**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"**
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS**
**CÂMPUS DE JABOTICABAL**

# MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL PARA O ALGODOEIRO NO CENTRO-OESTE DO BRASIL.

Marcos Antonio Camacho da Silva
Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
Abril de 2006

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"**
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS**
**CÂMPUS DE JABOTICABAL**

# MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL PARA O ALGODOEIRO NO CENTRO-OESTE DO BRASIL.

Marcos Antonio Camacho da Silva

Orientador: Prof. Dr. William Natale

Co-orientador: Prof. Dr. Euclides Braga Malheiros

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Abril de 2006

Silva, Marcos Antonio Camacho da
C172l Métodos de avaliação do estado nutricional para o algodoeiro no Centro-Oeste do Brasil / Marcos Antonio Camacho da Silva. – – Jaboticabal, 2006
xiii, 75 f. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2006
Orientador: William Natale
Banca examinadora: Ondino Cleante Bataglia, Takashi Muraoka, José Carlos Barbosa, Mara Cristina Pessoa da Cruz
Bibliografia

1. Nutrição de Plantas. 2. *Gossypium hirsutum* r. *latifolium*. 3. DRIS. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.811:633.51

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

## DADOS CURRICULARES DO AUTOR

**Marcos Antonio Camacho da Silva –** nascido em Dourados (MS), em 07 de março de 1977. Formado pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul em março de 2000 no curso de Agronomia, obteve o título de Mestre em Agronomia – Ciência do Solo, em julho de 2002 pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Ingressou no programa de pós-graduação em Agronomia – Produção Vegetal, em nível de doutorado, em agosto de 2002. Atuou como professor no ensino fundamental e médio no período entre 1995 a 2000. Em setembro de 2002 começou a lecionar na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS) como professor convocado, sendo aprovado em concurso público em dezembro de 2003. Atualmente faz parte do quadro efetivo de docentes da UEMS, responsável pelas disciplinas de Fertilidade e Fertilizantes (Agronomia) e Solos e Fertilizantes (Zootecnia), na Unidade Universitária de Aquidauana. No período compreendido entre dezembro de 2004 e agosto de 2005 esteve a frente do Núcleo de Pesquisa em Meio Ambiente e Agropecuária (NUPEMAA), órgão da administração setorial desta Universidade, vinculado a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação. Atualmente, é chefe da Divisão de Pesquisa da UEMS.

A Deus,
Ofereço.

A minha esposa, Elizene, e ao meu filho, Cauê, razões de minha existência;
Aos meus pais, Wlaidemir e Florentina, pela ajuda e pelo entusiasmo transmitido;
Aos meus irmãos (Márcio, Rosimar e Rosimeire) pela motivação;
Ao professor William Natale, pela confiança em mim depositada;
Aos meus sobrinhos (Lorena, Cristóvão e Pedro), por seus olhares que sempre são incentivadores;
Dedico.

## AGRADECIMENTOS

Ao programa de pós-graduação em Agronomia – Produção Vegetal, pela oportunidade de ingressar no curso de doutorado;

Ao Prof. Dr. William Natale, pela orientação, amizade e confiança.

A empresa SLC, especificamente a Aurélio Pavinato e Volnei Vasconcelos Vieira, pelo fornecimento dos dados para o presente trabalho;

Aos professores que ministraram aulas durante o curso do doutorado (Antonio Enedi Boaretto, Edson Luiz Mendes Coutinho, Euclides Braga Malheiros, Eurípedes Malavolta, Gilson Volpato, Renato de Mello Prado, William Natale), pelo conhecimento transferido;

Aos membros da banca examinadora (Dr. Takashi Muraoka, Dr. Ondino Cleante Bataglia, Dr. José Carlos Barbosa, Dra. Mara Cristina Pessoa da Cruz e Dr. William Natale) pela valiosa colaboração contida em suas sugestões e seus questionamentos;

Aos funcionários do Departamento de Solos, Seção de Pós-Graduação e Seção de Biblioteca, pelo auxílio nas diversas etapas do trabalho;

Aos primos Solange e Carlos (Dodô), pela gentil acolhida durante as viagens e o companheirismo compartilhado;

Aos integrantes da República Tia Méri pelo agradável convívio e amizade, a citar: Étore (Açogueiro), Fernando (Pé-de-macaco), Ricardo (Baiano), Rafael (K-borja), Anísio (Streito), Rafael (Largo), Fúvio (Picanha), Marcos (Marcão), Edson (Okidá), Flávio (Bodão), Felipe (Capiau), Bruno (Tchalau), Zé Tuia, Paulo(Russo), Luiz Henrique (Taturana), Sugavara, Batuta, dentre outros;

A Cristiane, amiga que sempre me acolheu em sua casa;

Aos colegas e amigos da UEMS que, pela amizade e incentivo, contribuíram para esta conquista;

A minha grande família, que, por ser grande, não citarei todos os nomes mas, com certeza, sempre serão lembrados.

**SUMÁRIO**

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS ..... 01
A cultura do algodão ..... 02
Adubação e nutrição do algodoeiro ..... 04
Avaliação do estado nutricional das plantas ..... 06
Objetivos ..... 13
Referências ..... 13

CAPÍTULO 2 – VALORES DE REFERÊNCIA DE NUTRIENTES PARA A CULTURA DO ALGODÃO ..... 20
Resumo ..... 20
Introdução ..... 20
Material e Métodos ..... 22
Resultados e Discussão ..... 26
Conclusões ..... 41
Referências ..... 41

CAPÍTULO 3 – MÉTODOS DE CÁLCULO E ESTABELECIMENTO DE NORMAS DRIS PARA A CULTURA DO ALGODÃO ..... 46
Resumo ..... 46
Introdução ..... 46
Material e Métodos ..... 48
Resultados e Discussão ..... 53
Conclusões ..... 71
Referências ..... 71

# MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL PARA O ALGODOEIRO NO CENTRO-OESTE DO BRASIL

**RESUMO –** Visando estabelecer normas para o DRIS e os valores de referência para avaliação do estado nutricional da cultura do algodão, um produto agrícola em franca expansão no território nacional e com significativa contribuição econômica no PIB brasileiro, o presente trabalho estudou lavouras comerciais de municípios do norte do estado de Mato Grosso do Sul e centro-sul do estado de Mato Grosso, utilizando o método da chance matemática e a metodologia do DRIS para dados de monitoramento nutricional. O método da chance matemática, tendo como referência a produtividade de 4500 kg $ha^{-1}$, retornou , em g $kg^{-1}$, de 33-45; 2,8-5,3; 15-21; 20-36; 4,0-7,2 e 2,8-8,6 para N, P, K, Ca, Mg e S, e em mg $kg^{-1}$, de 53-83; 4-12; 110-440; 40-60 e 25-50 para B, Cu, Fe, Mn e Zn. As faixas indicadas, embora similares às existentes, demonstram aperfeiçoamento para obtenção de altas produtividades. O N é o nutriente que pode ter problemas devido a adubação excessiva nas maioria das áreas, seguido do Mn e do K. Os maiores retornos, promovidos pela adubação, poderão ocorrer em função da aplicação de P e B. Com relação ao DRIS, o método proposto por Elwali & Gascho é menos sensível à forma de escolha da relação (*r* ou *F*) para o cálculo do IBN, e a relação escolhida para cálculo do DRIS pelo valor *r* não é recomendável, exceto quando a diferença entre os coeficientes de correlação, entre a relação direta e inversa, for estatisticamente significativa. Pelos métodos de cálculo das funções DRIS foram diagnosticados como prováveis limitações da cultura o Ca e o Mg, que normalmente são fornecidos via calagem, e também o S.

**Palavras-Chave:** *Gossypium hirsutun* r *latifolium*, Diagnose nutricional, DRIS, Nível crítico, Faixa de suficiência, Método da chance matemática.

# METHODS OF NUTRITIONAL STATUS AVALIABLE FOR COTTON IN THE CENTER-WEST OF BRAZIL

**SUMMARY –** The cotton is an agricultural product in development for Brazil and has significant contribution significant for Brazilian economy. With the objective to establish DRIS norms and references values for nutritional status availability for cotton crop, this study used commercial areas in the north of the Mato Grosso do Sul state and center-south of the Mato Grosso state, applying the mathematical chance method and the DRIS for nutritional analysis data. The mathematical chance method calculated the cotton sufficiency range, in g $kg^{-1}$, of 33-45; 2,8-5,3; 15-21; 20-36; 4,0-7,2 and 2,8-8,6 for N, P, K, Ca, Mg e S, and in mg $kg^{-1}$, of 53-83; 4-12; 110-440; 40-60 and 25-50 for B, Cu, Fe, Mn e Zn. The range furnishing values that can not be obtained by conventional research in short time and the range obtained can be used in the Brazilians production systems. However, it is indicated that these values would be adjusted constantly for supplying the system specificity. For DRIS, the results indicated that the choice for nutrient ratio modify the data interpretation, but the nutritional balance index has correlation. The r value isn't recommended. The DRIS indicated limitation provable for Ca, Mg and S, but the Ca and S is furnished normality by liming.

**Keywords:** Nutritional diagnosis, *Gossypium hirsutun* r *latifolium*, DRIS, Critic level, Sufficiency range, Mathematical chance method.

# CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

A exploração econômica da cotonicultura no Brasil remonta o século XVIII, pois o algodão era um produto estratégico para a industrialização em Portugal, França e Inglaterra. Desde então, a cultura evoluiu e se estabeleceu em várias regiões do País, inicialmente na região Nordeste, e depois nos estados do Paraná e de São Paulo, onde se desenvolveu através do modelo chamado "tradicional", predominantemente em pequenas e médias propriedades e utilizando a mão-de-obra intensiva. Atualmente, a região Centro-Oeste ocupa o primeiro lugar na produção desta fibra (IBGE, 2005), sendo responsável por aproximadamente 75% da produção nacional e popularizando a cultura como "ouro-branco" (LAMBERTI & MICHELS, 2003). O modelo de produção predominante nesta região é altamente tecnificado e mecanizado, utilizando-se de colheita mecânica e insumos diversos (herbicidas, fungicidas, inseticidas, reguladores de crescimento, maturadores, desfolhantes, calcário, gesso e fertilizantes) para um bom desenvolvimento do algodoeiro.

A importância da cotonicultura pode ser avaliada pelo conceito de cadeia produtiva, uma vez que se pode visualizar os quatro macrosegmentos propostos por BATALHA (1997): a comercialização, a industrialização, a produção de matérias-primas e o fornecimento de insumos. Neste contexto macroeconômico, tem-se a noção da dimensão desta atividade, sendo envolvidos todos os segmentos de distribuição final do produto aos consumidores (malharias, farmácias, confecções e comércio de tecidos em geral, além de empresas que trabalham com sua logística), as indústrias têxteis nacionais, os fornecedores de matéria-prima em geral e as empresas responsáveis pelo fornecimento de insumos (normalmente empresas de grande porte). Alie-se na cadeia produtiva a geração direta e indireta de empregos, tornando a cotonicultura um contribuinte ativo no crescimento do PIB do País.

Dentre as culturas anuais, o algodoeiro é a que possibilita as maiores taxas de retorno ao produtor agrícola; porém, oferece maiores riscos e exije alto nível tecnológico e investimento para sua implantação (AGRIANUAL, 2005).

Como o nível tecnico utilizado é alto, a produção de algodão exige o emprego de todas as tecnicas disponíveis para a mesma, ressaltando-se a utilização de insumos que visem, diretamente, a nutrição das plantas, como é o caso da adubação, calagem e gessagem, práticas que correspondem, de acordo com MELO FILHO & RICHETTI (2002), a 19%, em Primavera do Leste-MT, e a 28%, em Maracaju-MS, do custo total de produção da cultura.

**A cultura do algodão**

O algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch.) é uma malvácea perene cultivada como cultura anual devido, especialmente, a utilização de reguladores de crescimento. Desta espécie vegetal é oriunda a fibra mais utilizada pelo homem, devido as suas qualidades.

A semente e a fibra do algodoeiro, que representam, respectivamente, 65 e 35% da massa colhida, são os principais produtos desta cultura e, todos os produtos e sub-produtos desta parte da planta são aproveitados.

A fibra, principal produto do algodão, possui várias aplicações industriais, dentre as quais pode-se citar: confecção de fios para a tecelagem de vários tipos de tecidos, preparação de algodão hidrófilo para enfermagem, confecção de feltro, cobertores e estofamentos, obtenção de celulose, películas fotográficas, chapas para radiografia, entre outros (CORRÊA, 1989).

Sua semente é rica em óleo e contém de 20 a 25% de proteína bruta. O óleo extraído da semente, depois de refinado, é utilizado na alimentação humana e na fabricação de margarina e sabão. A torta, subproduto da extração do óleo, é utilizada na alimentação animal devido ao seu alto valor protéico, com 40 a 45% de proteínas. O tegumento é usado para fabricar certos tipos de plásticos e de borracha sintética. A fibrilha, que é a fina penugem que fica agarrada à semente depois de extraída a fibra, é usada na indústria química de plásticos e explosivos (CARVALHO, 1996).

O caroço de algodão, após a retirada da pluma, tem grande utilidade na nutrição de ruminantes. É considerado um alimento muito palatável, reunindo características de alimento volumoso, de concentrado protéico e de energético (SAVASTANO, 1999).

Como pode ser observado na Tabela 1, a área cultivada com algodoeiro reduziu-se até meados da década passada (1997) e, depois deste período, apresentou tendência de crescimento. Observa-se que após 1996 ocorreu incremento da produção e da produtividade, donde se evidencia que a abertura de mercado e a competição com produtos importados, se por um lado prejudicaram os produtores, por outro levaram à uma reestruturação da forma de se produzir algodão no Brasil. Tal fato colaborou para o aumento da competitividade do algodão nacional.

Tabela 1 – Quantidade produzida, área plantada e produtividade da cultura do algodão no Brasil no período de 1990 a 2004

| Ano | *Quantidade* | Área plantada | Produtividade |
|---|---|---|---|
| | *t* | *Ha* | *kg ha$^{-1}$* |
| 1990 | 1.783.175 | 1.516.168 | 1.176 |
| 1991 | 2.041.123 | 1.495.023 | 1.365 |
| 1992 | 1.863.077 | 1.641.272 | 1.135 |
| 1993 | 1.127.364 | 1.021.279 | 1.104 |
| 1994 | 1.350.814 | 1.077.753 | 1.253 |
| 1995 | 1.441.526 | 1.121.814 | 1.285 |
| 1996 | 952.013 | 756.229 | 1.259 |
| 1997 | 821.271 | 623.035 | 1.318 |
| 1998 | 1.172.017 | 862.521 | 1.359 |
| 1999 | 1.477.030 | 686.322 | 2.152 |
| 2000 | 2.007.102 | 811.848 | 2.472 |
| 2001 | 2.643.524 | 893.150 | 2.960 |
| 2002 | 2.166.014 | 763.992 | 2.835 |
| 2003 | 2.199.268 | 719.074 | 3.058 |
| 2004 | 3.798.254 | 1.159.609 | 3.275 |

Fonte: IBGE (2005). Produção Agrícola Municipal.

