

Capítulo 9

Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) no manejo da adubação de cafeeiros

*Paulo Guilherme Salvador Wadt
Jairo Rafael Machado Dias
Alaerto Luiz Marcolan*



Introdução

A moderna cafeicultura depende para o alcance de produtividades elevadas e economicamente competitivas de fatores como material genético de elevado potencial produtivo, do correto manejo fitossanitário e fitotécnico das lavouras e, também, de condições adequadas para a nutrição mineral das lavouras, o que se traduz na necessidade de introduzir alternativas tecnológicas de produção que conduzam a uma maior sustentabilidade econômica, social e ambiental (KHALAJABADI, 2008).

Neste aspecto, tem sido constante a preocupação com a renovação do parque cafeeiro, buscando alternativas, principalmente para redução de custos de produção e aumento da produtividade, onde o manejo da adubação tem um papel destacado neste desafio, como se observa na Colômbia (ARBOLEDA et al., 1988; ARIZALETA et al., 2002) e no Brasil, com destaque para o Estado de São Paulo (BATAGLIA et al., 2004) e de Minas Gerais (BARBOSA et al., 2006).

A importância do manejo da adubação decorre do cafeeiro apresentar elevadas taxas de exportação de nutrientes do solo, necessitando de uma adequada aplicação de nutrientes para alcançar produtividades elevadas (FARNEZI et al., 2009). Outro aspecto refere-se aos elevados preços dos fertilizantes que torna a avaliação do estado nutricional das lavouras uma prática essencial para prover recomendações de adubação mais balanceadas e de maior eficácia econômica (SILVA et al., 2011).

A principal ferramenta para o manejo das adubações consiste na determinação da capacidade do solo em fornecer os nutrientes à cultura o que é obtida pela análise química da fertilidade dos solos (PREZOTTI et al., 2007).

De 17 nutrientes essenciais (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Mo, Cl e B), excluindo-se os não minerais (C, H, O), a interpretação dos resultados de análises de solos para fins de recomendação de adubação está disponível em rotina laboratorial para dois nutrientes (P e K), uma vez que N e S apresentam dificuldades quanto à precisão dos valores indicados nos testes laboratoriais. Por sua vez, Ca e Mg são determinados principalmente para orientar na correção da acidez do solo e não para o fornecimento de nutrientes. Quanto aos micronutrientes, a interpretação dos resultados analíticos ainda é insipiente dada a falta de ensaios de calibração para a interpretação de seus teores (KHALAJABADI, 2008).

Outro fator é que o processo de absorção e extração de nutrientes no solo pela planta também está associado a fatores como luminosidade, umidade do solo, temperatura ou interações simbióticas com microrganismos, que podem afetar seu aproveitamento pela planta, e, portanto, reduzir a correlação entre a quantidade indicada como disponível no solo e aquela efetivamente absorvida pela lavoura.

Uma das alternativas eficientes tem sido a análise química das folhas de cafeeiros, uma ferramenta que vem sendo usada e aperfeiçoada para a determinação da necessidade de adubação (LANA et al., 2010). A escolha das folhas decorre do fato de ser neste órgão que ocorre a maior produção de fotossintatos e para onde é transportada a maior parte dos nutrientes absorvidos pelas plantas (MALAVOLTA et al., 1999).

A informação sobre o teor dos nutrientes nas folhas, em um determinado estágio fenológico da lavoura, possibilita que sejam utilizados diferentes procedimentos para a

interpretação do estado nutricional das plantas, sendo os mais utilizados: Nível Crítico, Faixas de Suficiência e o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (MARTINEZ et al., 2004; PARTELLI et al., 2007; PREZOTTI et al., 2007; KHALAJABADI, 2008).

Dentre estes métodos, o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS), desenvolvido por Beaufils (1973), tem se mostrado adequado na avaliação do estado nutricional de cafeeiros arábica e canéfora (ARBOLEDA et al., 1988; ARIZALETA et al., 2002; BARBOSA et al., 2006; PARTELLI et al., 2005, 2007; SILVA et al., 2011). O DRIS incorpora o conceito de balanço nutricional ou de equilíbrio entre os nutrientes no tecido vegetal, possibilitando o diagnóstico de uma lavoura com base em índices para cada nutriente (RODRIGUEZ; RODRIGUEZ, 2000).

Dado que este sistema possibilita a definição dos padrões nutricionais com base exclusivamente no monitoramento de lavouras comerciais, não requerendo necessariamente a utilização de ensaios de calibração, pode ser adotado como alternativa no processo de manejo das adubações, evitando-se a necessidade de ensaios por vários anos e assim encurtando o tempo necessário para a difusão da tecnologia. Isto é particularmente importante na adubação para novas lavouras cafeeiras da Amazônia, em especial, para o Estado de Rondônia que se destaca como segundo maior polo produtor de café canéfora do Brasil.

Este capítulo tem por objetivo apresentar o estado da arte da aplicação do DRIS em cafeeiros das espécies *Coffea arabica* (café arábica) e *C. canephora* (café canéfora), bem como disponibilizar normas DRIS para cafeeiros canéfora para o Estado de Rondônia, ilustrando sua utilização no manejo das adubações.

Aplicação do DRIS na avaliação do estado nutricional em cafeeiros

Dada a existência de textos teóricos sobre a metodologia DRIS (WADT; NOVAIS, 1999; WADT, 2008; WADT; LEMOS, 2010; WADT et al., 2011), além de inúmeras dissertações de mestrado e teses de doutorado, como também uma página na Wikipédia dedicada a explicar o método DRIS (WIKIPEDIA, 2012), será enfatizado apenas os aspectos mais práticos do DRIS em cafeeiros, sem fazer referência aos aspectos de obtenção de normas DRIS, seleção de funções ou de fórmulas DRIS e outros detalhes teóricos acerca desta técnica.

A aplicação do DRIS em cafeeiros tem sido feita com diferentes propósitos, dentre os quais incluem a avaliação do estado nutricional das lavouras cafeeiras, a comparação do DRIS com outras ferramentas de avaliação do estado nutricional, o uso do DRIS para a obtenção de padrões nutricionais próprios ou para os métodos convencionais (ARBOLEDA et al., 1988; PARTELLI et al., 2006a, 2006b; FARNEZI et al., 2009; LANA et al., 2010).

Os primeiros trabalhos com aplicação do DRIS em cafeeiros ocorreram na Colômbia, com café arábica (ARBOLEDA et al., 1988) e no Brasil, com cafeeiros canéfora cultivados no Espírito Santo (BRAGANÇA; ALVAREZ, 1990; LEITE, 1993).

Arboleda et al. (1988) testaram a aplicação do DRIS na avaliação do estado nutricional de experimentos com aplicação de NPK, em arranjo fatorial, conduzidos durante os anos

de 1966 a 1976 e concluíram que o DRIS foi sensível a alteração nos teores dos nutrientes nos cafeeiros e no aumento da produtividade. Neste trabalho, além de publicarem as primeiras normas DRIS para cafeeiros, os autores fizeram uma longa explanação sobre a utilização do método DRIS, em especial, quanto à interpretação dos resultados da análise foliar pelo DRIS.

Por sua vez, Bragança e Alvarez (1990) não chegaram a aplicar o DRIS em cafeeiros, mas elaboram um detalhado levantamento nutricional de lavouras cafeeiras em duas regiões geológicas do Espírito Santo (Barreiras e Cristalino) e apresentam os teores nutricionais foliares e dados de produtividade durante três anos. Estes dados foram utilizados por Leite (1993), que testou a utilização do DRIS em cafeeiros, comparando o diagnóstico das lavouras pelo DRIS com outros métodos, como Nível Crítico, Alimentação Global, Equilíbrio Fisiológico e Índices Balanceados de Kenworthy.

Embora a pesquisa com o uso do DRIS já tivesse iniciado em 1986 no Instituto Agrônomo de Campinas sob a liderança do Dr. Ondino Cleante Bataglia, o trabalho de Leite (1993) consolidou os primeiros resultados científicos sobre DRIS em cafeeiros, o qual conclui pela viabilidade da técnica para avaliação nutricional de lavouras.

