al. (2007) após 100 interações, considerando-se o estado nutricional determinado pelo método do nível crítico como referência.

Nutriente	Global	Deficiência	Suficiência	Toxicidade	Insuficiência	Equilíbrio	Excesso	FK
N	0,34	0,68	0,62	0,53	0,64	0,36	0,68	0,72
P	0,67	1,00	0,69	0,69	1,00	0,67	0,67	2,00
K	0,72	0,67	0,46	0,78	0,87	0,73	0,84	5,51
Ca	0,33	0,86	0,86	1,00	0,67	0,33	0,67	0,18
Mg	0,67	0,89	0,89	1,00	0,67	0,67	1,00	0,18
B	0,49	0,78	0,69	0,87	0,77	0,50	0,70	2,00
Zn	0,51	0,75	0,65	0,76	0,75	0,57	0,69	1,50
Fe	0,43	0,68	0,60	0,90	0,71	0,49	0,67	1,25
Mn	0,37	0,69	0,49	0,53	0,68	0,38	0,67	1,14
Cu	0,67	1,00	0,86	0,86	1,00	0,67	0,67	0,50

Em termos práticos, maior acurácia representa maior segurança na tomada de decisões em programas de recomendação de adubação, evitando tanto desequilíbrios por excesso, como, principalmente, melhor garantia de identificação das lavouras deficientes e, portanto, mais dependentes de correções nas quantidades de nutrientes fornecidas.

10.4 Conclusões

A adoção de medidas de acurácia para a avaliação da utilidade dos diagnósticos nutricionais produzidos por diferentes fórmulas DRIS torna possível escolher, de forma objetiva, o método DRIS (com todas as variações possíveis) mais adequado para uso comercial, reduzindo o risco

de diagnósticos falsos a um mínimo aceitável.

As medidas de acurácia também fornecem um meio eficaz para modelar as funções DRIS, melhorando a utilidade dos diagnósticos nutricionais.

10.5 Agradecimentos

Ao CNPq, pelos recursos aportados pelo Edital Universal (Processo 470763/2007-8) e CT-Agro (Processo 574583/2008-4).

Aos organizadores do evento e, especialmente, ao professor Victor Hugo Alvarez V., equatoriano de alma brasileira, que tanto contribui para o desenvolvimento da ciência do solo e incentiva o desenvolvimento do sistema DRIS há várias décadas.

10.6 Literatura citada

- 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, p.1.431-1.447, 1993.
- BEVERLY, R.B. Prescient diagnostic analysis shows sufficiency range approach superior to DRIS for Citrus. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.23, p.2.641-2.649, 1992.
- BEVERLY, R.B.; HALLMALK, W.B. Prescient diagnostic analysis: a proposed new approach to evaluating plant nutrient diagnostic methods. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.23, p.2.633-2.640, 1992.
- JONES, W.W. 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.
- MAIA, C.E. Análise crítica da fórmula original de Beaufils no cálculo dos índices DRIS: a constante de sensibilidade. In: WADT, P.G.S.; MALAVOLTA, E. (Ed.). **Monitoramento nutricional para a recomendação de adubação para as culturas**. POTAFÓS, 1999. 17p. (CD-ROM).
- QUAGGIO, J.A. Adubação e calagem para a mangueira e qualidade dos frutos. In: SÃO JOSÉ, A.R.; SOUZA, I.V.B.; MARTINS FILHO, J.; MORAIS, O.M. (Ed.). **Manga, tecnologia de produção e mercado**. DBZ/UESB, 1996. p.106-135.

- PARTELLI, F.L.; VIEIRA, H.D.; MONNERAT, P.H.; VIANA, A.P. Comparação de dois métodos DRIS para o diagnóstico de deficiências nutricionais do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.301-306, 2006.
- WADT, P.G.S. Relationships between soil class and nutritional status of coffee crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.227-234, 2005.
- WADT, P.G.S.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BRAGANÇA, S.M. Alternativas da aplicação do DRIS à cultura de café conilon (*Coffea canephora* Pierre). **Scientia Agricola**, v.56, p.83-92, 1999.
- WADT, P.G.S.; SILVA, D.J. ; MAIA, C.E.; TOMÉ JUNIOR, 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.