Segundo os dados apresentados por RICHETTI & MELO FILHO (2001), a reestruturação da cotonicultura nacional ocorreu pelo deslocamento da produção e da área plantada do eixo São Paulo/Paraná para os estados do Mato Grosso e Goiás. Este deslocamento foi acompanhado por mudanças estruturais na produção. Foram

desenvolvidas variedades adaptadas ao cerrado, intensificado o uso de tecnologias de ponta, além de incentivos governamentais para o aumento da produção nestes Estados.

No período entre 1993 e 2003, a cotonicultura cresceu, em nível mundial, em cerca de 22% (AGRIANUAL, 2005). Estima-se que a produção brasileira desta fibrosa seja da ordem de 3,8 milhões de toneladas ao ano de algodão em caroço, das quais aproximadamente 70% provêm da região Centro-Oeste (AGRIANUAL, 2005). A importância desta região na produção de algodão é pois indispensável, sendo necessários estudos de tecnologias aplicadas à produção em âmbito regional.

TRAIONOTTI et al. (2004) corroboram com a afirmação de que há um deslocamento geográfico da produção de algodão e ainda afirmam que ocorreu uma desconcentração das indústrias do estado do Paraná em direção aos estados do Centro-Oeste. Tal deslocamento das indústrias beneficiadoras teve o objetivo de manter proximidade com os centros produtores de matéria-prima.

## Adubação e nutrição do algodoeiro

As pesquisas referentes aos aspectos nutricionais da cultura do algodão vêm sendo realizadas desde a década de 1960, subsidiando a cotonicultura com informações relevantes sobre nutrição. A prática da adubação, que influencia diretamente a nutrição das plantas, também é outra área da ciência que foi privilegiada pelas pesquisas nacionais.

MEDEIROS & HAAG (1989) buscaram estabelecer o órgão do algodoeiro que melhor representasse seu estado nutricional; concluíram que a amostragem do limbo, do pecíolo ou da folha completa (limbo + pecíolo) seria adequada para a avaliação, desde que fosse coletada a quinta folha da haste principal, a partir do ápice, conforme indicação de HIROCE et al. (1976), durante todo o período reprodutivo, compreendido desde o aparecimento do primeiro botão floral até o aparecimento de frutos maduros, popularmente conhecidos como “maçãs”.

SOUZA & BRASIL SOBRINHO (1987a), ao buscarem resposta da cultura à aplicação de N-P-K via foliar, identificaram que houve interação entre esses nutrientes, uma vez que a aplicação de N aumentou a concentração de K nas folhas velhas e de P nas folhas novas e velhas. Porém, a aplicação de P isoladamente causou diminuição dos teores de N nas folhas avaliadas (novas e velhas) e a aplicação de K aumentou o teor de P em todas as folhas. A interpretação deste trabalho indica que a absorção de P está intimamente ligada ao bom suprimento de K e N. Esta informação pode ser extrapolada para a atual ocupação do Cerrado

brasileiro, uma vez que estes solos tendem a possuir baixos teores de P, devendo-se utilizar o fertilizante contendo este nutriente em grandes quantidades, sendo a absorção maximizada quando a planta não possuir qualquer outra limitação nutricional. Outras interações foram observadas por SOUZA & BRASIL SOBRINHO (1987b) ocorrendo diminuição dos teores de Ca e Mg foliares pela aplicação de N via folha.

FUZATTO et al. (1965) avaliaram fontes de adubo nitrogenado e concluiram que não houve diferenças significativas na produção do algodoeiro, indicando que para esta cultura, o fornecimento de nitrogênio independe da fonte utilizada, desde que seja corretamente empregada na prática de fertilização.

Atualmente, há várias recomendações de adubação para a cultura do algodão, como as sugeridas por SILVA & RAIJ (1996); PEDROSO NETO et al. (1999) e SOUSA & LOBATO (2004); as quais são, muitas vezes, conflitantes, como é o caso da recomendação para adubação nitrogenada, conforme Tabela 2.

Em termos gerais, adubação do algodoeiro baseia-se na aplicação de N, P, K e S por ocasião da semeadura e de N e K em cobertura (SILVA & RAIJ, 1996), podendo ser utilizada potassagem e fosfatagem antes do plantio da cultura antecessora ao algodoeiro (TAKIZAWA, 2003). Os micronutrientes a serem utilizados são o Zn (no plantio) e o B (plantio, cobertura e em pulverização) (SILVA & RAIJ, 1996). Atualmente, existem outras recomendações, essencialmente comerciais, difundindo a adubação foliar com B, Cu, Mn, Zn e Mo (GRUPO BIOSOJA, 2006; QUIMIFOL, 2006; REIS JR, 2004).

Tabela 2. Adubação nitrogenada para o algodoeiro recomendada em diferentes boletins

| Recomendação | Ano | Dose de N, kg $ha^{-1}$ | | Época de Aplicação |
|---|---|---|---|---|
| | | Semeadura | Cobertura | |
| São Paulo[1] | 1996 | 10 | 15-40 | 30 a 40 d.a.e.[4] |
| | | | 30-70 | 50 a 70 d.a.e. (pleno florescimento) |
| Minas Gerais[2] | 1999 | 20 | 30 | 25 d.a.e. |
| | | | 0-30 | 40 d.a.e. |
| Cerrado[3] | 2004 | 15-25 | 40-130 | Quando a dose exceder 40 kg $ha^{-1}$, aplicar em duas vezes, aos 30 e 50 d.a.e. |

1 SILVA & RAIJ (1996);

[2] PEDROSO NETO et al. (1999);

[3] SOUSA & LOBATO (2004);

[4] dias após a emergência

**Avaliação do estado nutricional das plantas**

Há diversas técnicas de avaliação do estado nutricional, podendo-se ressaltar, conforme proposto por MALAVOLTA et al. (1997), as seguintes: (a) diagnose visual, (b) diagnose foliar, (c) testes bioquímicos, (d) técnicas de infiltração, (e) medição indireta de clorofila, (f) bioavaliação e (g) análise de outros órgãos.

A diagnose visual é a comumente difundida entre pesquisadores, técnicos e extensionistas, visto que é uma maneira rápida de identificar uma planta com deficiência ou excesso de algum nutriente, ou excesso de algum elemento químico. Porém, quando as alterações são visíveis, os danos econômicos já ocorreram, pois há uma seqüência de acontecimentos, conforme pode ser observado (Figura 1).

Para o algodoeiro, alguns trabalhos foram desenvolvidos com o intuito de serem estabelecidos os sintomas de deficiência ou excesso de nutrientes,ou excesso de elementos químicos que causam toxicidade (MARCUS-WYNER & RAINS, 1982; SILVA et al., 1995; ROSOLEM & BASTOS, 1997).

A diagnose foliar constitui-se, juntamente com a diagnose visual, em ações que representam a grande maioria dos estudos e da difusão de tecnologia voltada para a nutrição de plantas. Os resultados de análises químicas de plantas são interpretados por diversos métodos, sobressaindo os métodos univariados, como o nível crítico (NC ou CL) e a faixa de suficiência (FS ou SR), ou multivariados, como o sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS), a análise de plantas com escores padronizados (APEP ou PASS) e a diagnose de composição nutricional (DCN ou CND).

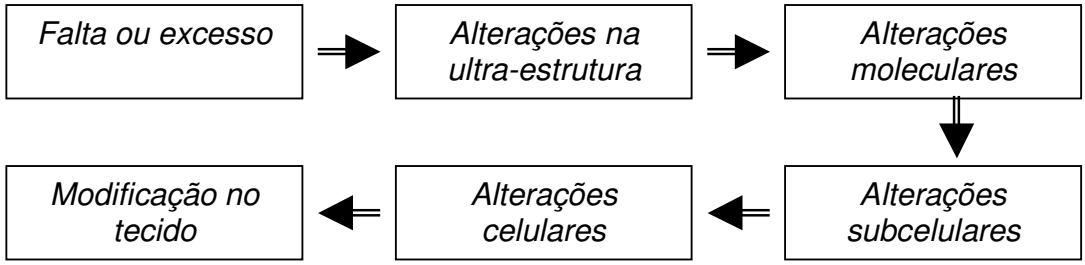



***Figura 1.*** *Seqüência de eventos que conduzem aos sintomas de deficiência e excesso (Adaptado de MALAVOLTA et al., 1997)*

O NC tem como marco o trabalho de ULRICH & HILLS (1967), no qual os autores fazem a célebre representação gráfica do nível crítico (Figura 2). De acordo com esta filosofia, na zona de deficiência (teores inferiores ao nível crítico), a planta tende a aumentar sua produção com o fornecimento do nutriente. Este será absorvido e, como a resposta seria crescimento/produção da planta, os teores foliares teriam pequenos aumentos. Nesta situação, o incremento por unidade de nutriente oferecido é alto. Este aumento de produção tem um limite, o que implicaria em teores de nutrientes altos sem a devida resposta na produção, denominado de consumo de luxo.

Quando ocorre o consumo de luxo de nutrientes pelas culturas, há a possibilidade de ocorrerem perdas econômicas, pois o produtor pode ter investido para que o aumento destes teores fosse efetivado por meio de aplicação de fertilizantes e corretivos; assim, se a planta aumenta seus teores, porém, não eleva a produção, significa ineficiência, pois a planta não estará convertendo nutrientes em produção.

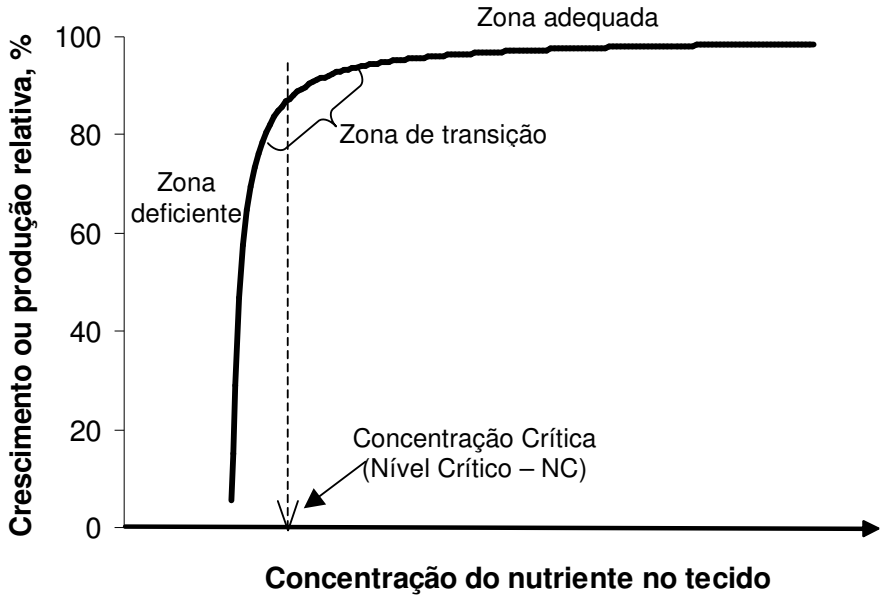



Figura 2. Gráfico geral do crescimento ou produção da planta em função do teor de nutriente no tecido (Adaptado de ULRICH & HILLS, 1967).

O sistema FS é baseado na correlação entre a concentração de nutrientes e a produção. Se o solo está deficiente em algum nutriente, esta deficiência será encontrada, também, nas diferentes partes da planta, sendo comumente utilizada a folha recém-madura para a avaliação. Quando a deficiência é severa, os sintomas começam a aparecer e a produção diminui. Se este nutriente é suprido de maneira adequada, a produção tende a ser otimizada. Por outro lado, quando há excesso de um nutriente, a planta pode absorver em quantidade acima da necessária, o que é denominado consumo de luxo, podendo, inclusive, causar diminuição da produção quando esta quantidade é muito elevada. Para que a quantidade de nutriente seja adequada utiliza-se como valores de referência a concentração de nutriente entre 95 e 100% da máxima produção alcançada pela cultura.

Como uma alternativa para obter a FS com dados oriundos de áreas comerciais, WADT et al. (1998) propuseram o método da chance matemática. Este método baseia-se na probabilidade de uma classe nutricional (uma faixa fixa de um determinado nutriente na folha) conter áreas com altas produtividades. Para o cálculo do método, é utilizada a seguinte fórmula:

$$CHM_{Mi} = \sqrt{(P_1 \times Pm_i) \times (P_2 \times Pm_i)}$$

Em que:

$CHM_{Mi}$ = Chance Matemática de um determinado nutriente (M) na classe i, em kg $ha^{-1}$;

$P_1$ e $P_2$ = Probabilidades;

$Pm_i$ = Produtividade média na classe i.

As probabilidades são encontradas pelas fórmulas:

$P_1 = \frac{A_i}{A}$ e $P_2 = \frac{A_i}{C_i}$, onde:

$A_i$ = número de amostras com alta produtividade na classe i;

$A$ = número total de amostras com alta produtividade;

$C_i$ = número total de amostras na classe i.

A classe ou as classes escolhidas para representar a faixa adequada para a cultura ou faixa de suficiência são aquelas que apresentam maiores valores de $CHM_{Mi}$.

O PD, ou diagnóstico fisiológico, proposto por BEAUFILS (1971), é um método precursor do DRIS, sendo que as funções entre nutrientes eram calculadas pela seguinte fórmula:

$$f(A/B) = \left(\frac{(a/b)}{(A/B)} - 1\right) \times \left(\frac{100 \times k}{cv}\right)$$, onde:

a/b = relação de nutrientes na amostra a ser avaliada;

A/B = relação de nutrientes na população de referência ou norma DRIS;

k = constante de sensibilidade;

cv = coeficiente de variação para a relação estudada, em %.

O DRIS, assim como o PD, analisa relações entre as concentrações de nutrientes nas folhas. Várias combinações de relações de nutrientes, para um elemento em particular, são combinadas matematicamente para determinar o índice nutricional. O índice 0 (zero) é considerado ótimo. Quanto mais negativo o índice, maior a deficiência do nutriente em estudo e, quanto mais positivo o número, maior o desbalanço deste tendendo ao excesso. Uma das vantagens que o DRIS oferece é a identificação da ordem de deficiência dos nutrientes. Proposto inicialmente por BEAUFILS (1973), este método teve várias alterações com o intuito de aperfeiçoamento, como é o caso da proposta metodológica para o cálculo das funções, feita por ELWALI & GASCHO (1984), bem como os métodos para a escolha das relações, propostos por LETZSCH (1985) e NICK (1998).

O DRIS foi criado por BEAUFILS (1973) para avaliar as plantas através de um modelo matemático que apresenta o Índice de Balanço Nutricional (IBN), que pode ser obtido através da fórmula $IBN = |I_N| + ... + |I_{Zn}|$. Em uma dada cultura tem-se avaliados vários nutrientes, como, N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn. Nestes termos, o somatórios dos módulos dos índices de cada nutriente ($I_M$) totalizariam o IBN. Estes índices, quanto mais próximos de zero, tenderiam a normalidade nutricional, ou seja,

assumindo valores acima de zero estariam em excesso e, abaixo de zero, haveria deficiência nas plantas.