Trabalhando com cafeeiros podados, Nick (1998) realizou importante contribuição para o desenvolvimento da aplicação do DRIS ao propor, avaliar e recomendar o critério do valor "r" para a seleção de funções DRIS entre sua forma de expressão direta e inversa. Este critério consiste no cálculo dos coeficientes de correlação (r) entre os valores de produtividade e a relação entre os pares de nutrientes, tanto na relação direta e inversa, sendo que a aquela relação que resultar no mais alto valor absoluto do coeficiente de correlação (r) deve ser selecionada (NICK, 1998). Essa técnica, embora não seja largamente utilizada para cafeeiros, tem sido adotada em diversas culturas, como pastagens e espécies frutíferas (MOURÃO FILHO et al., 2002; SILVEIRA et al., 2005; NACHTIGALL; DECHEN, 2007).

As lavouras cafeeiras monitoradas por Bragança e Alvarez (1990) foram avaliadas por diferentes fórmulas DRIS e com a utilização do teste F para a seleção das funções bivariadas. O diagnóstico do estado nutricional das lavouras foi consistente entre os métodos utilizados e, de forma geral, nas lavouras de baixa produtividade, P, K e Ca foram os nutrientes mais limitantes, nesta ordem (WADT et al., 1999). Nas lavouras de média produtividade, P, B e Ca foram os mais importantes, enquanto que, nas lavouras de alta produtividade, Mn, pelo método de Jones (1981) e Elwali e Gascho (1984), e S e P, pelo método de Rathfon e Burger (1991) foram os nutrientes que se apresentaram em um maior número de casos como os mais limitantes (WADT et al., 1999).

Esta tendência de maior frequência de deficiência de macronutrientes em lavouras de baixa produtividade e de micronutrientes nas lavouras de alta produtividade também tem sido observada para outras espécies frutíferas, como mangueiras (RAJ; RAO, 2005). Nestas lavouras, o DRIS também apontou que o manejo da adubação nitrogenada foi adequado, independentemente da produtividade das lavouras (WADT et al., 1999).

Barbosa et al. (2006) apontaram como mais limitantes por deficiência, em lavouras cafeeiras no norte fluminense, Ca, B, Zn e K, sem fazer referência à classe de produtividade em que estes nutrientes foram mais limitantes. Na região de Manhuaçu, Minas Gerais, Cu, S, K e Zn, foram os nutrientes que apresentaram maior limitação no período do verão ao utilizar o DRIS como método de diagnóstico (PARTELLI et al., 2007).



Na região do Alto Paranaíba, em Minas Gerais, os nutrientes P e Fe, seguidos pelo K e Mn, obtiveram maior ocorrência como mais limitantes por deficiência; todavia, o P, B, Fe, K e Mn foram os nutrientes com maior frequência apontados com alta probabilidade de resposta a adubação, pelo método do Potencial de Resposta a Adubação (LANA et al., 2010). Em lavouras de café arábica da região do Vale do Jequitinhonha, os nutrientes P, K, S, B, Cu, Mn e Zn foram encontrados com maior frequência como deficientes (FARNEZI et al., 2009).

Em cafeeiros canéfora cultivados sob sistemas orgânicos e convencionais foi observado que, nas lavouras em sistema orgânico, a principal causa da baixa produtividade pode estar relacionada ao desequilíbrio entre os nutrientes (PARTELLI et al., 2005), enquanto que nas lavouras convencionais outros fatores podem também ser responsáveis pela baixa produtividade.

Em relação aos nutrientes mais limitantes por deficiência, nas lavouras cultivadas em sistema orgânico, Mn, P, Fe e Cu foram os que ocorreram em maior frequência, enquanto nas lavouras comerciais, Mn, N e P foram os que ocorreram como mais limitantes por deficiência no maior número de lavouras (PARTELLI et al., 2005).

Comparando o estado nutricional de lavouras de duas variedades de café arábica (Catuai e Catucaí), foi constatado que os cafeeiros da variedade Catucaí apresentavam maior tendência de serem nutricionalmente desbalanceados, principalmente por excesso de Fe e Mn (SILVA et al., 2011).

Uma contribuição para o desenvolvimento da metodologia DRIS foi a análise do uso do teste F para a seleção das relações entre os nutrientes, onde se demonstrou que se selecionando as relações bivariadas com o teste F aumenta-se a amplitude dos valores do índice de balanço nutricional (IBN), melhorando a capacidade do DRIS em discriminar lavouras nutricionalmente balanceadas daquelas desbalanceadas (WADT et al., 1999).

Wadt et al. (1999) também discutem a inconsistência conceitual de se validar o DRIS com base em correlações entre IBN e produtividade das lavouras, dado que lavouras nutricionalmente equilibradas podem apresentar tanto altas quanto baixas produtividades. Por exemplo, lavouras nutricionalmente produtivas terão alta produtividade quando todos os fatores (nutricionais e não nutricionais) estiverem em condições não limitantes, mas podem ter baixa produtividade quando nutricionalmente equilibradas se algum fator não nutricional, como sazonalidade, doenças ou pragas, espaçamento ou condições climáticas estiver em condições limitantes. Ainda assim, alguns autores têm procurado estabelecer esta correlação, como por exemplo, Arizaleta et al. (2002) na avaliação de 1.122 amostras foliares de cafeeiros cultivados na Venezuela.

Neste sentido, também Silva et al. (2011) encontraram maior correlação espacial negativa entre o índice de balanço nutricional médio (IBNm) e a produtividade em lavouras da variedade Catuai e menor correlação espacial negativa em lavouras da variedade Catucaí. A correlação espacial negativa indica que o balanço nutricional nas lavouras varia com a distância entre amostras, e quanto mais equilibrada estiver a lavoura, maior a ocorrência de cafeeiros de maior produtividade, ou seja, quanto menor o IBN maior será a produtividade.

Comparando-se a combinação de dois métodos DRIS (matéria seca e convencional) com quatro critérios para a seleção das relações bivariadas para o cálculo dos índices DRIS, não se verificou diferenças entre os métodos na frequência com que os nutrientes são indicados como os mais limitantes por deficiência ou excesso (PARTELLI et al.,

2006a), sugerindo que os diferentes critérios apresentam comportamento semelhante. Diante desses resultados, os autores sugerem não ser necessária a seleção das relações bivariadas, bem como banco de dados de lavouras de baixa produtividade para que sejam definidas as relações nutricionais úteis para o diagnóstico nutricional.

O DRIS foi utilizado para o estabelecimento de níveis críticos foliares para nutrientes na região do Vale do Jequitinhonha (FARNEZI et al., 2009), cuja faixa de valores adequados (faixa ótima) foi inferior ao indicado na literatura para a maioria dos nutrientes. Os autores interpretaram este resultado como uma indicação da necessidade de se obter padrões nutricionais locais, seja quanto ao método convencional como em relação às normas DRIS, sugerindo que cada região cafeeira do Estado de Minas Gerais deva ter seu próprio conjunto de normas DRIS.

Partelli et al. (2006b) compararam o diagnóstico nutricional de lavouras cafeeiras em sistema convencional e em sistema orgânico a partir de conjunto de normas DRIS específicas para cada sistema de manejo, e encontraram que as normas específicas para um tipo de manejo (orgânico ou convencional) não deveriam ser aplicadas para lavouras conduzidas sob outro tipo de manejo, indicando a especificidade das normas DRIS. As normas DRIS convencionais e orgânicas diferiram entre si em 41% das relações bivariadas.

Entretanto, a representatividade da população de referência para o pomar a ser avaliado é fundamental no processo de diagnóstico e normas genéricas podem ter desempenho semelhante ou superior àqueles obtidos por normas específicas se houver representatividade nas normas quanto ao conjunto de lavouras a ser avaliado (WADT, 2005b; WADT; DIAS, 2012).

Estes resultados sugerem maior esforço em pesquisa para que se possa definir a necessidade ou não de normas DRIS específicas para cada condição de cultivo, apesar de que adotar normas específicas tem sido uma prática largamente aplicada em Minas Gerais (MARTINEZ et al., 2003, 2004).

Farnezi et al. (2010) verificaram, em lavouras de café arábica da região do Vale do Jequitinhonha, a existência de uma interação da produtividade e a qualidade da bebida de café com o estado nutricional do cafeeiro, de forma que o aumento do equilíbrio nutricional (redução do IBN) ocorre com aumento da produtividade e da qualidade da bebida. Por sua vez, Silva et al. (2003) ao avaliarem o efeito de doses crescentes de K de três diferentes fontes potássicas em cafeeiros arábica cultivados em São Sebastião do Paraíso e Patrocínio, em Minas Gerais, verificaram maior correlação negativa entre o IBN e a produtividade dos cafeeiros, e menor correlação negativa do IBN com a qualidade da bebida. Assim, o balanço nutricional mostrou-se mais promissor em melhorar a produtividade do que a qualidade da bebida, o que foi atribuído ao grande número de processos que afetam a qualidade do café.