Para o cálculo dos índices são necessários cálculos das funções das relações nutricionais, sendo que cada par de nutrientes (como exemplificação, os nutrientes A e B) é computado uma única vez, logo, deve ser feita a escolha entre A/B ou B/A.

A escolha entre uma das duas relações pode ser realizada por dois métodos: fator *F* (LETZSCH, 1985) ou fator *r* (NICK, 1998). O fator *F* é calculado levando-se em consideração a divisão da população estudada em duas sub-populações (padrão ou referência e de baixa produtividade) com produtividades distintas, sendo a escolha da relação A/B e B/A definida pela relação entre as variâncias destas, em que a relação escolhida resultará da seguinte análise: se $\frac{s^2(A/B)_{PD}}{s^2(A/B)_{BP}} \geq \frac{s^2(B/A)_{PD}}{s^2(B/A)_{BP}}$ (dados: $s^2(A/B)_{PD}$ = variância da relação A/B na população padrão ou de referência; $s^2(A/B)_{BP}$ = variância da relação A/B na população de baixa produtividade ou não referência; $s^2(B/A)_{PD}$ = variância da relação B/A na população padrão ou de referência $s^2(B/A)_{BP}$ = variância da relação A/B na população de baixa produtividade ou não referência); então, a relação que constituirá as normas DRIS será (A/B), caso contrário, a relação será (B/A). O fator *r* é encontrado através da correlação entre as relações de nutrientes (A/B e B/A) e a produtividade, sendo escolhida aquela de maior módulo para correlação com a produtividade.

Uma vez escolhidas as relações que comporão as normas DRIS, são calculados as funções destas relações através das fórmulas:

BEAUFILS (1973):

$$f(A/B) = \left(1 - \frac{A/B}{a/b}\right) \times \frac{100 \times k}{CV(\%)} \text{ se a/b < A/B;}$$

$$f(A/B) = 0 \text{ se a/b = A/B;}$$

$$f(A/B) = \left(\frac{a/b}{A/B} - 1\right) \times \frac{100 \times k}{CV(\%)} \text{ se a/b > A/B;}$$

ELWALI & GASCHO (1984):

$$f(A/B) = \left(1 - \frac{A/B}{a/b}\right) \times \frac{100 \times k}{CV(\%)}$$ se a/b < A/B - s;

$$f(A/B) = 0$$ se A/B – s ≤ a/b ≤ A/B + s;

$$f(A/B) = \left(\frac{a/b}{A/B} - 1\right) \times \frac{100 \times k}{CV(\%)}$$ se a/b > A/B + s;

JONES (1981):

$$f(A/B) = \left[(a/b) - (A/B)\right] \times \frac{k}{s}$$

Em que:

a/b = relação de nutrientes na amostra a ser avaliada;

A/B = relação de nutrientes na população de referência ou norma DRIS;

k = constante de sensibilidade (normalmente 1, 10 ou 100);

CV = coeficiente de variação para a relação estudada, em %.

*s* = o desvio padrão da relação estudada na população de referência ou de alta produtividade.

O DRIS vem sendo aplicado em várias culturas, como cana-de-açúcar (BEAUFILS & SUMNER, 1976; ELWALI & GASHO, 1983; ELWALI & GASHO, 1984; REIS JR. & MONNERAT, 2002), citros (BERVELY et al., 1984; CERDÁ et al., 1995; MOURÃO FILHO et al., 2002), milho (SUMNER, 1977; ESCANO et al., 1981; ELWALI et al., 1985; DARA et al., 1992; SOULTANPOUR et al., 1995; REIS Jr., 2002), soja (BERVELY et al., 1986), café (ABOLEDA et al., 1988; LEITE, 1993), pinus (SVENSON & KIMBERLEY, 1988), maçã (SZÜCS et al., 1990), tomate (HARTZ et al., 1998). avelã (ALKOSAB et al., 1988), batata (MELDAL-JOHNSEN e SUMNER, 1980; MACKAY et al., 1987), alface (SANCHEZ et al., 1991), seringueira (BATAGLIA & SANTOS, 1990), dentre outras.

O sistema PASS combina os métodos DRIS e FS, sendo relatados para alfafa, milho e soja.

A análise multivariada como instrumento para a diagnose do estado nutricional foi indicada por HOLLAND (1966), tendo como base a análise de componentes principais; sua utilização foi relatada por RATKOWSKY & MARTIN (1974) na cultura da maçã. A técnica foi aperfeiçoada, sendo que PARENT & DAFIR (1992) denominaram de CND (do inglês, compositional nutrients diagnosis) ou diagnose da composição nutricional.

A técnica multivariada foi utilizada na avaliação nutricional de milho doce (KHIARI et al., 2001a), tomate (PARENT et al., 1994a), batata (PARENT et al., 1994b; KHIARI et al., 2001b) e eucalipto (SILVA et al., 2004). Embora pouco difundida, pode ser uma alternativa para a avaliação nutricional do algodoeiro no Cerrado brasileiro.

## *Objetivos*

A presente pesquisa teve por objetivos:

- Realizar o levantamento nutricional da cultura do algodoeiro e determinar as faixas de suficiência para a cultura no Centro-Oeste do Brasil;
- Testar os métodos para a escolha das relações, bem como as diferentes formas de cálculo, além de estabelecer normas DRIS para a cultura do algodão;

## *Referências*

ABOLEDA, C.V.; ARCILA, J.P.; MARTINEZ, R.B. Sistema integrado de recomendación y diagnosis: una alternativa para la interpretación de resultados del análisis foliar en café. **Agron. Colomb.**, Bogota, v. 5, p. 17-30, 1988.

AGRIANUAL. **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2005. p. 368.

ALKOSHAB, O.; RIGHETTI, T.L.; DIXON, A.R. Evaluation of DRIS for judging the nutritional status of hazelnuts. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, Alexandria, v. 113, n. 4, p. 643-647, 1988.

BATAGLIA, O.C.; SANTOS, W.R. Efeito do procedimento de cálculo e da população de referência nos índices do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS). **R. Bras. Ci. Solo,** Campinas, v. 14, n. 3, p. 339-344, 1990.

BATALHA, M.O. (Coord.) **Gestão agroindustrial.** São Paulo: Atlas, 1997.

BEAUFILS, E.R. Physiological diagnosis – a guide for improving maize production based on principles developed for rubber trees. **Fert. Soc. S. Afr. J.,** v. 1, n. 1, p. 130, 1971.

BEAUFILS, E.R. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). Univ. Natal, **Soil Sci. Bul.,** v. 1, n.1, 1973.

BEAUFILS, E.R.; SUMNER, M.E. Application of the DRIS approach for calibrating soil and plant factors in their effects on yield of sugarcane. **Proc. S. Afr. Sugar Technol. Assn.**, v. 50, p. 118-124, 1976.

BERVELY, R.B.; STARK, J.C.; OJALA, J.C.; EMBLETON, T.W. Nutrient diagnosis of ´Valencia´ oranges by DRIS. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, Alexandria, v. 109, p. 649-654, 1984.

BERVELY, R.B.; SUMNER, M.E.; LETZSCH, W.S.; PLANCK, C.O. Foliar diagnosis of soybean by DRIS. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, New York, v. 17, n. 3, p. 237-256, 1986.

CARVALHO, P.P. **Manual do algodoeiro.** Lisboa: IITC, 1996. 282p.

CERDÁ, A.; NIEVES, M.; MARTINEZ, V. An evaluation of mineral analysis of “Verna” lemons by DRIS. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, New York, v. 26, p. 1697-1707, 1995.

CORRÊA, J.R.V. **Algodoeiro:** informações básicas para seu cultivo. Belém: EMBRAPA-UEPAE Belém, 1989. 29p. (EMBRAPA-UEPAE Belém, Documentos, 11).

DARA, S.T.; FIXEN, P.E.; GELDERMAN, R.H. Sufficiency level and Diagnosis and Recommendation Integrated System approaches for evaluating the nitrogen status of corn. **Agron. J.**, Madison, v. 84, n. 6, p. 1006-1010, 1992.

ELWALI, A.M.O.; GASCHO, G.J. Sugarcane response to P, K and DRIS corrective treatments on Florida Histosols. **Agron. J.**, Madison, v. 75, p. 79-83, 1983.

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

ELWALI, A.M.O.; GASCHO, G.J.; SUMNER, M.E. DRIS norms for 11 nutrients in corn leaves. **Agron. J.**, Madison, v. 77, p. 506-508, 1985.

ESCANO, C.R.; JONES, C.A.; UEHARA, G. Nutrient diagnosis in corn on Hydric Dystrandepts: II. Comparison of two systems of tissue diagnosis. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 41, p. 1140-1144, 1981.

FUZATTO, M.G., CAVALERI, P.A., SILVA, N.M. Adubação do algodoeiro. XV – Ensaios com vários adubos nitrogenados. **Bragantia**, v. 24, p. 337-359, 1965.

GRUPO BIOSOJA. Algodão. [http://www.biosoja.com.br/programa/algodao.htm acesso em 22/mar/2006].

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

HOLLAND, D.A. The interpretation of leaf analyses. **J. Hort. Sci.**, London, v. 41, p. 311-329, 1966.

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Agrícola Municipal. SIDRA, 2005. [www.ibge.gov.br acesso em setembro 2005]

JONES, W.W. Proposed modifications of the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for interpreting plant analyses. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, New York, v. 12, p. 785-794, 1981.

KHIARI, L., PARENT, L.E., TREMBLAY, N. Critical compositional nutrient indexes for sweet corn at early growth stage. **Agron. J.**, v. 93, p. 809-814, 2001a.

KHIARI, L., PARENT, L.E., TREMBLAY, N. The phosphorus compositional nutrient diagnosis range for potato. **Agron. J.**, v. 93, p. 815-819, 2001b.

LAMBERTI, E., MICHELS, I.L. **Estudo das cadeias produtivas de Mato Grosso do Sul:** cotonicultura. Campo Grande: SEPROTUR, 2003. 126p.

LEITE, R.A. **Avaliação do estado nutricional do cafeeiro conilon no Estado do Espírito Santo utilizando diferentes métodos de interpretação de análise foliar**. 1993. 124f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

LETZSCH, W.S. Computer program for selection of norms for use in the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, New York, v. 16, p. 339-347, 1985.

MACKAY, D.C.; CAREFOOT, J.M.; ENTZ, T. Evaluation of the DRIS procedure for assessing the nutritional status of potato (*Solanum tuberosum* L.). **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, New York, v. 18, p. 1331-1353, 1987.

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

MARCUS-WYNER, L. & RAINS, D.W. Nutritional disorders of cotton plants. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, New York, v. 13, n. 9, p. 685-736, 1982.

MEDEIROS, A.A., HAAG, H.P. Nível crítico de fósforo em cultivares de algodão. II. Escolha do órgão adequado para determinação do nível crítico. **Anais da ESALQ**, Piracicaba, v. 46, p. 177-200, 1989.

MELDAL-JOHNSEN, A.; SUMNER, M.E. Foliar diagnostic norms for potatoes. **J. Plant Nutr.**, New York, v. 2, p. 569-576, 1980.

MELO FILHO, G.A., RICHETTI, A. Estimativa de custo de produção de Algodão, Safra 2002/03, para Mato Grosso do Sul e Mato Grosso. Dourados: Embrapa, 2002. (**Comunicado Técnico**, 56).

MOURÃO FILHO, F.A.A.; AZEVEDO, J.C.; NICK, J.A. Funções e ordem da razão dos nutrientes no estabelecimento de normas DRIS em laranjeira ´Valência´. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 37, p. 185-192, 2002.

NICK, J.A. **DRIS para cafeeiros podados**. 1998. 86f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade São Paulo, Piracicaba, 1998.

PARENT, L.E., ISFAN, D., TREMBLAY, N., KARAM, A. Multivariate nutrient diagnosis of the carrot crop. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, v. 119, n. 3, p. 420-426, 1994a.

PARENT, L.E., CAMBOURIS, A.N., MUHAWENIMANA, A. Multivariate diagnosis of nutrient imbalance in potato crops. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 58, p. 1432:1438, 1994b.

PARENT, L.E., DAFIR, M. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, v. 117, n. 2, p. :239-242, 1992.

PEDROSO NETO, J.C.; FALLIERI, J.; LANZA, M.; SILVA, N.M.; LACA, J.B. Algodão. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5ª Aproximação. Viçosa: Editora UFV, 1999.

QUIMIFOL. Algodoeiro. [http:// http://www.quimifol.com.br/pagina/produto.htm acesso em 22/mar/2006].

RATKOWSKY, D.A., MARTIN, D. The use of multivariate analysis in identifying relationships among disorder and mineral element content in apples. **Aust. J. Agric. Res.**, v. 25, p. 783-790, 1974.

REIS JR. Fertilidade do solo e nutrição de plantas: pesquisas das safras 2000/01, 2001/02, 2002/03 e 2003/04. [http://www.fundacaochapadao.com.br acesso em 8 ago 2004].

REIS JR., R.A. DRIS norms university in the corn crop. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, New York, v. 33, p. 711-735, 2002.

REIS JR., R.A.; MONNERAT, P.E. Sugarcane nutritional diagnosis with DRIS norms established in Brazil, South Africa, and the United States. **J. Plant Nutr.**, New York, v. 25, p. 2831-2851, 2002.

RICHETTI A., MELO FILHO G. A. Aspectos Socioeconômicos do algodoeiro**.** In: **Algodão: Tecnologia de Produção.** EMBRAPA Agropecuária Oeste; EMBRPA Algodão. Dourados: EMBRAPA Agropecuária Oeste, 2001. p 13-34.

ROSOLEM, C.A.; BASTOS, G.B. Deficiências minerais no cultivar de algodão IAC 22. **Bragantia**, Campinas, v. 56, n. 2, p. 377-387, 1997.

SANCHEZ, C.A.; SERÁ, G.H.; BURDINE, H.W. DRIS evaluation of the nutritional status of crisphead lettuce. **Hortscience**, Alexandria, v. 26, p. 274-276, 1991.

SAVASTANO, S. **Caroço de algodão na alimentação de ruminantes.** Campinas: CATI, [1999?]. Folder.

SILVA, G.G.C.; NEVES, J.C.L.; ALVAREZ V., V.H.; LEITE, F.P. Nutritional diagnosis for eucalypt by DRIS, M-DRIS and CND. **Sci. Agric.**, Piracicaba, v. 61, n. 5, p. 507-515, 2004.

SILVA, N.M.; CARVALHO, L.H. de; CIA, E.; FUZATTO, M.G.; CHIAVEGATO, E.J. & ALLEONI, L.R.F. **Seja o doutor do seu algodoeiro**. Potafós, Piracicaba, 1995. 24p. (Arquivo do Agrônomo, 8.)

SILVA, N.M.; RAIJ, B. van. Fibrosas. In: RAIJ, B.van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendação de calagem e adubação para o estado de São Paulo.** Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1996. (Boletim técnico, 100).

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Calagem e adubação para culturas anuais e semiperenes. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado:** correção do solo e adubação. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.285-286.

SOULTANPOUR, P.N.; MALAKOUTI, M.J.; RONAGHI, A. Comparison of Diagnosis and Recommendation Integrated System and nutrient sufficient range of corn. **Soil Sci. Soc. Am. J.,** Madison, v. 59, p. 133-139, 1995.

SOUZA, A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C. Efeito do NPK, via foliar, no conteúdo de nutrientes das folhas do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.). **Anais da ESALQ**, Piracicaba, v. 44, p. 215-243, 1987a.

SOUZA, A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C. Influência da adubação foliar com NPK nos teores de cálcio e magnésio encontrados em órgãos do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.). **Anais da ESALQ**, Piracicaba, v. 44, p. 245-272, 1987b.

SUMNER, M.E. Apllication of Beaufils diagnostic indices to maize data published in the literature irrespective of age and conditions. **Plant and Soil,** The Hague, v. 46, p. 359-369, 1977.

SVENSON, G.A.; KIMBERLEY, M.O. Can DRIS improve diagnosis nutrient deficiency in Pinus radiata? **New Zealand J. For. Sci.**, Rotorua, v. 18, p. 33-42, 1988.

SZÜCS, E.; KÁLLAY, T.; SZENCI, G. Determination of DRIS indices for apple (*Malus domestica* Borkh). **Acta Hortic**, The Hague, v. 274, p. 443-721, 1990.

TAKIZAWA, E.K. Manejo da cultura do algodão no sistema de plantio direto (SPD). Aspectos teóricos e científicos do plantio direto (PD) com enfoque em algodão. In: ENCONTRO PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 7., 2003, Sorriso. **Anais...** Sorriso, 2003.

TRAIONOTTI J., STADUTO J. A. R., ROCHA JUNIOR W. F., PIFFER M. **Distribuição Espacial da Cotonicultura do Estado do Paraná à Região Centro – Oeste.** In: XLI CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 2004. Anais... Juiz de Fora – MG. 2004.

ULRICH, A.; HILLS, F.J. Principles and practices of plant analysis. In: HARDY, G.W. (ed.) **Soil testing and plant analysis**. Madison: Soil Science Society American, 1967. p. 11-24. (Special Publication, 2).

WADT, P.G.S.,ALVAREZ V., V.H., NOVAIS, R.F., FONSECA, S., BARROS, N.F. O método da chance matemática na interpretação de dados de levantamento nutricional de eucalipto. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 22, p. 773-778, 1998

## CAPÍTULO 2 – VALORES DE REFERÊNCIA DE NUTRIENTES PARA A CULTURA DO ALGODÃO

**RESUMO** – A cultura do algodão, cuja maior região nacional produtora é o Centro-Oeste, possui algumas indicações de valores de referência para avaliação do estado nutricional, entretanto, a maioria destes valores é oriunda dos trabalhos realizados nas décadas de 1970 e 1980. Com o objetivo de estabelecer a faixa de suficiência para o algodoeiro, foi utilizado o método da chance matemática para dados de monitoramento nutricional de três localidades produtoras de algodão do Cerrado brasileiro. O método da chance matemática foi adequado para estabelecer padrões de referência nutricional no algodoeiro, podendo subsidiar parâmetros que a pesquisa convencional não alcançaria em curto espaço de tempo. As faixas encontradas com o método da chance matemática podem ser utilizadas nos sistemas de produção existentes no Brasil, porém, é indicado que estas sejam constantemente aperfeiçoadas para atender as especificidades de cada sistema. As limitações do método poderão ser atenuadas com a ampliação do sistema de monitoramento nutricional nas lavouras de algodoeiro.

Palavras-Chave: avaliação nutricional, diagnose foliar, faixa de suficiência, *Gossypium hirsutum* r. *latifolium*.

### INTRODUÇÃO

Na avaliação do estado nutricional das plantas se estabelece uma comparação entre dados de uma amostra e respectivos valores de referência para a cultura. Esses valores são geralmente obtidos em experimentos de calibração de nutrientes, nos quais é possível controlar características genéticas e ambientais, tendo como único fator de variação o nutriente objeto de estudo.

Quanto maior for a similaridade entre as condições edafo-climáticas e culturais da lavoura que se deseja diagnosticar e as condições em que foram estabelecidos os valores de referência, maior será a confiabilidade do diagnóstico nutricional. Isso implica na necessidade de implementação de ensaios de calibração em vários locais e ao longo do tempo, para assegurar que diferenças entre características de solo, clima e potencial produtivo de variedades sejam consideradas.

Valores-padrão podem ser estabelecidos a partir de dados obtidos em talhões comerciais, que se encontram sob as mais variadas condições ecofisiológicas, por meio do método da chance matemática (WADT et al., 1998). Este método foi utilizado para cafeeiro (NOVAIS et al., 1994), eucalipto (WADT et al., 1998) e soja (URANO, 2004).

A cultura do algodão, cuja maior região produtora é o Centro-Oeste (IBGE, 2005), possui algumas indicações de valores de referência para avaliação do estado nutricional (SILVA & RAIJ, 1996; RIBEIRO et al., 1999; SOUSA & LOBATO, 2004). Entretanto, a maioria destes valores é oriunda dos trabalhos realizados no estado de São Paulo nas décadas de 1970 e 1980.

Por carência de informação, as recomendações oficiais para o algodoeiro na região Centro-Oeste (STAUT & KUIRAHARA, 2001) estão baseadas nos mesmos bancos de dados citados por SILVA et al. (1995).

Embora haja escassez de informações para o algodoeiro, a cultura já foi amplamente estudada em termos nutricionais. Tem-se a melhor época de coleta de folhas para avaliação nutricional (MEDEIROS & HAAG, 1990), o nível crítico de fósforo (MEDEIROS & HAAG, 1989; MEDEIROS & HAAG, 1990), o órgão adequado para amostragem (MEDEIROS & HAAG, 1989), variações nos teores de nutrientes em função da adubação NPK (SOUZA & BRASIL SOBRINHO, 1987a,b), dentre outros.

Com o presente trabalho procurou-se estabelecer faixas de suficiência para os nutrientes no algodoeiro, a partir de informações oriundas do monitoramento nutricional de talhões comerciais, verificando qual o potencial de resposta à adubação para atingir as produtividades de 4000 e 4500 kg $ha^{-1}$.

## MATERIAL E MÉTODOS

As informações do monitoramento nutricional são oriundas de 152 áreas, nas quais foram coletadas amostras no período correspondente a três safras (2000/2001 a 2002/2003), oriundas de talhões comerciais dos municípios Costa Rica-MS (com coordenadas geográficas 18º32' S e 53º07' W, altitude aproximada de 640 m, solo do tipo Latossolo Vermelho distrófico e clima úmido a sub-úmido, com precipitação média anual de 1500 a 1750mm, concentrada no verão); Diamantino-MT (com coordenadas geográficas 14º40' S e 56º44' W, altitude aproximada de 270 m, solo do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico e clima sub-úmido, com precipitação anual média de 1750 mm); e, Sapezal-MT (com coordenadas geográficas 13º33' S e 59º02' W, altitude aproximada de 270 m, solo do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico e clima sub-úmido, com precipitação anual média de 1750 mm) (EMBRAPA, 1981; RADAMBRASIL, 1982; RADAMBRASIL, 1983; EMBRAPA, 1999).

A distribuição das áreas avaliadas bem como a área abrangida pelo estudo se encontra na Tabela 1, enquanto os parâmetros indicativos da fertilidade do solo são apresentados na Tabela 2.

Tabela 1. Área total, área média, maior e menor talhão e número de talhões avaliados por safra e local

| | Área total | Tamanho médio do talhão | Maior talhão | Menor talhão | Número de talhões |
|---|---|---|---|---|---|
| | ----------ha---------- | | | | |
| | | | 2000/2001 | | |
| Costa Rica | 4650 | 211 | 1060 | 9 | 22 |
| Diamantino | 4913 | 307 | 395 | 272 | 16 |
| Sapezal | 4717 | 363 | 570 | 182 | 13 |
| | | | 2001/2002 | | |
| Costa Rica | 5268 | 405 | 672 | 210 | 13 |
| Diamantino | 5390 | 192 | 303 | 10 | 28 |
| Sapezal | 5287 | 378 | 647 | 100 | 14 |
| | | | 2002/2003 | | |
| Costa Rica | 4852 | 347 | 503 | 156 | 14 |
| Diamantino | 4238 | 235 | 408 | 6 | 18 |
| Sapezal | 4340 | 310 | 531 | 83 | 14 |

O manejo da cultura, nos diferentes locais, foi realizado de acordo com as necessidades da lavoura, tais como aplicações de defensivos agrícolas (inseticidas, herbicidas e fungicidas), de adubos e de corretivos. A calagem foi realizada pelo método da saturação por bases, utilizando $V_2$ = 70%, preconizado por SILVA & RAIJ (1996), sendo a dose mínima usada 0,8 t $ha^{-1}$ e a dose máxima 5,5 t $ha^{-1}$.

Tabela 2. Média dos resultados das análises químicas de solo

| | pH | MO | P | K | Ca | Mg | H+Al | S | B | Cu | Fe |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *g dm$^{-3}$* | *mg dm$^{-3}$* | *-------mmol$_c$ dm$^{-3}$-------* | | | | | *----------mg dm$^{-3}$----------* | | |
| | | | | | | **Costa Rica** | | | | | |
| 2000/2001 | 4,6 | 3,8 | 13 | 1,5 | 21 | 9 | 53 | 8,7 | 0,3 | 0,71 | 85,11 |
| 2001/2002 | 4,7 | 3,5 | 14 | 1,5 | 26 | 11 | 43 | 6,7 | 0,26 | 1,32 | 62,34 |
| 2002/2003 | 5,0 | 5,2 | 15 | 2,5 | 42 | 15 | 41 | 6,79 | 0,23 | 2,87 | 60,52 |
| | | | | | | **Diamantino** | | | | | |
| 2000/2001 | 4,8 | 3,1 | 7 | 1,1 | 22 | 7 | 45 | 3,85 | 0,19 | 0,44 | 48,22 |
| 2001/2002 | 4,8 | 3 | 27 | 1,3 | 22 | 13 | 50 | 5,95 | 0,25 | 1,35 | 46,45 |
| 2002/2003 | 5,0 | 3,3 | 16 | 2,0 | 30 | 13 | 36 | 8,01 | 0,3 | 2,67 | 73,76 |
| | | | | | | **Sapezal** | | | | | |
| 2000/2001 | 4,8 | 3,7 | 8 | 1,0 | 18 | 11 | 44 | 5,41 | 0,19 | 0,68 | 65,42 |
| 2001/2002 | 5,0 | 3,25 | 17 | 1,1 | 20 | 13 | 42 | 6,77 | 0,19 | 1,31 | 66,23 |
| 2002/2003 | 4,9 | 3,8 | 7 | 1,5 | 24 | 14 | 40 | 7,19 | 0,13 | 1,44 | 77,73 |

Por ocasião da semeadura, nas safras 2000/01 e 2001/02 foram aplicados, aproximadamente, 440 kg $ha^{-1}$ da fórmula 06-27-13 (+ 6% Ca, 2,5% S, 0,4 Zn, 0,5 B, 0,3 Mn), exceção feita ao município de Diamantino na primeira safra, onde a quantidade da fórmula utilizada foi de 330 kg $ha^{-1}$. Na safra 2002/03 foram utilizados 335 kg $ha^{-1}$ da fórmula 06-36-06 (+ 2% S, 0,5% Zn, 0,8% Mn, 0,4% Cu, 0,6% B). A adubação de cobertura foi realizada em três etapas, e a quantidade total de nutrientes aplicados encontram-se na Tabela 3. Foram realizadas pulverizações foliares, estas, porém, ocorreram após a coleta de folhas. Dentre as variedades utilizadas, destacam-se: Delta Opal, CNPA ITA 90, CNPA ITA 96, Delta Penta.

Avaliaram-se os teores foliares de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês e zinco, sendo a variável dependente, a produtividade do algodoeiro (kg $ha^{-1}$ de algodão em caroço). As amostras foram compostas por folhas completas (limbo+pecíolo) e, segundo o preconizado por RIBEIRO et al. (1999), retiradas na quinta posição, a partir do ápice, na haste principal durante o período de florescimento da

cultura, compreendendo os estádios fenológicos F2 a F4, conforme classificação de MARUR & RUANO (2001). As amostras foram lavadas e secas em estufa com circulação forçada de ar (65ºC ± 5ºC). Após a secagem, foram moídas e submetidas a determinação química dos nutrientes, conforme metodologia proposta por BATAGLIA et al. (1983).

Tabela 3. Quantidade de nutrientes aplicados em cobertura

| Local | Safra | N | $K_2O$ | S | B |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ---------- *kg ha$^{-1}$* ---------- | | | |
| Costa Rica | 2000/01 | 95 | 65 | 53 | 0,9 |
| | 2001/02 | 95 | 64 | 51 | 0,7 |
| | 2002/03 | 101 | 102 | 54 | 1,6 |
| Diamantino | 2000/01 | 117 | 48 | 55 | 1,1 |
| | 2001/02 | 93 | 64 | 50 | 0,7 |
| | 2002/03 | 94 | 84 | 48 | 1,0 |
| Sapezal | 2000/01 | 116 | 90 | 53 | 1,1 |
| | 2001/02 | 107 | 77 | 52 | 1,1 |
| | 2002/03 | 103 | 105 | 53 | 1,6 |

A análise pelo método da chance matemática foi realizada conforme indicações de WADT et al. (1998) para cada um dos nutrientes, utilizando-se duas probabilidades para cada fator, sendo calculadas da seguinte maneira:

$CHM_{Mi} = \sqrt{(P_1 \times Pm_i) \times (P_2 \times Pm_i)}$ , em que:

$CHM_{Mi}$ = Chance Matemática de um determinado nutriente (M) na classe i;

$P_1$ e $P_2$ = Probabilidades;

$Pm_i$ = Produtividade média na classe i.

As probabilidades são encontradas pelas fórmulas:

$P_1 = \frac{A_i}{A}$ e $P_2 = \frac{A_i}{C_i}$, em que:

$A_i$ = número de amostras com alta produtividade na classe i;

$A$ = número total de amostras com alta produtividade;

$C_i$ = número total de amostras na classe i.