Avaliando o estado nutricional de lavouras cafeeiras na região do Alto Paranaíba, Minas Gerais, Lana et al. (2010) relataram correlações positivas de N com P, K e S; de P com K, Mg e S; e K com Mg e S; e correlações negativas de N com Ca, B, Fe e Zn; de P com Ca, B, Fe, Mn e Zn e de K com Ca, B, Fe, Mn e Zn, ou seja, maior tendência de correlações positivas entre os três macronutrientes principais (N, P e K) com outros macronutrientes e correlações negativas dos macronutrientes principais com os micronutrientes. Este tipo de informação, uma vez confirmada em outras lavouras cafeeiras, amplia as possibilidades para o manejo das adubações, uma vez que se poderia, por exemplo, reequilibrar o balanço nutricional dos micronutrientes por meio de adubações de macronutrientes.



Maia (1999), decompondo as fórmulas DRIS de Beaufils (1973) e Jones (1981), propôs que a constante k (denominada de constante de sensibilidade) fosse ajustada de acordo com a categoria do nutriente quanto a sua responsividade às adubações. Bataglia et al. (2004) demonstraram o potencial da utilização deste procedimento, categorizando os nutrientes em não responsivos (Cu e Fe), mediamente responsivos (P, Ca, Mg e Mn) e responsivos (N, K, S, B e Zn), verificando que o ajuste do coeficiente de sensibilidade melhora o diagnóstico nutricional proporcionando uma maior correlação entre IBN e a produtividade do cafeeiro. Isto indica que o uso do DRIS ainda pode ser melhorado com ajustes na constante de sensibilidade, melhorando a capacidade preditiva do método na identificação dos nutrientes limitantes da produtividade (BATAGLIA et al., 2004).

Em geral, o sistema DRIS tem se mostrado adequado para avaliar a ordem de limitação nutricional e a dependência da produtividade das lavouras cafeeiras quanto à necessidade de melhoria do balanço de nutrientes para que se alcance altas produtividades (SILVA et al., 2011) e, possivelmente, também com efeitos positivos na qualidade da bebida (FARNEZI et al., 2010).

Normas DRIS preliminares para café canéfora cultivado no Estado de Rondônia

Para a obtenção das normas DRIS, foram amostrados 112 talhões cultivados com *Coffea canephora*, distribuídos em 62 propriedades rurais do Município de Nova Brasilândia d'Oeste, centro sul do Estado de Rondônia. A temperatura média anual na região de estudo situa-se em 25 °C e a precipitação média em 2.000 mm ano⁻¹ (RONDÔNIA, 2009). As lavouras amostradas apresentavam condições diferentes de manejo fitotécnico (espaçamento, podas e número de hastes ortotrópicas por cova), material genético e fertilidade do solo, todas as condições que afetam tanto a produtividade das lavouras como também o equilíbrio nutricional. Nenhuma das lavouras monitoradas apresentou histórico de uso de fertilizantes minerais ou correção do solo.

As amostragens foram realizadas nos meses de agosto e setembro de 2009, tomando-se ao acaso 50 plantas de cafeeiros, coletando-se, duas folhas por planta completamente expandidas, na posição do terceiro ou quarto par de folhas, a partir do ápice do ramo plagiotrópico, localizado na posição do terço mediano superior das plantas, no estágio fenológico de “grão chumbinho” (MALAVOLTA et al., 1993).

As folhas, após coleta, foram acondicionadas em sacos plásticos e imediatamente guardadas em caixa de isopor com gelo, provocando a rápida interrupção de seu metabolismo. Depois, essas foram retiradas dos sacos, secas e levadas ao laboratório.

No laboratório, nas amostras de folhas foram determinados os teores totais de N, P, K, Ca, Mg, Fe e Mn, sendo o N determinado por digestão micro-Kjeldahl em extrato sulfúrico e os demais nutrientes em extrato nitroperclórico (CARMO et al., 2000).

As normas DRIS foram obtidas para todas as relações entre os teores dos nutrientes analisados, conforme realizado por Barbosa et al. (2006) e Partelli et al. (2007) para cafeeiros arábica e por Partelli et al. (2006a, 2006b) para cafeeiros canéfora, calculando-se também os valores máximos e mínimos para cada relação bivariada. Por estas normas DRIS pode-se calcular os índices DRIS pelos métodos de Beaufils (1973), Jones (1981), Elwali e Gascho (1984), Rathfon e Burger (1991) e Wadt et al. (2007), utilizando-

se todas as formas de expressões das relações (por exemplo, N/P e P/N), ou apenas uma das formas de expressão da relação (N/P ou P/N) (Tabela 1).

Tabela 1. Normas DRIS bivariadas (média, desvio padrão, máximo e mínimo) para os nutrientes N, P, K, Ca, Mg (expressos em g kg⁻¹), Fe e Mn (expressos em mg kg⁻¹), obtidas a partir da amostragem de 112 lavouras de café canéfora no Município de Nova Brasilândia d'Oeste, Estado de Rondônia. Ano de 2009.

Norma	Média	Desvio padrão	Máximo	Mínimo
N	23,61	2,742	30,800	18,000
N/P	16,308	3,745	26,509	8,577
N/K	0,963	0,232	2,172	0,569
N/Ca	1,399	0,332	2,912	0,719
N/Mg	8,646	3,016	20,248	3,259
N/Fe	1,004	2,041	8,647	0,019
N/Mn	0,208	0,105	0,576	0,066
P/N	0,065	0,017	0,117	0,038
P	1,512	0,342	2,600	0,990
P/K	0,061	0,018	0,135	0,036
P/Ca	0,089	0,025	0,198	0,043
P/Mg	0,554	0,225	1,678	0,142
P/Fe	0,072	0,158	0,817	0,001
P/Mn	0,014	0,008	0,041	0,004
K/N	1,083	0,200	1,758	0,460
K/P	17,353	4,013	27,455	7,426
K	25,256	3,929	33,300	11,510
K/Ca	1,509	0,431	3,126	0,580
K/Mg	9,454	3,887	23,636	1,701
K/Fe	1,132	2,372	10,194	0,027
K/Mn	0,225	0,121	0,620	0,064
Ca/N	0,749	0,157	1,390	0,343
Ca/P	11,975	2,938	23,075	5,044
Ca/K	0,719	0,219	1,724	0,320
Ca	17,537	3,602	31,420	8,070
Ca/Mg	6,189	1,733	17,298	1,999
Ca/Fe	0,772	1,628	8,059	0,020
Ca/Mn	0,158	0,089	0,447	0,046
Mg/N	0,130	0,048	0,307	0,049
Mg/P	2,103	0,937	7,043	0,596
Mg/K	0,128	0,071	0,588	0,042
Mg/Ca	0,174	0,054	0,500	0,058
Mg	3,053	1,171	8,100	1,210
Mg/Fe	0,130	0,278	1,366	0,003
Mg/Mn	0,028	0,018	0,088	0,007
Fe/N	4,573	6,206	53,674	0,116
Fe/P	75,476	96,042	726,414	1,224
Fe/K	4,321	5,330	37,066	0,098
Fe/Ca	6,178	7,030	49,903	0,124
Fe/Mg	37,406	45,640	329,972	0,732
Fe	105,265	128,552	966,130	3,020
Fe/Mn	0,915	1,058	6,504	0,009
Mn/N	6,033	2,927	15,111	1,736
Mn/P	99,456	54,520	257,328	24,606
Mn/K	5,808	3,125	15,692	1,614
Mn/Ca	8,526	4,675	21,551	2,238
Mn/Mg	53,407	33,792	143,979	11,325
Mn/Fe	7,222	18,334	109,990	0,154
Mn	142,682	72,099	363,930	39,100

Fonte: Wadt e Dias (2012).

Foram também calculadas normas DRIS para relações bivariadas log-transformadas (BEVERLY; HALLMARK, 1992; WADT et al., 2011), as quais podem ser utilizadas nas fórmulas de Beaufils (1973), Jones (1981), Elwali e Gascho (1984) ou Wadt et al. (2007) (Tabela 2).