O número de classes foi definido em função da amplitude da classe escolhida diferenciadamente para cada nutriente. A distribuição das classes foi feita conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Valores máximo e mínimo encontrados no banco de dados, amplitude escolhida de cada classe e número de classe utilizadas por nutriente avaliado

| Nutriente | Máximo | Mínimo | Amplitude da classe | Número de classes |
|---|---|---|---|---|
| | ----------*g kg$^{-1}$*---------- | | | |
| N | 68,5 | 19,8 | 2 | 25 |
| P | 5,3 | 2,1 | 0,2 | 16 |
| K | 34,8 | 5,6 | 2 | 15 |
| Ca | 43,8 | 8,0 | 2 | 18 |
| Mg | 8,8 | 2,9 | 0,2 | 30 |
| S | 8,6 | 2,1 | 0,2 | 33 |
| | ----------*mg kg$^{-1}$*---------- | | | |
| B | 115,7 | 26,2 | 3 | 30 |
| Cu | 20 | 2 | 1 | 19 |
| Fe | 990 | 90 | 30 | 31 |
| Mn | 210 | 23 | 10 | 19 |
| Zn | 105 | 20 | 5 | 17 |

Para classificação dos talhões quanto à produtividade (alta ou baixa), foram utilizados os valores de 4000 e 4500 kg ha$^{-1}$, tendo como critério para o cálculo, aproximadamente, a média e a média mais um desvio padrão respectivamente.

Após os cálculos dos respectivos valores da chance matemática para as populações de referência com produtividades > 4000 e > 4500 kg ha$^{-1}$ ($CHM_{4000}$ e $CHM_{4500}$), a escolha da faixa adequada foi realizada em função da proximidade dos maiores valores calculados para cada nutriente.

Com as faixas estabelecidas, foram indicadas as possíveis respostas à adubação com os nutrientes, utilizando o seguinte critério: áreas com possibilidade de resposta positiva à aplicação de fertilizante; áreas provavelmente sem resposta à adubação ou neutra; e, áreas com possibilidade de resposta negativa à aplicação de fertilizantes.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A utilização do método da chance matemática baseia-se na estimativa de teores foliares com maior probabilidade de apresentarem altas produtividades, ou seja, o método apresenta, como resultado, uma faixa com limites inferior e superior, e esta faixa tem uma probabilidade maior de apresentar altas produtividades quando comparada, proporcionalmente, com baixas produtividades.

Este método baseia-se no fato de que altas produtividades estão associadas a um equilíbrio nutricional das plantas; logo, para se obter produtividades acima de 4000 e 4500 kg $ha^{-1}$ é necessário que a planta tenha absorvido os nutrientes em quantidades e proporções adequadas. Assim sendo, quanto maior o número de talhões com alta produtividade e, conseqüentemente, menor a proporção de talhões com baixa produtividade numa determinada faixa, a probabilidade de acerto ao assumir esta faixa como adequada ou referencial, é bastante elevada.

A escolha do intervalo foi feita em função do agrupamento dos maiores valores de chance matemática (CHM). Para o nitrogênio, este agrupamento foi muito evidente (Tabela 5), sendo que o $CHM_{4000}$ abrangeu apenas valores > 1000 e o $CHM_{4500}$ abrangeu somente valores > 700.

As faixas adequadas para o teor de nitrogênio, obtidas por meio dos valores da chance matemática (Tabela 5), são muito semelhantes às recomendações oficiais existentes (Tabela 6). O método da Chance Matemática teve como resultado a faixa de 33 a 43 (para 4000 kg $ha^{-1}$) e 33 a 45 g de N $kg^{-1}$ de matéria seca (para 4500 kg $ha^{-1}$), sendo muito próximas das recomendadas, pois o nível crítico apresentado por TRANI et al. (1983) e MARTINEZ et al. (1999) é de 32 g de N $kg^{-1}$ e o teor mais elevado é o apresentado pela FUNDAÇÃO MT (2001), que é de 45 g de N $kg^{-1}$. Os experimentos conduzidos no estado de São Paulo na década de 1970, descritos por KIEHL et al. (1985), apresentaram maiores produtividades do algodoeiro quando os teores variavam entre 30 e 44 g de N $kg^{-1}$, resultado este semelhante ao encontrado no presente estudo. SABINO et al. (1994) encontraram resultados que indicam uma faixa de 41 a 48 g de N $kg^{-1}$ e OLIVEIRA (1994), estudando doses de nitrogênio e adubos verdes, verificaram

que os teores de nitrogênio adequados à cultura do algodoeiro eram de 38 a 42 g de N $kg^{-1}$.

Tabela 5. Distribuição das classes, produtividade média e valores da chance matemática das classes utilizadas para o nitrogênio

| Classe | Número de amostras | Produtividade média da classe | $CHM_{4000}$ | $CHM_{4500}$ |
|---|---|---|---|---|
| *g $kg^{-1}$* | | *kg $ha^{-1}$* | | |
| ≤ 21 | 1 | 4005 | 418 | 0 |
| 21 ⊣ 23 | 3 | 3490 | 210 | 0 |
| 23 ⊣ 25 | 2 | 4539 | 335 | 0 |
| 25 ⊣ 27 | 1 | 1805 | 0 | 0 |
| 27 ⊣ 29 | 1 | 3194 | 0 | 0 |
| 29 ⊣ 31 | 4 | 4295 | 672 | 368 |
| 31 ⊣ 33 | 4 | 4316 | 675 | 370 |
| 33 ⊣ 35 | 10 | 4412 | 1309 | 718 |
| 35 ⊣ 37 | 15 | 4243 | 1485 | 752 |
| 37 ⊣ 39 | 11 | 4393 | 1243 | 909 |
| 39 ⊣ 41 | 10 | 4385 | 1301 | 713 |
| 41 ⊣ 43 | 11 | 4392 | 1381 | 1363 |
| 43 ⊣ 45 | 4 | 4315 | 675 | 740 |
| 45 ⊣ 47 | 16 | 3729 | 680 | 480 |
| 47 ⊣ 49 | 7 | 3783 | 298 | 0 |
| 49 ⊣ 51 | 9 | 3714 | 387 | 0 |
| 51 ⊣ 53 | 9 | 3972 | 552 | 227 |
| 53 ⊣ 55 | 8 | 3787 | 558 | 0 |
| 55 ⊣ 57 | 7 | 3985 | 628 | 258 |
| 57 ⊣ 59 | 3 | 3617 | 0 | 0 |
| 59 ⊣ 61 | 4 | 3857 | 402 | 0 |
| 61 ⊣ 63 | 3 | 3482 | 210 | 0 |
| 63 ⊣ 65 | 2 | 3822 | 282 | 0 |
| 65 ⊣ 67 | 5 | 3826 | 178 | 0 |
| > 67 | 2 | 3885 | 286 | 0 |

É possível observar que a faixa adequada para o teor de nitrogênio é bastante semelhante nas diversas recomendações existentes. Embora as condições não sejam controladas, o método da chance matemática possui a vantagem de utilizar dados oriundos de talhões comerciais, os quais são fidedignos ao setor de produção, no qual a informação será utilizada com maior freqüência. A amplitude da resposta pode indicar, também, uma maleabilidade no manejo da adubação nitrogenada, pois a flexibilização dos teores foliares de nitrogênio acarretará em mudanças nas quantidades e época de

aplicação dos adubos em cobertura, além de influenciar no manejo de reguladores de crescimento, normalmente empregados nesta cultura.

Tabela 6. Valores de referência para macronutrientes na cultura do algodão

| | N | P | K | Ca | Mg | S |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ---------- | ---------- | ---------- g kg$^{-1}$ ---------- | ---------- | ---------- | ---------- |
| $CHM_{4000}$ [1] | 33-43 | 2,6-5,0 | 11-25 | 16-36 | 3,0-7,2 | 2,8-8,0 |
| $CHM_{4500}$ [1] | 33-45 | 3,8-5,3 | 15-21 | 20-36 | 4,0-7,2 | 2,8-8,6 |
| Silva (1995)[1] | 35 | 2,5 | 15 | 20 | 3 | 4 |
| Martinez et al. (1999)[1] | 32 | 1,7 | 15 | 20 | 5 | 4 |
| Silva e Raij (1996)[2] | 35-43 | 2,5-4,0 | 15-25 | 20-35 | 3-8 | 4-8 |
| FUNDAÇÃO MT (2001)[2] | 40-45 | 3,2 | 20 | - | - | - |
| Oliveira (2004)[2] | 35-40 | 2-4 | 15-25 | 20-35 | 3-8 | 4-8 |
| Malavolta et al. (1997)[3] | 35-40 | 2-2,5 | 14-16 | 30-40 | 4-5 | 2-3 |
| Yamada & Lopes (1998)[3] | - | - | - | 25-35 | 4-8 | 4-6 |

[1] Folha completa (limbo+pecíolo); [2] Limbo foliar; [3] Não identificado.

A distribuição dos valores de CHM para o fósforo (Tabela 7) foi um pouco dispersa, logo, para a escolha da faixa ideal para o algodoeiro foram agrupados valores > 700 kg ha$^{-1}$ no $CHM_{4000}$ e > 800 kg ha$^{-1}$ no $CHM_{4500}$, incluindo-se, porém, valores menores que estivessem na seqüência dos dados.

Tabela 7. Distribuição das classes, produtividade média e valores da chance matemática das classes utilizadas para o fósforo

| Classe | Número de amostras | Produtividade média da classe | $CHM_{4000}$ | $CHM_{4500}$ |
|---|---|---|---|---|
| *g kg$^{-1}$* | | ---------- *kg ha$^{-1}$* ---------- | | |
| ≤ 2,2 | 3 | 3838 | 231 | 0 |
| 2,2 ⊣ 2,4 | 7 | 3894 | 307 | 0 |
| 2,4 ⊣ 2,6 | 8 | 4064 | 449 | 493 |
| 2,6 ⊣ 2,8 | 8 | 4033 | 743 | 245 |
| 2,8 ⊣ 3,0 | 11 | 4179 | 1314 | 648 |
| 3,0 ⊣ 3,2 | 11 | 3583 | 563 | 0 |
| 3,2 ⊣ 3,4 | 13 | 3921 | 907 | 560 |
| 3,4 ⊣ 3,6 | 10 | 3631 | 359 | 0 |
| 3,6 ⊣ 3,8 | 8 | 3527 | 390 | 0 |
| 3,8 ⊣ 4,0 | 16 | 4072 | 955 | 873 |
| 4,0 ⊣ 4,2 | 17 | 4379 | 1550 | 911 |
| 4,2 ⊣ 4,4 | 10 | 4394 | 1304 | 1191 |
| 4,4 ⊣ 4,6 | 12 | 4217 | 1015 | 835 |
| 4,6 ⊣ 4,8 | 12 | 3995 | 721 | 593 |
| 4,8 ⊣ 5,0 | 5 | 4226 | 788 | 648 |
| > 5,0 | 1 | 4940 | 515 | 847 |

Para o fósforo, o método da chance matemática resultou em valores de referência elevados, sendo estes próximos dos apresentados por SILVA & RAIJ (1996), FUNDAÇÃO MT (2001) e OLIVEIRA (2004), muito embora tenham ultrapassado a todos, tendo o limite superior atingindo 5,6 g de P $kg^{-1}$ (Tabela 7). Os valores encontrados foram bastante superiores aos indicados por ROSOLEM et al. (2000), que encontraram concentrações foliares de fósforo entre 2,3 e 2,6 g $kg^{-1}$. O maior teor de fósforo está, também, relacionado às novas variedades de algodoeiro, uma vez que quanto mais produtiva, dependendo da eficiência da planta na utilização do nutriente, poderá haver maior demanda. Outra característica varietal é a capacidade e, ou, eficiência da planta em absorver P do solo (EPSTEIN, 1975). Atualmente, trabalhos de melhoramento do algodoeiro estão sendo desenvolvidos em solos originalmente sob vegetação de Cerrado, os quais possuem, normalmente, baixas concentrações de fósforo disponível, e quando se aplica fertilizantes fosfatados, estes solos tendem a atuar como dreno de fósforo (NOVAIS & SMYTH, 1999), devido a presença de óxidos e sesquióxidos de ferro e alumínio, abundantemente encontrados nessas condições.

O potássio foi agrupado, conforme pode ser visualizado na Tabela 8, pelos valores de $CHM_{4000}$ > 600 kg $ha^{-1}$ e $CHM_{4500}$ > 1000 kg $ha^{-1}$. As faixas encontradas foram compatíveis com outras recomendações (Tabela 6). Ao ser comparado com as melhores produções encontradas por ROSOLEM & MACHADO (1984), cujos teores considerados adequados foram de 13,3 a 15,9 g $kg^{-1}$, observa-se que o método da chance matemática teve como resultado valores superiores. Enfatizando a recomendação feita pela FUNDAÇÃO MT (2001), que publica resultados direcionados ao estado de Mato Grosso, encontra-se grande disparidade: o nível crítico recomendado pela Fundação (20 g de K $kg^{-1}$) é o limite superior apresentado pelo método da chance matemática. Na agricultura, a utilização de intervalos de confiança, comparativamente ao nível crítico, tende a ser mais interessante, pois proporciona maior flexibilidade na recomendação de fertilizantes, uma vez que o escopo da fertilidade tende a ser construído gradativamente com o manejo do solo e empregando técnicas como a potassagem.

Tabela 8. Distribuição das classes, produtividade média e valores da chance matemática das classes utilizadas para o potássio

| Classe | Número de amostras | Produtividade média da classe | $CHM_{4000}$ | $CHM_{4500}$ |
|---|---|---|---|---|
| *g kg$^{-1}$* | | *kg ha$^{-1}$* | | |
| ≤ 7 | 1 | 4169 | 435 | 0 |
| 7 ┤ 9 | 2 | 3776 | 278 | 0 |
| 9 ┤ 11 | 3 | 3890 | 468 | 0 |
| 11 ┤ 13 | 9 | 4061 | 988 | 0 |
| 13 ┤ 15 | 15 | 4055 | 982 | 359 |
| 15 ┤ 17 | 23 | 4264 | 1483 | 1220 |
| 17 ┤ 19 | 24 | 4306 | 1558 | 1658 |
| 19 ┤ 21 | 28 | 4106 | 1456 | 1065 |
| 21 ┤ 23 | 11 | 3732 | 704 | 0 |
| 23 ┤ 25 | 13 | 3929 | 682 | 561 |
| 25 ┤ 27 | 9 | 3619 | 377 | 414 |
| 27 ┤ 29 | 10 | 3705 | 366 | 0 |
| 29 ┤ 31 | 2 | 3643 | 269 | 0 |
| 31 ┤ 33 | 1 | 3738 | 0 | 0 |
| > 33 | 1 | 3050 | 0 | 0 |

A escolha da faixa adequada para o cálcio, a exemplo do fósforo, compreende valores de CHM menores do que os utilizados para a separação das classes. Na Tabela 9 é possível observar este fenômeno. Os valores utilizados para $CHM_{4000}$ foram aqueles superiores a 700 kg ha$^{-1}$, enquanto para o $CHM_{4500}$ foram utilizados valores superiores a 600 kg ha$^{-1}$. Essa dispersão dos valores de CHM também foi observada para o magnésio (Tabela 10), porém, a falta de agrupamento dos maiores valores em classes próximas dificultou a escolha da faixa adequada. Logo, para $CHM_{4000}$ foram incorporadas todas as classes até 7,2 g de Mg kg$^{-1}$, visto que não foi possível agrupar os dados. Este fato pode indicar que, na realidade, este nutriente não foi o fator limitante nas áreas avaliadas. O critério para abrangência da faixa quando a população de referência de 4500 kg ha$^{-1}$ foi quando $CHM_{4500}$ calculado era diferente de zero. Mais uma vez, é levantada hipótese de que provavelmente o magnésio não tenha sido limitante em qualquer das áreas avaliadas, devido a ocorrência de altos valores de CHM em classes distantes umas das outras (Tabela 10). Esta hipótese pode, também, ser aplicada no caso do enxofre (Tabela 11).

Tabela 9. Distribuição das classes, produtividade média e valores da chance matemática das classes utilizadas para o cálcio

| Classe | Número de amostras | Produtividade média da classe | $CHM_{4000}$ | $CHM_{4500}$ |
|---|---|---|---|---|
| *g kg$^{-1}$* | | *kg ha$^{-1}$* | | |
| ≤ 10 | 1 | 4233 | 441 | 0 |
| 10 ┤ 12 | 3 | 3825 | 230 | 0 |
| 12 ┤ 14 | 4 | 4077 | 425 | 0 |
| 14 ┤ 16 | 8 | 3879 | 572 | 0 |
| 16 ┤ 18 | 13 | 3865 | 782 | 184 |
| 18 ┤ 20 | 15 | 3900 | 1050 | 173 |
| 20 ┤ 22 | 16 | 3928 | 717 | 674 |
| 22 ┤ 24 | 9 | 3338 | 348 | 0 |
| 24 ┤ 26 | 12 | 3604 | 434 | 178 |
| 26 ┤ 28 | 13 | 4360 | 1261 | 1244 |
| 28 ┤ 30 | 18 | 4487 | 1654 | 1632 |
| 30 ┤ 32 | 15 | 4246 | 1257 | 752 |
| 32 ┤ 34 | 9 | 4403 | 1071 | 1007 |
| 34 ┤ 36 | 11 | 4150 | 1174 | 644 |
| 36 ┤ 38 | 1 | 3204 | 0 | 0 |
| 38 ┤ 40 | 2 | 4017 | 296 | 487 |
| 40 ┤ 42 | 0 | -- | -- | -- |
| > 42 | 2 | 3690 | 0 | 0 |

Ao se comparar os resultados obtidos para cálcio e magnésio com o trabalho de ROSOLEM & MACHADO (1984), evidencia-se que os teores apresentados por estes autores são menores para cálcio (35,6 a 38,3 mg kg$^{-1}$) e coincidentes para magnésio (5,3 a 5,8 mg kg$^{-1}$).

O boro no algodoeiro é, do ponto de vista comercial, o micronutriente mais importante, pois várias empresas têm na cultura do algodão o maior nicho de mercado para adubos contendo boro. Este fato está relacionado à alta resposta da cultura ao nutriente (SILVA et al., 1982; CARVALHO, 1988), pois nos solos brasileiros a concentração de B não supre a quantidade requerido pelo algodoeiro. A faixa ótima para o boro, obtida através do método da chance matemática, foi superior a maioria das fontes bibligráficas utilizadas como padrão na interpretação da análise química de folhas (TRANI et al., 1983; SILVA et al., 1995; SILVA & RAIJ, 1996; MALAVOLTA et al., 1997; MARTINEZ et al., 1999; OLIVEIRA, 2004), sendo exceção a faixa apresentada por YAMADA & LOPES (1998), cujos valores foram próximos ao da chance matemática (Tabela 12).

Tabela 10. Distribuição das classes, produtividade média e valores da chance matemática das classes utilizadas para o magnésio

| Classe | Número de amostras | Produtividade média da classe | $CHM_{4000}$ | $CHM_{4500}$ |
|---|---|---|---|---|
| *g kg$^{-1}$* | | *kg ha$^{-1}$* | | |
| ≤ 3,0 | 6 | 4138 | 881 | 0 |
| 3,0 ⊣ 3,2 | 4 | 3920 | 613 | 0 |
| 3,2 ⊣ 3,4 | 2 | 3764 | 0 | 0 |
| 3,4 ⊣ 3,6 | 3 | 4066 | 489 | 0 |
| 3,6 ⊣ 3,8 | 3 | 3902 | 235 | 0 |
| 3,8 ⊣ 4,0 | 3 | 3466 | 0 | 0 |
| 4,0 ⊣ 4,2 | 9 | 4101 | 713 | 703 |
| 4,2 ⊣ 4,4 | 7 | 4163 | 820 | 270 |
| 4,4 ⊣ 4,6 | 10 | 4258 | 1123 | 924 |
| 4,6 ⊣ 4,8 | 9 | 3951 | 687 | 226 |
| 4,8 ⊣ 5,0 | 9 | 3977 | 691 | 227 |
| 5,0 ⊣ 5,2 | 4 | 4153 | 433 | 356 |
| 5,2 ⊣ 5,4 | 17 | 4136 | 1255 | 688 |
| 5,4 ⊣ 5,6 | 21 | 3943 | 987 | 443 |
| 5,6 ⊣ 5,8 | 8 | 3822 | 423 | 232 |
| 5,8 ⊣ 6,0 | 8 | 3819 | 563 | 232 |
| 6,0 ⊣ 6,2 | 11 | 4116 | 1035 | 1064 |
| 6,2 ⊣ 6,4 | 5 | 4351 | 811 | 1001 |
| 6,4 ⊣ 6,6 | 2 | 4582 | 676 | 1111 |
| 6,6 ⊣ 6,8 | 4 | 4347 | 680 | 373 |
| 6,8 ⊣ 7,0 | 2 | 4457 | 657 | 540 |
| 7,0 ⊣ 7,2 | 2 | 4818 | 710 | 1169 |
| 7,2 ⊣ 7,4 | 0 | -- | -- | -- |
| 7,4 ⊣ 7,6 | 0 | -- | -- | -- |
| 7,6 ⊣ 7,8 | 0 | -- | -- | -- |
| 7,8 ⊣ 8,0 | 2 | 2936 | 0 | 0 |
| 8,0 ⊣ 8,2 | 0 | -- | -- | -- |
| 8,2 ⊣ 8,4 | 0 | -- | -- | -- |
| 8,4 ⊣ 8,6 | 0 | -- | -- | -- |
| > 8,6 | 1 | 1805 | 0 | 0 |

Em experimento para comparar modos de aplicação de boro, realizado por CARVALHO et al. (1996a), as maiores produtividades foram associadas à teores foliares de boro variando de 22 a 52 mg kg$^{-1}$, valores estes abaixo do estimado pelo método da chance matemática, porém, semelhantes à outras fontes de referência (TRANI et al., 1983; SILVA et al., 1995; SILVA & RAIJ, 1996; MALAVOLTA et al., 1997; YAMADA & LOPES, 1998; MARTINEZ et al., 1999; OLIVEIRA, 2004). Entretanto, os resultados obtidos por CARVALHO et al. (1996b) associaram as maiores produtividades

à teores foliares de boro no intervalo de 43 a 86 mg de B $kg^{-1}$, corroborando com a faixa ótima estabelecida no presente estudo.

Tabela 11. Distribuição das classes, produtividade média e valores da chance matemática das classes utilizadas para o enxofre

| Classe | Número de amostras | Produtividade média da classe | $CHM_{4000}$ | $CHM_{4500}$ |
|---|---|---|---|---|
| *g $kg^{-1}$* | | *kg $ha^{-1}$* | | |
| ≤ 2,2 | 2 | 3533 | 260 | 0 |
| 2,2 ⊣ 2,4 | 3 | 3920 | 472 | 0 |
| 2,4 ⊣ 2,6 | 6 | 3924 | 668 | 0 |
| 2,6 ⊣ 2,8 | 6 | 3390 | 144 | 0 |
| 2,8 ⊣ 3,0 | 7 | 4484 | 883 | 1163 |
| 3,0 ⊣ 3,2 | 15 | 4187 | 1240 | 556 |
| 3,2 ⊣ 3,4 | 13 | 4169 | 1085 | 595 |
| 3,4 ⊣ 3,6 | 5 | 4248 | 792 | 652 |
| 3,6 ⊣ 3,8 | 20 | 3861 | 810 | 148 |
| 3,8 ⊣ 4,0 | 6 | 3675 | 469 | 0 |
| 4,0 ⊣ 4,2 | 9 | 3844 | 534 | 220 |
| 4,2 ⊣ 4,4 | 5 | 3992 | 372 | 612 |
| 4,4 ⊣ 4,6 | 4 | 3515 | 0 | 0 |
| 4,6 ⊣ 4,8 | 7 | 4012 | 632 | 520 |
| 4,8 ⊣ 5,0 | 6 | 4128 | 703 | 578 |
| 5,0 ⊣ 5,2 | 5 | 4211 | 785 | 323 |
| 5,2 ⊣ 5,4 | 4 | 3788 | 592 | 325 |
| 5,4 ⊣ 5,6 | 7 | 3976 | 627 | 258 |
| 5,6 ⊣ 5,8 | 2 | 4299 | 317 | 521 |
| 5,8 ⊣ 6,0 | 1 | 3077 | 0 | 0 |
| 6,0 ⊣ 6,2 | 1 | 4097 | 427 | 0 |
| 6,2 ⊣ 6,4 | 1 | 4521 | 471 | 775 |
| 6,4 ⊣ 6,6 | 0 | -- | -- | -- |
| 6,6 ⊣ 6,8 | 1 | 5059 | 527 | 868 |
| 6,8 ⊣ 7,0 | 5 | 4107 | 574 | 315 |
| 7,0 ⊣ 7,2 | 2 | 4335 | 639 | 526 |
| 7,2 ⊣ 7,4 | 4 | 4437 | 694 | 761 |
| 7,4 ⊣ 7,6 | 0 | -- | -- | -- |
| 7,6 ⊣ 7,8 | 1 | 5007 | 522 | 859 |
| 7,8 ⊣ 8,0 | 3 | 4671 | 843 | 925 |
| 8,0 ⊣ 8,2 | 0 | -- | -- | -- |
| 8,2 ⊣ 8,4 | 0 | -- | -- | -- |
| > 8,4 | 1 | 4541 | 473 | 779 |

Para a escolha das faixas para o boro foram utilizadas as classes que apresentaram valores de CHM superiores a 600 kg $ha^{-1}$, para ambas as referências (4000 e 4500 kg $ha^{-1}$), incluindo valores de CHM menores que estavam entre estas

classes, excluindo-se pontos isolados, como o $CHM_{4000}$ da classe 29 ┤ 32 e o $CHM_{4500}$ da classe 104 ┤ 107 (Tabela 13).

Tabela 12. Valores de referência para micronutrientes na cultura do algodão

| | B | Cu | Fe | Mn | Zn |
|---|---|---|---|---|---|
| | ---------- | ---------- | mg $kg^{-1}$ | ---------- | ---------- |
| $CHM_{4000}$ [1] | 41-89 | 4-14 | 90-230 | 23-100 | 25-50 |
| $CHM_{4500}$ [1] | 53-83 | 4-12 | 110-440 | 40-60 | 25-50 |
| Martinez et al. (1999)[2] | 50 | 8 | 70 | 200 | 30 |
| Silva & Raij (1996)[1] | 30-50 | 5-25 | 40-250 | 25-300 | 25-200 |
| Silva (1995)[2] | 30 | 15 | 70 | 70 | 50 |
| Malavolta et al. (1997)[3] | 20-30 | 30-40 | 60-80 | 20-40 | 10-15 |
| Oliveira (2004)[1] | 30-50 | 5-25 | 40-250 | 25-300 | 25-200 |
| Yamada & Lopes (1998)[3] | 40-80 | 10-15 | 80-250 | 35-80 | 30-40 |
| Trani et al. (1983)[3] | 52 | 8 | - | - | 30 |

[1] Folha completa (limbo+pecíolo); [2] Limbo foliar; [3] Não identificado.

Com exceção do boro, trabalhos envolvendo micronutrientes no algodoeiro são bastantes escassos, não sendo encontrados na última década pesquisas nacionais que apresentem valores de referência para teores foliares destes elementos.

Os valores de cobre para a faixa ótima na cultura do algodão, obtidos por meio do método da chance matemática, foram os de menor amplitude, quando comparados aos valores de referência existentes na literatura nacional (Tabela 12). Este micronutriente é pouco absorvido pelo algodoeiro, não sendo comum encontrar trabalhos cujo objeto de estudo seja este elemento, provavelmente por não ser limitante na maioria dos locais de cultivo desta fibrosa.

Na Tabela 14 é possível observar que as classes com maiores valores de CHM estavam um pouco dispersas, sendo que, para fixar a faixa deste nutriente foram adotados valores de $CHM_{4000} > 900$ kg $^{-1}$ e $CHM_{4500} > 1000$ kg $ha^{-1}$, incluindo as classes que possuíam valores menores, porém, estavam entre a primeira e a última classe que privilegiasse a condição proposta.

As faixas para o ferro foram aquelas que possuíam $CHM_{4000} > 900$ kg $ha^{-1}$, enquanto que para a população de referência de 4500 kg $ha^{-1}$, os valores de CHM não estão próximos, adotando-se como critério todas as classes compreendidas entre a primeira e a última classe que apresentou $CHM_{4500} > 500$ kg $ha^{-1}$.

Tabela 13. Distribuição das classes, produtividade média e valores da chance matemática das classes utilizadas para o boro

| Classe | Número de amostras | Produtividade média da classe | $CHM_{4000}$ | $CHM_{4500}$ |
|---|---|---|---|---|
| *mg kg$^{-1}$* | | *kg ha$^{-1}$* | | |
| ≤ 29 | 1 | 4016 | 419 | 0 |
| 29 ┤ 32 | 2 | 4460 | 658 | 541 |
| 32 ┤ 35 | 1 | 4485 | 468 | 0 |
| 35 ┤ 38 | 5 | 4188 | 586 | 321 |
| 38 ┤ 41 | 5 | 3954 | 184 | 0 |
| 41 ┤ 44 | 12 | 4029 | 970 | 399 |
| 44 ┤ 47 | 10 | 3869 | 383 | 210 |
| 47 ┤ 50 | 17 | 4035 | 1122 | 504 |
| 50 ┤ 53 | 9 | 4196 | 1167 | 480 |
| 53 ┤ 56 | 12 | 4104 | 1112 | 610 |
| 56 ┤ 59 | 14 | 3943 | 769 | 542 |
| 59 ┤ 62 | 15 | 4099 | 883 | 1089 |
| 62 ┤ 65 | 6 | 3767 | 481 | 0 |
| 65 ┤ 68 | 9 | 3651 | 254 | 417 |
| 68 ┤ 71 | 7 | 3699 | 437 | 0 |
| 71 ┤ 74 | 3 | 4179 | 755 | 0 |
| 74 ┤ 77 | 5 | 4518 | 843 | 1040 |
| 77 ┤ 80 | 3 | 4324 | 521 | 856 |
| 80 ┤ 83 | 5 | 4318 | 805 | 662 |
| 83 ┤ 86 | 3 | 4275 | 772 | 423 |
| 86 ┤ 89 | 2 | 4296 | 633 | 0 |
| 89 ┤ 92 | 1 | 4048 | 422 | 0 |
| 92 ┤ 95 | 1 | 3412 | 0 | 0 |
| 95 ┤ 98 | 1 | 3608 | 0 | 0 |
| 98 ┤ 101 | 0 | -- | -- | -- |
| 101 ┤ 104 | 0 | -- | -- | -- |
| 104 ┤ 107 | 1 | 4768 | 497 | 818 |
| 107 ┤ 110 | 0 | -- | -- | -- |
| 110 ┤ 113 | 1 | 3723 | 0 | 0 |
| > 113 | 1 | 3684 | 0 | 0 |

Os valores encontrados para a faixa ótima de ferro, tendo como referência áreas com produtividade maior que 4000 kg ha$^{-1}$, foram coincidentes com alguns valores referenciais da literatura nacional (SILVA & RAIJ, 1996; YAMADA & LOPES, 1998; OLIVEIRA, 2004). Quando utilizada como referência produtividades maiores que 4500 kg ha$^{-1}$, a faixa encontrada foi maior que as apresentadas nas recomendações (Tabela 12). Na maioria dos solos, o ferro possui abundância natural que supre adequadamente

a demanda da cultura, motivo pelo qual há escassez de trabalhos realizados com adubação exclusiva com este nutriente.