Tabela 2. Normas DRIS bivariadas log neperiano transformadas (média e desvio padrão) para os nutrientes N, P, K, Ca, Mg (expressos em g kg⁻¹), Fe e Mn (expressos em mg kg⁻¹), obtidas a partir da amostragem de 112 lavouras de café canéfora no Município de Nova Brasilândia d'Oeste, Estado de Rondônia. Ano de 2009.

Norma/relação	Média	Desvio padrão	Norma/relação	Média	Desvio padrão
N	3,155	0,116	Ca/Mg	1,788	0,266
N/P	2,764	0,242	Ca/Fe	-1,296	1,215
N/K	-0,060	0,203	Ca/Mn	-1,997	0,551
N/Ca	0,311	0,216	Mg/N	-2,100	0,343
N/Mg	2,100	0,343	Mg/P	0,664	0,391
N/Fe	-0,985	1,191	Mg/K	-2,160	0,434
N/Mn	-1,685	0,480	Mg/Ca	-1,788	0,266
P/N	-2,764	0,242	Mg	1,055	0,342
P	0,391	0,205	Mg/Fe	-3,084	1,226
P/K	-2,824	0,252	Mg/Mn	-3,785	0,632
P/Ca	-2,453	0,251	Fe/N	0,985	1,191
P/Mg	-0,664	0,391	Fe/P	3,749	1,265
P/Fe	-3,749	1,265	Fe/K	0,924	1,221
P/Mn	-4,449	0,563	Fe/Ca	1,296	1,215
K/N	0,060	0,203	Fe/Mg	3,084	1,226
K/P	2,824	0,252	Fe	4,140	1,198
K	3,215	0,174	Fe/Mn	-0,701	1,331
K/Ca	0,372	0,285	Mn/N	1,685	0,480
K/Mg	2,160	0,434	Mn/P	4,449	0,563
K/Fe	-0,924	1,221	Mn/K	1,625	0,523
K/Mn	-1,625	0,523	Mn/Ca	1,997	0,551
Ca/N	-0,311	0,216	Mn/Mg	3,785	0,632
Ca/P	2,453	0,251	Mn/Fe	0,701	1,331
Ca/K	-0,372	0,285	Mn	4,840	0,497
Ca	2,844	0,207			

Fonte: Wadt e Dias (2012).

Normas DRIS multivariadas, também denominadas normas para o método da Diagnose da Composição Nutricional (PARENT; DAFIR, 1992; PARENT; NATALE, 2008) foram disponibilizadas (Tabela 3), as quais podem ser utilizadas para o cálculo dos índices DRIS multivariados de relações log-centradas (PARENT, 2011).

Tabela 3. Normas DRIS multivariadas (média, desvio padrão e coeficiente de variação) para os nutrientes N, P, K, Ca, Mg e matéria seca (MS), expressos em dag kg⁻¹ e obtidas a partir da amostragem de 268 lavouras de café canéfora em Rondônia e Espírito Santo.

Parâmetro	N	P	K	Ca	Mg	MS
Média	0,395	-2,618	0,205	-0,196	-1,752	3,967
Desvio padrão	0,172	0,188	0,218	0,186	0,255	0,096
Coeficiente de variação	43,5	7,2	106,3	94,9	14,6	2,4

Fonte: Wadt e Dias (2012).

Cálculo dos índices DRIS

As normas DRIS disponibilizadas nas Tabelas 1 a 3 permitem o cálculo dos índices para os nutrientes N, P, K, Ca, Mg, Fe e Mn. Entretanto, por se tratarem de normas DRIS preliminares obtidas de lavouras de café canéfora sem adubação, recomenda-se neste

momento o cálculo dos índices DRIS apenas para os macronutrientes, potencialmente mais responsivos em situações sem utilização de fertilizantes (RAJ; RAO, 2006; WADT; SILVA, 2012).

Para o cálculo dos índices DRIS, recomenda-se a utilização da fórmula de Jones (1981), por ser simples e produzir diagnósticos semelhantes quando comparada as principais fórmulas DRIS (DIAS et al., 2011). Entretanto, quando se faz a opção pelas normas DRIS log-transformadas dá-se preferência apenas para relações diretas (Ex: N/P ou P/N) ou quando as normas forem oriundas de relações bivariadas sem a transformação logarítmica utilizam-se relações nutricionais da forma direta e inversa (Ex: N/P e P/N). Alternativamente, pode-se também obter o índice DRIS para relações multivariadas (PARENT; DAFIR, 1992).

A seguir, foi realizada uma demonstração do cálculo dos índices DRIS de N por estes três procedimentos indicados, utilizando-se normas DRIS para macronutrientes (Tabelas 1, 2 e 3). Para tanto, considera-se uma amostra foliar com as seguintes concentrações, todas em g kg⁻¹: N = 28,0; P = 1,6; K = 25,5; Ca = 28,1 e Mg = 4,8. As relações entre N e os demais nutrientes foram, na forma direta: N/P = 17,500; N/K = 1,098; N/Ca = 0,996; N/Mg = 5,833; e na forma inversa: P/N = 0,057, K/N = 0,911; Ca/N = 1,004 e Mg/N = 0,171.

Fórmula de Jones (1981) sem transformação logarítmica

O primeiro passo na determinação dos índices DRIS de um nutriente consiste no cálculo das funções das relações entre o nutriente em análise e os demais nutrientes, que são obtidos pela expressão:

$f(X/Y) = (X/Y - x/y)/s_{x/y}$, onde X/Y é a relação entre dois nutrientes quaisquer e, x/y e $s_{x/y}$ são a média e o desvio padrão na norma DRIS.

Assim, para N, as funções diretas: N/P; N/K; N/Ca; N/Mg e inversas: P/N; K/N; Ca/N; Mg/N podem ser calculadas:

Funções diretas	Funções inversas
$f(N/P): (17,500 - 16,308)/3,74545 = 0,3182$	$f(P/N): (0,057 - 0,065)/0,0169 = 0,4734$
$f(N/K): (1,098 - 0,963)/0,23191 = 0,5821$	$f(K/N): (0,911 - 1,083)/0,19994 = 0,8603$
$f(N/Ca): (0,996 - 1,399)/0,3321 = -1,2134$	$f(Ca/N): (1,004 - 0,749)/0,15656 = -1,6287$
$f(N/Mg): (5,833 - 8,646)/3,01593 = -0,9327$	$f(Mg/N): (0,171 - 0,130)/0,0476 = -0,8613$

Como os índices DRIS de um nutriente, neste caso o N, consiste na média aritmética das relações entre N e os demais nutrientes, obtêm-se o índice DRIS para N (IN) pela seguinte expressão:

$$IN = [f(N/P) + f(N/K) + f(N/Ca) + f(N/Mg) + f(P/N) + f(K/N) + f(Ca/N) + f(Mg/N)] / 8$$

Ou seja:

$$IN = [(0,3182)+(0,5821)+(-1,2134)+(-0,9327)+(0,4734)+(0,8603)+(-1,6287)+(-0,8613)]/8$$

Portanto, o índice DRIS para N é igual a -0,3. Ou seja, está insuficiente em relação ao valor normal ou equilibrado, que seria o valor 0 (zero). Em todas as fórmulas DRIS indicadas, à exceção da fórmula de Wadt et al. (2007), utiliza-se a constante de sensibilidade igual a 1. Em cafeeiros, apenas Bataglia et al. (2004) utilizaram a constante de sensibilidade como sendo uma variável em função da expectativa de resposta do

nutriente à adubação, sendo que todos os demais autores utilizam a constante de sensibilidade apenas como um fator de escala, e por este motivo, este valor foi omitido na fórmula de Jones acima apresentada.

O valor do índice DRIS de um único nutriente acrescenta pouca informação, dado que o valor é relativo e, portanto, deve ser avaliado em comparação aos índices DRIS dos demais nutrientes.

Dado que os cálculos necessários para a obtenção dos índices DRIS são relativamente complexos, é comum o uso de planilhas eletrônicas ou softwares para realizar essa tarefa, como neste trabalho que se utilizou para os índices DRIS de P, K, Ca e Mg o software www.dris.com.br (SISTEMA..., 2012), obtendo-se os índices: IP = -0,69; IK = -0,87; ICa = 1,13 e IMg = 0,72.