Tabela 14. Distribuição das classes, produtividade média e valores da chance matemática das classes utilizadas para o cobre

| Classe | Número de amostras | Produtividade média da classe | $CHM_{4000}$ | $CHM_{4500}$ |
|---|---|---|---|---|
| *mg kg$^{-1}$* | | *kg ha$^{-1}$* | | |
| ≤ 2 | 1 | 4117 | 429 | 0 |
| 2 ┤ 3 | 0 | -- | -- | -- |
| 3 ┤ 4 | 0 | -- | -- | -- |
| 4 ┤ 5 | 4 | 4780 | 997 | 1230 |
| 5 ┤ 6 | 6 | 3982 | 678 | 558 |
| 6 ┤ 7 | 11 | 3890 | 245 | 0 |
| 7 ┤ 8 | 18 | 3851 | 757 | 934 |
| 8 ┤ 9 | 24 | 3961 | 1264 | 693 |
| 9 ┤ 10 | 40 | 4101 | 1825 | 778 |
| 10 ┤ 11 | 16 | 4092 | 1067 | 351 |
| 11 ┤ 12 | 13 | 4270 | 988 | 1016 |
| 12 ┤ 13 | 8 | 3942 | 581 | 239 |
| 13 ┤ 14 | 7 | 4281 | 1181 | 555 |
| 14 ┤ 15 | 0 | -- | -- | -- |
| 15 ┤ 16 | 1 | 4124 | 430 | 0 |
| 16 ┤ 17 | 2 | 3855 | 0 | 0 |
| 17 ┤ 18 | 0 | -- | -- | -- |
| 18 ┤ 19 | 0 | -- | -- | -- |
| > 19 | 1 | 4159 | 434 | 0 |

A faixa ótima para manganês foi encontrada utilizando como critérios classes com $CHM_{4000}$ > 900 kg ha$^{-1}$ e $CHM_{4500}$ > 1000 kg ha$^{-1}$. Para o manganês a faixa ficou muito evidente, pois os maiores CHM estão agrupados (Tabela 16).

O intervalo encontrado como adequado para os teores de manganês, utilizando-se o $CHM_{4500}$, foi bastante semelhante ao apresentado por YAMADA & LOPES (1998) (Tabela 12), demonstrando que faixas muito amplas, como as empregadas em várias recomendações, podem ser desnecessárias, pois é possível obter boas respostas em termos de produtividade com faixas mais estreitas e com limite superior muito abaixo do empregado por várias fontes da literatura. Embora um pouco mais ampla, a faixa encontrada quando da utilização da população de referência com produtividades superiores a 4000 kg ha$^{-1}$ também pode ser considerada estreita, com aplitude de

aproximadamente 80, em contrapartida com as amplitudes apresentadas por SILVA & RAIJ (1996) e OLIVEIRA (2004), que foram de 275.

Tabela 15. Distribuição das classes, produtividade média e valores da chance matemática das classes utilizadas para o ferro

| Fe | Número de amostras | Produtividade média da classe | $CHM_{4000}$ | $CHM_{4500}$ |
|---|---|---|---|---|
| *mg kg$^{-1}$* | | *kg ha$^{-1}$* | | |
| ≤ 110 | 14 | 4177 | 1047 | 574 |
| 110 ┤ 140 | 28 | 3972 | 1409 | 129 |
| 140 ┤ 170 | 24 | 3882 | 991 | 951 |
| 170 ┤ 200 | 23 | 4339 | 1792 | 1396 |
| 200 ┤ 230 | 6 | 4384 | 1120 | 307 |
| 230 ┤ 260 | 3 | 4064 | 489 | 805 |
| 260 ┤ 290 | 5 | 3797 | 531 | 291 |
| 290 ┤ 320 | 2 | 4590 | 677 | 1113 |
| 320 ┤ 350 | 3 | 3778 | 227 | 374 |
| 350 ┤ 380 | 6 | 3717 | 475 | 260 |
| 380 ┤ 410 | 7 | 4259 | 839 | 828 |
| 410 ┤ 440 | 2 | 4745 | 700 | 575 |
| 440 ┤ 470 | 3 | 4392 | 529 | 435 |
| 470 ┤ 500 | 3 | 3904 | 235 | 0 |
| 500 ┤ 530 | 3 | 3483 | 0 | 0 |
| 530 ┤ 560 | 2 | 4088 | 603 | 0 |
| 560 ┤ 590 | 0 | -- | -- | -- |
| 590 ┤ 620 | 2 | 4294 | 591 | 486 |
| 620 ┤ 650 | 2 | 4005 | 561 | 0 |
| 650 ┤ 680 | 2 | 3805 | 0 | 0 |
| 680 ┤ 710 | 2 | 3845 | 283 | 0 |
| 710 ┤ 740 | 1 | 3738 | 0 | 0 |
| 740 ┤ 770 | 3 | -- | -- | -- |
| 770 ┤ 800 | 1 | 3643 | 0 | 0 |
| 800 ┤ 830 | 1 | 3077 | 0 | 0 |
| 830 ┤ 860 | 1 | 3643 | 0 | 0 |
| 860 ┤ 890 | 0 | -- | -- | -- |
| 890 ┤ 920 | 0 | -- | -- | -- |
| 920 ┤ 950 | 1 | 3608 | 0 | 0 |
| 950 ┤ 980 | 1 | 3239 | 0 | 0 |
| > 980 | 1 | 3486 | 0 | 0 |

Da mesma maneira que o manganês, os maiores valores CHM de zinco também estavam agrupados, sendo utilizados valores de $CHM_{4000}$ > 1000 kg ha$^{-1}$ e $CHM_{4500}$ > 600 kg ha$^{-1}$, excluindo-se um único dado isolado na classe > 100 mg kg$^{-1}$ (última classe para o zinco) (Tabela 17).

Tabela 16. Distribuição das classes, produtividade média e valores da chance matemática das classes utilizadas para o manganês

| Classe | Número de amostras | Produtividade média da classe | $CHM_{4000}$ | $CHM_{4500}$ |
|---|---|---|---|---|
| *mg kg$^{-1}$* | | *kg ha$^{-1}$* | | |
| ≤ 30 | 19 | 4009 | 1055 | 473 |
| 30 ┤ 40 | 32 | 3927 | 1230 | 476 |
| 40 ┤ 50 | 23 | 4042 | 1054 | 1156 |
| 50 ┤ 60 | 22 | 4283 | 1523 | 1253 |
| 60 ┤ 70 | 18 | 4012 | 1183 | 324 |
| 70 ┤ 80 | 7 | 4146 | 817 | 269 |
| 80 ┤ 90 | 8 | 4165 | 921 | 758 |
| 90 ┤ 100 | 3 | 4209 | 760 | 417 |
| 100 ┤ 110 | 3 | 3620 | 218 | 358 |
| 110 ┤ 120 | 2 | 4442 | 655 | 539 |
| 120 ┤ 130 | 3 | 3983 | 479 | 394 |
| 130 ┤ 140 | 0 | -- | -- | -- |
| 140 ┤ 150 | 3 | 3956 | 476 | 0 |
| 150 ┤ 160 | 3 | 3345 | 201 | 331 |
| 160 ┤ 170 | 0 | -- | -- | -- |
| 170 ┤ 180 | 1 | 3838 | 0 | 0 |
| 180 ┤ 190 | 2 | 4254 | 627 | 0 |
| 190 ┤ 200 | 1 | 3142 | 0 | 0 |
| > 200 | 2 | 3845 | 0 | 0 |

Na interpretação dos resultados obtidos para o zinco, verifica-se que dentre as recomendações existentes hoje, há bastante divergência, sendo que a faixa ótima encontrada pelo método da chance matemática ficou próxima daquela apresentada por YAMADA & LOPES (1998) (Tabela 12).

De uma maneira geral, ao utilizar as faixas determinadas pelo método da chance matemática, tendo como referência áreas ou talhões com produtividade acima de 4000 kg ha$^{-1}$, verifica-se que a grande maioria das lavouras não necessitaria de ajustes na adubação empregada, somente monitoramento da aplicação de adubos nitrogenados, pois, aproximadamente metade das áreas pode apresentar efeitos negativos com a aplicação de nitrogênio (Figura 1), ou seja, a aplicação de adubos podem causar diminuição na produtividade em função do excesso de nitrogênio.

Ao utilizar as faixas obtidas na população de referência com produtividade ≥ 4500 kg ha$^{-1}$ (Figura 2) para avaliar o potencial de resposta da cultura à adubação, verifica-se, também, um provável efeito depressivo quando da aplicação de fertilizantes

nitrogenados. Este mesmo efeito poderá ocorrer em 37% e 31% das lavouras avaliadas quando da adubação contendo manganês e potássio, respectivamente.

Tabela 17. Distribuição das classes, produtividade média e valores da chance matemática das classes utilizadas para o zinco

| Classe | Número de amostras | Produtividade média da classe | $CHM_{4000}$ | $CHM_{4500}$ |
|---|---|---|---|---|
| *mg kg$^{-1}$* | | *kg ha$^{-1}$* | | |
| ≤ 25 | 8 | 4445 | 1311 | 809 |
| 25 ┤ 30 | 19 | 4044 | 1064 | 796 |
| 30 ┤ 35 | 16 | 4145 | 1188 | 711 |
| 35 ┤ 40 | 30 | 4057 | 1313 | 1016 |
| 40 ┤ 45 | 21 | 4088 | 1395 | 612 |
| 45 ┤ 50 | 21 | 4142 | 1131 | 930 |
| 50 ┤ 55 | 9 | 3940 | 685 | 225 |
| 55 ┤ 60 | 9 | 3684 | 384 | 211 |
| 60 ┤ 65 | 4 | 4329 | 903 | 371 |
| 65 ┤ 70 | 1 | 2701 | 0 | 0 |
| 70 ┤ 75 | 5 | 3964 | 554 | 0 |
| 75 ┤ 80 | 5 | 2965 | 0 | 0 |
| 80 ┤ 85 | 0 | -- | -- | -- |
| 85 ┤ 90 | 0 | -- | -- | -- |
| 90 ┤ 95 | 2 | -- | -- | -- |
| 95 ┤ 100 | 1 | 3803 | 0 | 0 |
| > 100 | 1 | 4561 | 476 | 782 |

A provável resposta positiva da cultura poderá ocorrer em 50% e 41% das lavouras, quando da adubação fosfatada e boratada, respectivamente, uma vez que para este dois nutrientes, de acordo com os resultados baseados no $CHM_{4500}$, os teores foliares destes elementos podem ser melhorados.

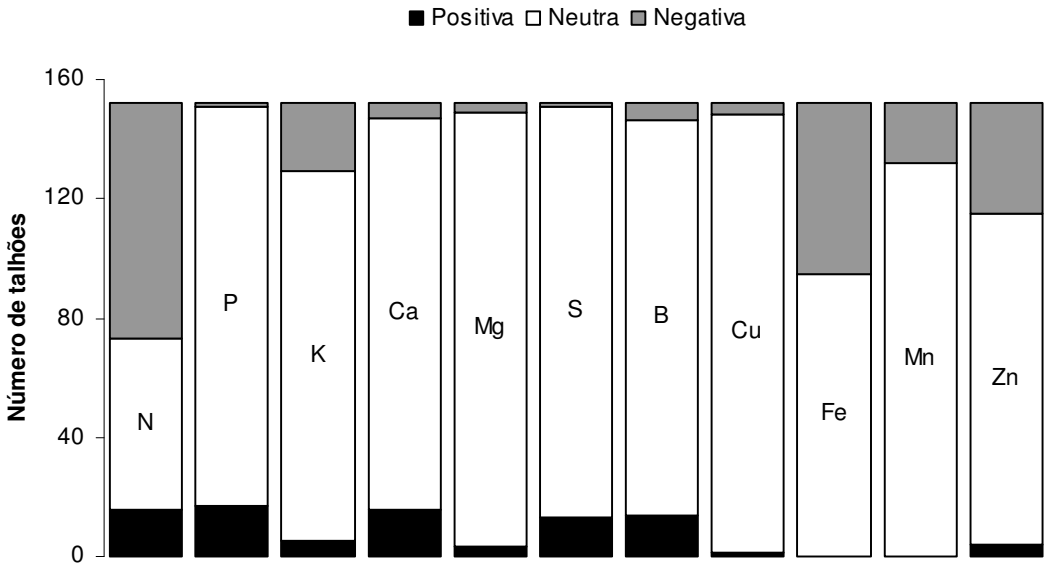



Figura 1. Diagnóstico do potencial de resposta à adubação de acordo com a faixa estabelecida pelo método da chance matemática, utilizando a produtividade de referência ≥ 4000 kg $ha^{-1}$.