O ordenamento dos índices DRIS, do menor para o maior valor, define a ordem de limitação nutricional por insuficiência: IK (-0,87) < IP (-0,69) < IN (-0,30) < IMg (0,72) < ICa (1,13), ou de forma simplificada: K < P < N < Mg < Ca. Ou seja, para a amostra analisada, K foi o nutriente mais limitante por insuficiência, seguido por P e N. Mg e Ca estão em relativo excesso.

Fórmula de Jones (1981) com transformação logarítmica neperiana

Adotando-se o uso de transformação logarítmica neperiana, a alteração será o uso de relações log-transformadas para o cálculo das funções DRIS, e adotando-se a fórmula de Jones (1981), temos a expressão:

$f(X/Y) = [\text{LN}(X/Y) - \text{LN}(x/y)] / s_{\text{LN}(x/y)}$, onde LN(X/Y) é a relação log-transformada entre dois nutrientes quaisquer e LN(x/y) e $s_{\text{LN}(x/y)}$ são a média e o desvio padrão na norma DRIS log-transformada.

Embora, aparentemente mais difícil o cálculo, por exigir a transformação logarítmica das relações nutricionais, há enorme vantagem na utilização desta transformação, já que as formas diretas e inversas de uma mesma função (X/Y) resultam em valores iguais, no cálculo dos índices DRIS pode-se utilizar somente a forma direta para cada nutriente (WADT et al., 2011; WADT; SILVA, 2012).

Assim, para N, as funções diretas: N/P; N/K; N/Ca; N/Mg podem ser calculadas:

Funções diretas log transformadas	
$f(N/P): (2,862 - 2,764)/0,24172 = 0,406$	$f(N/Ca): (-0,004 - 0,311)/0,21557 = -1,461$
$f(N/K): (0,093 - (-0,0600))/0,20305 = 0,756$	$f(N/Mg): (1,764 - 2,1000)/0,34335 = -0,980$

Onde, para N, o índice DRIS (IN) pode ser calculado pela expressão: $IN = [f(N/P) + f(N/K) + f(N/Ca) + f(N/Mg)] / 4$

Ou seja, $IN: [(0,406)+(0,756)+(-1,461)+(-0,980)]/4 = -0,32$

Calculando-se os índices DRIS dos demais nutrientes pelo software www.dris.com.br, obtêm-se os índices: IP = -0,74; IK = -0,94; ICa = 1,17 e IMg = 0,82.

Da mesma forma, a ordem de limitação nutricional resultou em: IK (-0,94) < IP (-0,74) < IN (-0,32) < IMg (0,82) < ICa (1,17), ou de forma simplificada: K < P < N < Mg < Ca.

Fórmula de Parent e Dafir (1992) ou DRIS multivariadas

Para a utilização desta fórmula, deve-se inicialmente calcular o valor da matéria seca (também denominado de R ou complemento) e a média geométrica (G) dos nutrientes na amostra foliar, expressos em dag kg^{-1} : $R = 100 - (2,82 + 0,16 + 2,55 + 2,81 + 0,48) = 100 - 8,82 = 91,18$ e $G = (2,82 \times 0,16 \times 2,55 \times 2,81 \times 0,48 \times 91,18)^{(1/6)} = 2,2827$.

O próximo passo consiste em calcular a relação multivariada para cada nutriente, dada pela expressão $gX = \text{LN}(X/G)$, onde gX é a relação log neperiana do nutriente X dividido pela média geométrica dos teores dos nutrientes na amostra (G). Para N, temos: $gN = \text{LN}(2,82/2,28) = 0,213$. As relações multivariadas log centradas dos demais nutrientes são P (-2,657), K (0,112), Ca (0,209), K (-1,558) e R (3,689).

O índice DRIS de um nutriente é então calculado pela aplicação direta da fórmula de Jones (1981) para relação multivariada log-transformada entre o nutriente e sua média geométrica:

$$\text{IN} = \text{LN}(0,213 - 0,395)/0,172 = -1,06$$

Calculando-se os índices DRIS multivariados dos demais nutrientes pelo software www.dris.com.br, obtêm-se os índices: IP = -0,21; IK = -0,43; ICa = 2,18 e IMg = 0,76. Neste caso, a ordem de limitação nutricional seria: N < K < P < Mg < Ca. Pode-se também estimar o índice DRIS de matéria seca, que corresponde ao índice DRIS calculado para o valor R (IMS = -2,89), uma aproximação que deve ser avaliada com cautela pois incorpora todos os erros analíticos que podem ter ocorrido na análise foliar e também variações dos teores dos nutrientes não avaliados.

Portanto, comparativamente aos demais métodos, foi verificada uma alteração apenas na posição em que o N encontra-se em relação aos demais nutrientes, que passou do terceiro elemento na ordem de limitação para o mais limitante.

Wadt e Silva (2010) também encontraram elevada concordância entre os diagnósticos produzidos pelas fórmulas de Jones (1981) e de Parent e Dafir (1992), sugerindo que qualquer dessas fórmulas possa ser adotada no processo de avaliação do estado nutricional de lavouras, o que não significa, todavia, que todos os diagnósticos serão iguais entre si, como demonstrado no exemplo acima.

Índice de balanço nutricional

Além do índice DRIS dos nutrientes, há o índice de balanço nutricional (IBN), que avalia o estado nutricional geral da planta ou lavoura, o qual se calcula pelo somatório, em módulo, de todos os índices DRIS (BEAUFILS, 1973).

No exemplo acima, tem-se para a fórmula de Jones (1981), sem transformação logarítmica, o $\text{IBN} = |-0,30| + |-0,69| + |-0,87| + |1,13| + |0,72| = 3,71$.

O IBN calculado pela fórmula de Jones (1981) com transformação logarítmica neperiana seria: $|-0,32| + |-0,74| + |-0,94| + |1,17| + |0,82| = 3,99$. Pela fórmula de Parent e Dafir (1992), o IBN seria $\text{IBN} = |-1,06| + |-0,21| + |-0,43| + |2,18| + |0,76| = 4,64$.

Quanto mais próximo de zero, mais equilibrado será o estado nutricional das lavouras cafeeiras; entretanto, esta comparação somente se valida quando realizada com IBN

calculados pela mesma fórmula DRIS, já que diferenças nas unidades dos nutrientes, como entre a fórmula de Jones (1981) e Parent e Dafir (1992), ou no tratamento dos dados, como a adoção ou não da transformação logarítmica dos dados, afetam a magnitude dos resultados.

Dado que o número de nutrientes no cálculo do IBN pode mudar, variando de três nutrientes (N, P e K, por exemplo) até 13 nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Fe, Mn, Mo, Cu, Ni), Wadt (1996) sugeriu que fosse calculado o índice de balanço nutricional médio (IBNm), consistindo na média aritmética do módulo dos índices DRIS de todos os nutrientes avaliados. No exemplo, acima, o IBNm seria de 0,74; 0,80 e 0,93, respectivamente para as fórmulas de Jones (1981) sem transformação logarítmica, para a fórmula de Jones (1981) com transformação logarítmica neperiana e para a fórmula de Parent e Dafir (1992).

Interpretando os índices DRIS

Para interpretar o estado nutricional com base nos índices DRIS, considera-se o índice positivo ou negativo e a ordem de limitação dos nutrientes. Valores negativos indicam insuficiência e valores positivos indicam excesso e quanto mais próximo de zero for o valor do índice DRIS, melhor o equilíbrio nutricional (RODRIGUEZ; RODRIGUEZ, 2000).

Também como já demonstrado quando do cálculo dos índices DRIS pelas diferentes fórmulas, ordenando-se os índices DRIS de uma mesma amostra foliar em ordem crescente, é possível estabelecer a ordem de limitação, do mais limitante por insuficiência ao mais limitante por excesso.

Esta interpretação não permite, todavia, definir com exatidão e de forma objetiva quais nutrientes estão limitando a produtividade e quais estariam próximos do equilíbrio. Na década de 1980 alguns autores passaram a sugerir valores críticos para o índice DRIS (SCHUTZ; VILLIERS, 1987), um procedimento que deve ser evitado, uma vez que além destes índices serem relativos, dependem do padrão utilizado (norma), fórmula de cálculo e outras variações.

Hallmark et al. (1987) desenvolveram um procedimento baseado no índice DRIS de matéria seca para separar nutrientes limitantes daqueles não limitantes, que se passou a denominar de M-DRIS, ou DRIS da matéria seca. Este procedimento consiste em determinar o índice DRIS da matéria seca (IMS) e depois, comparar cada índice DRIS de nutrientes com o valor obtido para o IMS. Se o índice DRIS do nutriente for negativo e menor que o IMS, este é considerado limitante; nos demais casos, é considerado não limitante.

Mais tarde, o critério foi aprimorado, quando se passou a utilizar o IBNm para classificar os índices DRIS quanto ao estado nutricional das plantas, no método que passou a ser denominado de critério do Potencial de Resposta a Adubação (WADT, 1996; WADT, 2005b). Por este critério, os índices DRIS são classificados em cinco categorias, associadas a um determinado estado nutricional:

- a) Maior insuficiência, correspondendo à situação em que o nutriente apresenta alta probabilidade de resposta à correção da deficiência (resposta positiva: p). Nesta situação, o nutriente apresenta simultaneamente a condição de ser o nutriente com menor valor para o índice DRIS e, cujo módulo do índice DRIS seja maior que o índice de balanço nutricional médio (IBNm).

- b) Insuficiência moderada, correspondendo à situação em que o nutriente apresenta moderada probabilidade de resposta à correção da deficiência (resposta positiva ou nula: pz). Nesta situação, o nutriente deficiente não é o de menor índice DRIS, porém, o módulo do índice DRIS deste nutriente é maior que o IBNm.
- c) Equilibrado, corresponde à situação em que o nutriente apresenta-se nutricionalmente equilibrado (resposta nula: z), não requerendo mudança na sua disponibilidade para a planta avaliada. Nesta situação, o módulo do índice DRIS do nutriente em questão é menor que o IBNm.
- d) Excesso moderado, correspondendo à situação em que o nutriente apresenta moderada probabilidade de resposta à correção do excesso (resposta negativa ou nula: nz). Nesta situação, o nutriente em excesso não é o de maior índice DRIS, porém, o módulo do índice DRIS deste nutriente é maior que o IBNm.
- e) Maior excesso, correspondendo à situação em que o nutriente apresenta alta probabilidade de resposta à correção do excesso (resposta negativa: n). Nesta situação, o nutriente em excesso corresponde simultaneamente aquele com maior índice DRIS e cujo módulo do índice DRIS é maior que o IBNm.

Aplicando-se este critério nos índices DRIS calculados pela fórmula de Jones (1981) sem transformação logarítmica, onde $IBNm = 0,74$, temos:

N = equilibrado: $|-0,30| < IBNm$.

P = equilibrado: $|-0,69| < IBNm$.

K = maior insuficiência: $|-0,87| > IBNm$, sendo o índice DRIS de menor valor.

Ca = maior excesso: $|1,13| > IBNm$, sendo o índice DRIS de maior valor.

Mg = equilibrado: $|0,72| < IBNm$.

Interpretando-se os índices DRIS calculados pela fórmula de Jones (1981) com transformação logarítmica neperiana, se obtém o estado de maior insuficiência para K, equilíbrio nutricional para N e P; excesso moderado para Mg e maior excesso para Ca. Portanto, apenas em relação ao Mg há mudança na interpretação de seu estado nutricional (Tabela 4).

Com a fórmula de Parent e Dafir (1992), a interpretação para o estado nutricional é de maior insuficiência para N e maior excesso para Ca, estando os outros nutrientes da amostra foliar (P, K e Mg) nutricionalmente equilibrados (Tabela 4).

Tabela 4. Interpretação do estado nutricional da amostra foliar de uma lavoura de café canéfora com base nas fórmulas de Jones (1981) sem transformação logarítmica e com transformação logarítmica neperiana e na fórmula de Parent e Dafir (1992)

Fórmula adotada	Nutrientes segundo o estado nutricional		
	Insuficiência	Equilibrado	Excesso
Jones sem transformação	K	P, N, Mg	Ca
Jones com transformação	K	P, N, Mg	Ca
Parent e Dafir	N	K, P, Mg	Ca

Fonte: Parent e Dafir (1992).

Recomendação de adubação a partir da avaliação do estado nutricional

Um dos principais objetivos nas pesquisas com nutrição mineral de plantas está no aumento da produtividade por meio de um manejo da adubação mais eficiente, em que

a avaliação do estado nutricional é uma das principais ferramentas para determinar os nutrientes com maior impacto na limitação da produtividade (MOURÃO FILHO, 2004; PARENT, 2011) e, assim, tomar as medidas corretivas necessárias para o aumento da produtividade ou mesmo da qualidade da bebida de café (FARNEZI et al., 2010).

O DRIS foi desenvolvido com este propósito – manejo das adubações, porém, pouco tem sido realizado dentro desta óptica (WADT, 2011). O método do Potencial de Resposta a Adubação foi originalmente proposto para servir como guia no processo de recomendação de adubação (WADT, 1996) e foi indicado oficialmente pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (MARTINEZ, 1999). Anos depois foi incorporado na recomendação de adubação de várias culturas no Acre, inclusive cafeeiro (WADT, 2005a), por intermédio da proposição da prática de monitoramento nutricional de lavouras comerciais (WADT; ALVAREZ, 2005). Recentemente, vem sendo recomendada em outras culturas e regiões do país, como para mangueiras cultivadas no perímetro irrigado do Vale do São Francisco, no Semiárido Nordeste (SILVA et al., 2012) e para cupuaçueiro em Rondônia (WADT et al., 2012).

Em síntese, na construção de tabelas de recomendação de adubação considera-se a capacidade do solo em fornecer determinado nutriente e a demanda da planta para atingir determinado nível de produtividade (WADT et al., 2012). 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. Para tanto, foram consideradas três classes quanto ao estado nutricional: insuficiência (que engloba também a classe de maior insuficiência), equilibrado e excesso (que engloba também a classe de maior excesso).

Como exemplo temos as tabelas de recomendação de N, P e K para fase de produção de cafeeiros canéfora adaptadas com base na tabela de recomendação apresentada no capítulo 8 deste livro, onde além do estado nutricional considera-se, para recomendação de adubação para nitrogênio a produtividade esperada da lavoura (Tabela 5), para a recomendação da adubação fosfatada (Tabela 6) e potássica (Tabela 7), além da produtividade esperada o teor de P disponível e de K trocável no solo, respectivamente.

Tabela 5. Recomendação de adubação nitrogenada em kg N ha⁻¹ para cafeeiro canéfora, em função da produtividade média (PM) das lavouras e do estado nutricional.

Produtividade esperada, sacas ha ⁻¹	Dose de N, em kg ha ⁻¹ , em função do estado nutricional		
	Excesso	Equilibrado	Insuficiência
20-30	120	150	180
30-40	150	180	210
40-50	180	210	240
50-60	210	240	270
60-70	240	270	300
70-80	270	300	330
80-90	300	330	360
90-100	330	360	390
100-110	360	390	420
110-120	390	420	450
120-130	420	450	480
130-140	450	480	510
140-150	480	510	540

Fonte: Dados adaptados do capítulo 8 deste livro.

A inclusão da avaliação do estado nutricional na recomendação de adubação NPK (Tabelas 5, 6 e 7), em cada patamar de produtividade, é feita pelo ajuste da recomendação em função do critério do Potencial de Resposta à Adubação (PRA). O estado de insuficiência é considerado como tendo um potencial de resposta positiva ao aumento da dose de adubação (recomendando-se o aumento da dose a ser aplicada), o estado de equilibrado é considerado como potencial de resposta nulo à alteração da adubação (recomendando-se a manutenção da dose a ser aplicada) e o estado de excesso é considerado como tendo potencial de resposta negativo com o aumento da adubação (recomendando-se a redução da dose a ser aplicada).

Tabela 6. Recomendação de adubação fosfatada em kg P₂O₅ ha⁻¹ para cafeeiro canéfora, em função da produtividade média (PM) das lavouras, do teor de P disponível no solo e do estado nutricional.

Produtividade esperada, sacas ha ⁻¹	Estado nutricional	P Melich-1 (mg dm ⁻³)		
		<10	10 a 20	> 20
20-30	Excesso	30	20	0
	Equilibrado	40	20	0
	Insuficiência	50	30	0
30-40	Excesso	40	20	0
	Equilibrado	50	30	0
	Insuficiência	60	40	20
40-50	Excesso	50	30	0
	Equilibrado	60	40	20
	Insuficiência	70	50	30
50-60	Excesso	60	40	20
	Equilibrado	70	50	30
	Insuficiência	80	60	40
60-70	Excesso	70	50	30
	Equilibrado	80	60	40
	Insuficiência	90	70	50
70-80	Excesso	80	60	40
	Equilibrado	90	70	50
	Insuficiência	100	80	60
80-90	Excesso	90	70	50
	Equilibrado	100	80	60
	Insuficiência	110	90	70
90-100	Excesso	100	80	60
	Equilibrado	110	90	70
	Insuficiência	120	100	80
100-110	Excesso	110	90	70
	Equilibrado	120	100	80
	Insuficiência	130	110	90
110-120	Excesso	120	100	80
	Equilibrado	130	110	90
	Insuficiência	140	120	100
120-130	Excesso	130	110	90
	Equilibrado	140	120	100
	Insuficiência	150	130	110
130-140	Excesso	140	120	100
	Equilibrado	150	130	110
	Insuficiência	160	140	120
140-150	Excesso	150	130	110
	Equilibrado	160	140	120
	Insuficiência	170	150	130

Fonte: Dados adaptados do capítulo 8 deste livro.

Tabela 7. Recomendação de adubação potássica em kg K₂O ha⁻¹ para cafeeiro canéfora, em função da produtividade média (PM) das lavouras, do teor de K trocável no solo e do estado nutricional.

Produtividade esperada, sacas ha ⁻¹	Estado nutricional	K trocável (mmol _c dm ⁻³)		
		<1,5	1,5-3,0	>3,0
20-30	Excesso	90	60	30
	Equilibrado	120	80	40
	Insuficiência	150	100	50
30-40	Excesso	120	80	40
	Equilibrado	150	100	50
	Insuficiência	180	120	60
40-50	Excesso	150	100	50
	Equilibrado	180	120	60
	Insuficiência	210	140	70
50-60	Excesso	180	120	60
	Equilibrado	210	140	70
	Insuficiência	240	160	80
60-70	Excesso	210	140	70
	Equilibrado	240	160	80
	Insuficiência	270	180	90
70-80	Excesso	240	160	80
	Equilibrado	270	180	90
	Insuficiência	300	200	100
80-90	Excesso	270	180	90
	Equilibrado	300	200	100
	Insuficiência	330	220	110
90-100	Excesso	300	200	100
	Equilibrado	330	220	110
	Insuficiência	360	240	120
100-110	Excesso	330	220	110
	Equilibrado	360	240	120
	Insuficiência	390	260	130
110-120	Excesso	360	240	120
	Equilibrado	390	260	130
	Insuficiência	420	280	140
120-130	Excesso	390	260	130
	Equilibrado	420	280	140
	Insuficiência	450	300	150
130-140	Excesso	420	280	140
	Equilibrado	450	300	150
	Insuficiência	480	320	160
140-150	Excesso	450	300	150
	Equilibrado	480	320	160
	Insuficiência	510	350	190

Fonte: Dados adaptados do capítulo 8 deste livro.

Como exemplo, considerando-se a interpretação do estado nutricional determinado pela fórmula de Jones, e ainda que a lavoura apresente, na análise de fertilidade do solo, uma disponibilidade de P de 5 mg dm⁻³ e teor de K de 2 mmol_c dm⁻³ e a produtividade de 45 sacas ha⁻¹ de café beneficiado, tem-se que:

- a) N e P foram considerados em equilíbrio;
- b) K foi considerado insuficiente.

Na Tabela 5, para produtividade de 40 a 50 sacas ha⁻¹ e N equilibrado, a dose de N a ser aplicada é de 210 kg ha⁻¹.

Na Tabela 6, para a produtividade de 40 a 50 sacas ha⁻¹ e P equilibrado, a dose de P₂O₅ a ser aplicada é de 60 kg ha⁻¹.

Na Tabela 7, para a produtividade de 40 a 50 sacas ha⁻¹ e K insuficiente, a dose de K₂O a ser aplicada é de 140 kg ha⁻¹.

Portanto, como se verifica nos exemplos, pelo fato da lavoura estar equilibrada para N e P, a adubação mantém-se a mesma que seria indicada se não houvesse sido realizada a análise foliar. Entretanto, a insuficiência de K indica que a dose a ser aplicada deve ser aumentada, no caso, passando de 120 para 140 kg ha⁻¹.

Considerações finais

O DRIS vem sendo utilizado na avaliação do estado nutricional de cafeeiros arábica e canéfora como uma ferramenta para o aumento da produtividade, de forma sustentável, de lavouras em diversos níveis tecnológicos, com a vantagem de também propiciar melhoria da qualidade da bebida.

A disponibilidade de normas DRIS para café canéfora na Amazônia, em especial no Estado de Rondônia, transfere para esta região uma importante ferramenta capaz de alavancar o desenvolvimento do parque tecnológico cafeeiro na região, ao permitir o manejo das adubações na direção de lavouras nutricionalmente equilibradas, portanto, com redução no desperdício de recursos e na melhoria da eficiência de utilização da própria adubação, com o esperado ganho na produtividade das lavouras e lucratividade da cafeicultura regional, proporcionando uma cafeicultura mais sustentável.

Referências

- ARBOLEDA, C.; ARCILA, J.; MARTINEZ, R. Sistema integrado de recomendación y diagnóstico. Una alternativa para la interpretación de resultados del análisis foliar em café. **Agronomia Colombiana**, Bogotá, v. 5, p. 17-30. 1988.
- ARIZALETA, M.; RODRIGUEZ, O.; RODRIGUEZ, V. Relación de los índices DRIS, índices de balance de nutrientes, contenido foliar de nutrientes y el rendimiento del café en Venezuela. **Bioagro**, Barquisimeto, v. 14, p. 153-159, 2002.
- BARBOSA, D. H. S. G.; VIEIRA, H. D.; PARTELLI, F. L.; SOUZA, R. M de. Estabelecimento de normas DRIS e diagnóstico nutricional do cafeeiro arábica na região noroeste do Estado do Rio de Janeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, p. 1717-1722. 2006.
- BATAGLIA, O. C.; QUAGGIO, J. A.; SANTOS, W. R.; ABREU, M. F. Diagnose nutricional do cafeeiro pelo DRIS variando-se a constante de sensibilidade dos nutrientes de acordo com a intensidade de frequência de resposta na produção. **Bragantia**, Campinas, v. 63, p. 253-263. 2004.
- BEAUFILS, E. R. **Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). A general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition.** Pietermaritzburg: University of Natal, 1973. 132p. (Soil Science Bulletin, 1).
- 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**, New York, v. 23, p. 633-640. 1992.



BRAGANÇA, S. M.; ALVAREZ V. V. H. **Avaliação do estado nutricional do café conilon (*Coffea canephora*) no norte do Estado do Espírito Santo, através do sistema integrado de diagnose e recomendações (DRIS)**. Vitória, ES: EMCAPA, 1990. 12 p. (EMCAPA. Pesquisa em Andamento, 57).

CARMO, C. A. F. de S. do; ARAÚJO, W. S. de; BERNARDI, A. C. de C.; SALDANHA, M. F. C. **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados pela Embrapa Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. 41 p.

DIAS, J. R. D.; WADT, P. G. S.; PEREZ, D. V.; SILVA, L. M.; LEMOS, C. O. Dris formulas for evaluation of nutritional status of cupuaçu trees. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 35. 2083-2091, 2011.

SISTEMA Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS). Disponível em: <<http://www.dris.com.br>>. Acesso em: 10 jan. 2012.

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

FARNEZI, M. M. M.; SILVA, E. B.; GUIMARÃES, P. T. G. Diagnose nutricional de cafeeiros da região do Alto Jequitinhonha (MG): Normas DRIS e faixas críticas de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, p. 969-978, 2009.

FARNEZI, M. M. M.; SILVA, E. B.; GUIMARÃES, P. T. G.; PINTO, N. A. V. D. Levantamento da qualidade da bebida do café e avaliação do estado nutricional dos cafeeiros do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais, através do DRIS. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, MG, v. 34, p. 1191-1198, 2010.

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

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

KHALAJABADI, S. S. Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia. Chinchiná: CENICAFÉ, 2008. 44 p. (Boletim Técnico, 32).

LANA, R. M. Q.; OLIVEIRA, S. A.; LANA, A. M. Q.; FARIA, M. V. Levantamento do estado nutricional de plantas de *Coffea arabica* L. pelo DRIS, na região do Alto Paranaíba – Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, p. 1147-1156, 2010.

LEITE, R. de A. **Avaliação do estado nutricional do cafeeiro conilon no Estado do Espírito Santo utilizando diferentes métodos de interpretação de análise foliar**. 1992. 87 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MAIA, C. Análise crítica da fórmula original de Beaufilets 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. CD-ROM.

MALAVOLTA, E.; FERNANDES, D. R.; CASALE, H.; ROMERO, J. P. **Seja o doutor do seu cafezal**. São Paulo: Potafos, 1993. 36p. (Informações Agronômicas, 64).

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**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. v. 1, p. 205-242.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a. aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p. p.143-168.

MARTINEZ, H. E. P.; MENEZES, J. F. S.; SOUZA, R. B. de; ALVAREZ V., V. H.; GUIMARÃES, P. T. G. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 703-713, 2003.

MARTINEZ, H. E. P.; SOUZA, R. B.; ALVAREZ V., V. H.; MENEZES, J. F. S.; OLIVEIRA, J. A.; ALVARENGA, A. P.; GUIMARÃES, P. T. G. **Nutrição mineral, fertilidade do solo e produtividade do cafeeiro nas regiões de Patrocínio, Manhuaçu, Viçosa, São Sebastião do Paraíso e Guaxupé**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2004. 60 p. (EPAMIG. Boletim Técnico, 72).

MOURÃO FILHO, F. A. A.; AZEVEDO, J. C.; NICK, J. A. **Funções e ordem da razão dos nutrientes no estabelecimento de normas DRIS em laranjeiras 'Valência'**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 37, n. 2, p.185-192, 2002.

- MOURAO FILHO, F. A. A. DRIS: Concepts and applications on nutritional diagnosis in fruit crops. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, p. 550-560, 2004.
- NACHTIGALL, G. R.; DECHEN, A. R. Testing and validation of DRIS for apple tree. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 3, p. 288-294, 2007.
- NICK, J. A. **DRIS para cafeeiros podados**. 1998. 86p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.
- PARENT, L. E. Diagnosis of the nutrient compositional space of fruit crops. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, p. 321-334. 2011.
- PARENT, L. E.; DAFIR, M. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. **Journal of the American Society for Horticultura Science**, Alexandria, 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: FUNDUNESP, 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**, New York, v. 30: 1651-1667, 2007.
- PARTELLI, F. L.; VIEIRA, H. D.; COSTA, A. N. Diagnóstico nutricional em cafeeiro conilon orgânico e convencional no Espírito Santo, utilizando o DRIS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, p. 1456-1460. 2005.
- 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**, Brasília, v. 41, 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**, Campinas, v. 30, p. 443-451, 2006b.
- PREZOTTI, L. C.; BRAGANÇA, S. M.; MARTINS, A. G.; LANI, J. A. Calagem e adubação. In: FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. de; BRAGANÇA, S. M.; FERRÃO, M. A. G.; MUNER, L. H. **Café conilon**. Vitória: Incaper, 2007. p. 329-343.
- RAJ, G. B.; RAO, A. P. Identification of yield-limiting nutrients in mango through DRIS indices. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 37, p. 1761-1774, 2005.
- RATHFON, R. A.; BURGER, J. A. Diagnosis and Recommendation Integrated System Modifications for Fraser Fir Christmas Trees. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 55, p. 1026-1031, 1991.
- RODRIGUEZ, O.; RODRIGUEZ, V. Desarrollo, determinación e interpretación de normas DRIS para el diagnóstico nutricional en plantas. Una revisión. **Revista de la Facultad de Agronomía**, Montevideo, v. 17, p. 449-470, 2000.
- RONDÔNIA (Estado). Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental (Sedam). **Boletim Climatológico de Rondônia, ano 2007**. Porto Velho: Sedam, 2009. 40 p.
- SCHUTZ, C. J.; VILLIERS, J. M. Foliar diagnosis and fertiliser prescription in forestry - The DRIS system and its potential. **South African Forestry Journal**, Pretoria, v. 141, n. 1, p.6-12, 1987.
- SILVA, D. J.; WADT, P. G. S.; MOUCO, M. A. C. Diagnose foliar na cultura da manga. In: PRADO, R. M. **Nutrição de Plantas Aplicada a Sistemas de Alta Produtividade: Diagnose de Frutíferas**. Jaboticabal: FUNEP/UNESP. 2012 (no prelo).
- SILVA, E. B.; NOGUEIRA, F. D.; GUIMARÃES, P. T. G. Uso do DRIS na avaliação do estado nutricional do cafeeiro em resposta à adubação potássica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, p. 247-255. 2003.
- SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; QUEIROZ, D. M. Spatial variability in nutritional status of arabic coffee based in dris index. **Revista Ceres**, Lavras, MG, v.58, p. 256-261. 2011.
- SILVEIRA, C. P.; NACHTIGALL, G. R.; MONTEIRO, F. A. Testing and validation of methods for the diagnosis and recommendation integrated system for Signal grass. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, p. 520-527, 2005.
- WADT, P. G. S. Análise foliar para recomendação de adubação em culturas agrícolas. In: PRADO, R. M.; ROZANE, D. E.; VALE, D. W. do; CORREIA, M. A. R.; SOUZA, H. A. de. (Org.). **Nutrição de plantas: diagnose foliar em grandes culturas**. Jaboticabal: Fundenesp, 2008. v. 1, p. 115-133.

WADT, P. G. S. **Diagnose foliar e recomendação de adubação para lavouras comerciais**. Rio Branco: Embrapa Acre. 2011. (Documentos, no prelo).

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. 99f. Tese (Doutorado Scientiae em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

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, 2005a. p. 397-532.

WADT, P. G. S. Relationships between soil class and nutritional status of coffee plantations. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, p. 227-234. 2005b.

WADT, P. G. S.; ALMEIDA, G. G.; OLIVEIRA, M.; DIAS, J. R. M. **Recomendação de Calagem e Adubação para o Cupuaçu em Sistemas Convencionais, Agroflorestais ou Orgânicos**. Rio Branco: Embrapa Acre. 2012. (Circular Técnica submetida à publicação).

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.; DIAS, J. R. M. Normas DRIS regionais e inter-regionais na avaliação nutricional de café Conilon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, p. 822-830, 2012.

WADT, P. G. S.; DIAS, J. R. M.; PEREZ, D. V.; LEMOS, C. O. Fórmulas DRIS para o diagnóstico nutricional de pomares de cupuaçueiros. **Bragantia**, Campinas, v. 70, p. 649-656, 2011.

WADT, P. G. S.; LEMOS, C. O. Medidas de acurácia para diagnósticos nutricionais e seu impacto no manejo das adubações. In: PRADO, R. M.; CECÍLIO FILHO, A. B.; CORREIA, M. A. R.; PUGA, A. P. (Org.). **Nutrição de Plantas**. Diagnose foliar em hortaliças. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 2010. v. 1, p. 213-236.

WADT, P. G. S.; NOVAIS, R. F. O monitoramento nutricional frente aos métodos diagnósticos no planejamento das adubações. In: SIMPOSIO MONITORAMENTO NUTRICIONAL PARA A RECOMENDACAO DA ADUBACAO DE CULTURAS, 1999, Piracicaba-SP. **Anais do Simpósio Monitoramento Nutricional para a Recomendação da Adubação de Culturas**. Piracicaba: POTAFOS, 1999. p. 1-18.

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

WADT, P. G. S.; SILVA, D. J. Acurácia do diagnóstico nutricional de pomares de mangueiras obtidos por três fórmulas DRIS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, p. 1180-1188, 2010.

WADT, P. G. S.; SILVA, D. J. Contribuição do DRIS para o manejo da adubação de frutíferas. In: PRADO, R. M. **Nutrição de Plantas Aplicada a Sistemas de Alta Produtividade**: Diagnose de Frutíferas. Jaboticabal: FUNEP/UNESP. 2012. No prelo.

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

WIKIPEDIA. **Sistema integrado de diagnose e recomendação**. 2012. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema_integrado_de_diagnose_e_recomenda%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 12 jan. 2012.