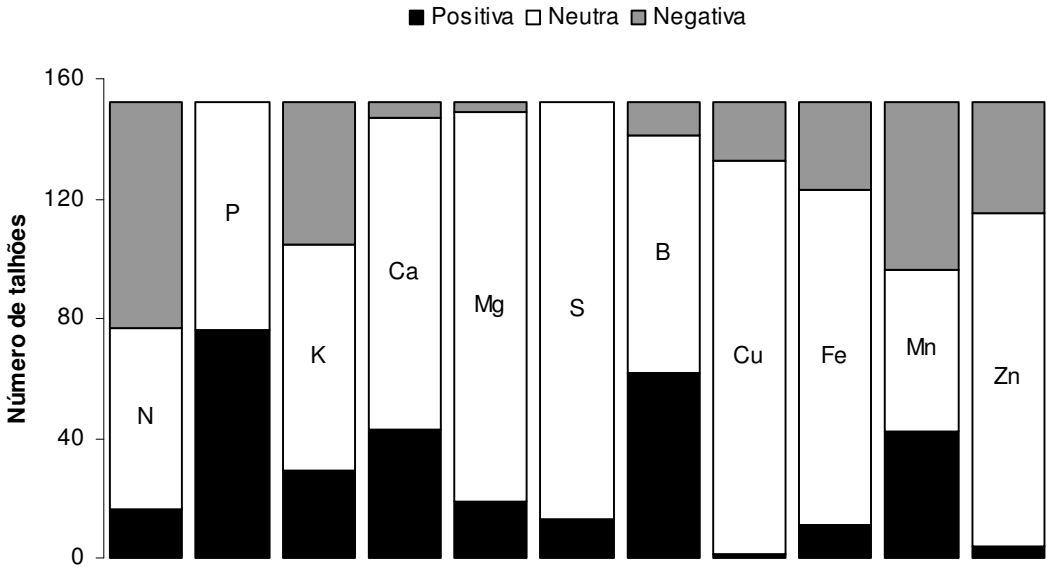



Figura 2. Diagnóstico do potencial de resposta à adubação de acordo com a faixa estabelecida pelo método da chance matemática, utilizando a produtividade de referência ≥ 4500 kg $ha^{-1}$.

Confrontando os resultados obtidos utilizando-se como referência as duas produtividades (4000 e 4500 kg $ha^{-1}$) é possível visualizar nas Figuras 1 e 2 que o aumento de produtividade pode estar relacionado à adubação e nutrição da cultura, pois quando se espera produtividades de 4000 kg $ha^{-1}$, verifica-se baixas respostas à adubação, enquanto que se são almejadas produtividades maiores, a possível resposta do manejo da adubação é evidenciada.

## CONCLUSÕES

As faixas encontradas para os macronutrientes com o método da chance matemática, tendo como referência a produtividade de 4500 kg $ha^{-1}$, foram, em g $kg^{-1}$, de 33-45; 2,8-5,3; 15-21; 20-36; 4,0-7,2 e 2,8-8,6 para N, P, K, Ca, Mg e S respectivamente.

Os micronutrientes tiveram as faixas, em mg $kg^{-1}$, de 53-83; 4-12; 110-440; 40-60 e 25-50 para B, Cu, Fe, Mn e Zn respectivamente.

As faixas indicadas, embora similares às encontradas nas recomendações existentes, demonstram aperfeiçoamento para a obtenção de altas produtividades.

O N é o nutriente que pode causar problemas devido à adubação excessiva na maioria das áreas, seguido do Mn e do K.

Os maiores retornos, advindos da adubação, poderão ocorrer em função da aplicação de P e B.

## REFERÊNCIAS

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas.** Campinas: Instituto Agronômico, 1983. 49p. (Boletim Técnico, 78)

CARVALHO, L.H. Aplicação de boro na cultura do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L. var. *latifolium* Hutchi.) Piracicaba:ESALQ, 1988. 76p. (Tese de doutorado).

CARVALHO, L.H., SILVA, N.M., BRASIL SOBRINHO, M.O.C., KONDO, J.I., CHIAVEGATO, E.J. Modos de aplicação de boro na cultura do algodoeiro. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 20, p. 271-275, 1996a.

CARVALHO, L.H.; SILVA, N.M.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; KONDO, J.I.; CHIAVEGATO, E.J. Aplicação de boro no algodoeiro, em cobertura e pulverização foliar. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 20, p. 265-269, 1996b.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Mapa de solos do Brasil.** Rio de Janeiro, 1981. 1 mapa. Escala 1:5.000.000.

EPSTEIN, M **Nutrição mineral das plantas**: princípios e perspectivas. São Paulo: USP/Livros Técnicos e Científicos, 1975.

FUNDAÇÃO MT. **Boletim de pesquisa de algodão**. Rondonópolis, MT: FUNDAÇÃO MT, 2001. 238p. (FUNDAÇÃO MT. Boletim, 4).

IBGE – Instituto Brasileira de Geografia e Estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. [http://www.ibge.gov.br, acesso em 30/mar/2005].

KIEHL, J.C.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; SILVA, M.C. Efeitos de doses e modos de aplicação de uréia na produção de algodão. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 9, p. 39-44, 1985.

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

MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J.G.; SOUZA, R.B. Diagnose foliar. *In*: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.) **Recomendações para o uso de**

**corretivos e fertilizantes em Minas Gerais** – 5ª aproximação.Viçosa, MG: Editora UFV, 1999. p.141-168.

MARUR, C.J.; RUANO, O. A reference system for determination of developmental stages of upland cotton. **Rev. Ol. Fibros.**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 313-317, 2001.

MEDEIROS, A.A.; HAAG, H.P. Nível crítico de fósforo em cultivares de algodão. II. Escolha do órgão adequado para determinação do nível crítico. **Anais da ESALQ**, Piracicaba, v. 46, p. 177-200, 1989.

MEDEIROS, A.A.; HAAG, H.P. Nível crítico de fósforo em cultivares de algodão. III. Concentração de fósforo no limbo e pecíolo de acordo com a época da coleta e concentração de fósforo nas soluções nutritivas. **Anais da ESALQ**, Piracicaba, v. 47, p. 107-133, 1990.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais.** Viçosa: UFV, DPS, 1999. 399p.

NOVAIS, R.F.; WADT, P.G.S.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. Levantamento do estado nutricional de cafeeiros do estado do Espírito Santo com base no método da Chance Matemática. *In*: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21., Petrolina, 1994. **Anais...** Petrolina, SBCS/EMBRAPA-CPATSA, 1994. p.182-183.

OLIVEIRA, E.L. Coberturas verdes de inverno e adubação nitrogenada em algodoeiro. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 18, p. 235-241, 1994.

OLIVEIRA, S.A. Análise foliar. *In*: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.) **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 245-256.

RADAMBRASIL. Folha SD. 21 Cuiabá. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, Projeto RadamBrasil, 1982. (Levantamento de recursos naturais, 26).

RADAMBRASIL. Folha SE. 22 Goiânia. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, Projeto RadamBrasil, 1983. (Levantamento de recursos naturais, 31).

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Eds.) **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais** – 5ª aproximação. Viçosa, MG: Editora UFV, 1999. 359p.

ROSOLEM, C.A.; GIOMMO, J.S.; LAURENTI, R.L.B. Crescimento radicular e nutrição de cultivares de algodoeiro em resposta à calagem. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 35, n. 4, p. 827-833, 2000.

ROSOLEM, C.A.; MACHADO, J.R. Efeitos da calagem e gessagem na produção de algodão e na lixiviação de bases em dois latossolos. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 8, p. 103-109, 1984.

SABINO, J.C.; SILVA, N.M.; CARVALHO, L.H.; PETTINELLI JÚNIOR, A.; SABINO, N.P.; KONDO, J.I. Aplicação de uréia em cobertura e via foliar na cultura do algodoeiro. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 18, p. 477-482, 1994.

SILVA, N.M.; CARVALHO, L.H.; CHIAVEGATO, E.J.; SABINO, N.P.; HIROCE, R. Efeitos de doses de boro aplicadas no sulco de plantio do algodoeiro, em solo deficiente. **Bragantia**, Campinas, v. 41, p. 181-191, 1982.

SILVA, N.M.; RAIJ, B. van. Fibrosas. *In*: RAIJ, B.van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1996. (Boletim técnico, 100)

SILVA, N.M.; CARVALHO, L.H.; CIA, E.; FUZATTO, M.G.; CHIAVEGATO, E.J.; ALLEONI, L.R.F. **Seja o doutor do seu algodoeiro**. Potafos, Piracicaba, 1995. 24p. (Arquivo do Agrônomo, 8)

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.) **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

SOUZA, A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C. Efeito do NPK, via foliar, no conteúdo de nutrientes das folhas do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.). **Anais da ESALQ**, 44:215-243, 1987a.

SOUZA, A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C. Influência da adubação foliar com NPK nos teores de cálcio e magnésio encontrados em órgãos do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.). **Anais da ESALQ**, 44:245-272, 1987b.

STAUT, L.A.; KURIHARA, C.H. Calagem e adubação. In: EMBRAPA AGROPECUÁRIA OESTE; EMBRAPA ALGODÃO. **Algodão**: tecnologia de produção. Dourados: EMBRAPA AGROPECUÁRIA OESTE, 2001. p.103-123.

TRANI, P.E.M.; HIROCE, R.; BATAGLIA, O.C. **Análise foliar**: amostragem e interpretação. Campinas: Fundação Cargill, 1983. 18p.

URANO, E.O.M. **Avaliação do estado nutricional e teores ótimos de nutrientes em soja**. 2004. 79f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Dourados, 2004.

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

YAMADA, T.; LOPES, A.S. **Balanço de nutrientes na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 1998. p.2-8. (Encarte Técnico, 84).

## CAPÍTULO 3 – MÉTODOS DE CÁLCULO E ESTABELECIMENTO DE NORMAS DRIS PARA A CULTURA DO ALGODÃO

**RESUMO** – O algodão é um produto agrícola em franca expansão no território nacional e com significativa contribuição econômica no PIB brasileiro, sendo que a região Centro-Oeste é a maior produtora no País. No presente trabalho foram estudadas lavouras comerciais de municípios do norte do estado de Mato Grosso do Sul e centro-sul do estado de Mato Grosso. Os resultados indicaram que a escolha da relação modifica a interpretação dos resultados, exceto quando é utilizada a metodologia proposta por Elwali & Gascho, pois, neste caso, os índices nutricionais convergem independente do método de escolha das relações. Para a efetiva aplicabilidade desta metodologia, as formas de cálculo propostas por Beaufils e Elwali & Gascho, quando comparadas ao método proposto por Jones, proporcionaram melhores resultados. O método DRIS otimiza o gerenciamento das informações nutricionais do algodoeiro, sendo possível detectar os nutrientes limitantes nas lavouras desta cultura.

**Palavras-Chave:** avaliação nutricional, diagnose foliar, *Gossypium hirsutum* r. *latifolium*.

### INTRODUÇÃO

O Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS), idealizado por BEAUFILS (1973), atualmente é utilizado para avaliar o estado nutricional das culturas, ainda que originalmente possuísse propósitos menos específicos, pois visava diagnosticar fatores diversos que influenciassem a produção agrícola. Este sistema de análise possui, teoricamente, vantagens sobre os métodos univariados de comparação, uma vez que são consideradas as relações entre nutrientes; logo, possíveis interações entre estes serão contempladas, uma vez que quanto maior o número de nutrientes que se avalia, maior será o ganho na avaliação (HOLLAND, 1966).

Os métodos univariados como nível crítico (NC) e faixa de suficiência (FS) são muito utilizados na agricultura moderna, e no caso específico da cultura do algodoeiro, existem padrões para comparação apenas por esses métodos, que podem ser encontrados em SILVA & RAIJ (1996), MALAVOLTA et al. (1997), RIBEIRO et al. (1999) e SOUSA & LOBATO (2004), dentre outros autores. Os valores para NC e FS são, na maioria das vezes, estabelecidos em experimentos de calibração, nos quais características genéticas, ambientais e as interações entre nutrientes são controladas. Uma alternativa para os experimentos de calibração é o aproveitamento de informações de monitoramento nutricional feito em talhões comerciais, podendo-se empregar o DRIS.

> Embora esta técnica já esteja bastante difundida no Brasil, algumas culturas não foram ainda contempladas, como é o caso do algodoeiro, que tem grande importância na balança comercial (mundial e nacional). A cotonicultura possibilita uma das maiores taxas de retorno para o produtor agrícola, porém, implica em maiores riscos financeiros para o agricultor, uma vez que exige alto nível tecnológico e investimentos para sua implantação (AGRIANUAL, 2005).

No território nacional, a cultura do algodão ocupa cerca de 1,2 milhão de hectares, com produtividade média de 2900 kg $ha^{-1}$ (IBGE, 2006). O cultivo desta fibrosa destaca-se nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás (AGRIANUAL, 2005), predominantemente em áreas originalmente sob vegetação de Cerrado.

Mesmo sendo uma das culturas com maior nível de tecnificação, ainda hoje são utilizados métodos de avaliação do estado nutricional para esta cultura baseados em padrões estabelecidos entre as décadas de 1960 e 1980, cujos dados são oriundos de estudos com variedades bem menos produtivas do que as encontradas atualmente no mercado agrícola brasileiro.

Esse diagnóstico pode ser contemplado por uma ampla revisão dentro da literatura científica nacional, a qual indica que estes “padrões” foram definidos para variedades menos produtivas e em outros sistemas de produção, diferentes dos praticados atualmente na região do Cerrado, definido como de alta tecnologia, com colheita mecanizada, utilização de reguladores de crescimento, dentre outras práticas (TAKIZAWA, 2003).

Desse modo, conforme relatado por pesquisadores e técnicos que atuam diretamente com a adubação (GRESPAN & ZANCANARO, 1999; PAVINATO, 2003), o sistema produtivo do algodoeiro passou por grandes transformações na década de 1990 e no início deste século, gerando a necessidade de padrões e técnicas nutricionais que pudessem diagnosticar, adequadamente, o estado nutricional do algodoeiro e, conseqüentemente, indicar o correto manejo da adubação. O método DRIS pode auxiliar nesta adequação, inclusive por ter a flexibilidade de permitir a inserção de novos dados para o cálculo dos padrões (normas), podendo ser atualizado após cada safra, resultando em grande avanço na diagnose nutricional do algodoeiro.

Tendo em vista a importância da cultura, a utilização de métodos de monitoramento nutricional com alto potencial de resposta é desejável. Para estabelecer normas DRIS, que efetivamente contribuam para um programa de monitoramento do estado nutricional, é necessário testar todas as formas de cálculos dos índices nutricionais e, posteriormente, indicar as normas. Estas comparações foram realizadas para algumas culturas no Brasil, como é o caso da seringueira (BATAGLIA & SANTOS, 1990), eucalipto (WADT et al., 1998) e citros (MOURÃO FILHO et al., 2002), dentre outras. A comparação entre as formas de cálculo torna-se pertinente, uma vez que há concordância entre os autores sobre as possíveis diferentes interpretações, dependendo do tipo de procedimento DRIS utilizado.

Com o objetivo de estabelecer as normas DRIS para o algodoeiro, neste trabalho foram avaliados os diferentes métodos de cálculos e formas de escolha das relações para o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação.

## MATERIAL E MÉTODOS

As informações do monitoramento nutricional são oriundas de 152 áreas, nas quais foram coletadas amostras no período correspondente a três safras (2000/2001 a 2002/2003), em talhões comerciais dos municípios Costa Rica-MS (com coordenadas geográficas 18º32’ S e 53º07’ W, altitude aproximada de 640 m, solo do tipo Latossolo Vermelho distrófico e clima úmido a sub-úmido, com precipitação média anual de 1500 a 1750mm, concentrada no verão); Diamantino-MT (com coordenadas geográficas 14º40’ S e 56º44’ W, altitude aproximada de 270 m, solo do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico e clima sub-úmido, com

precipitação anual média de 1750 mm); e, Sapezal-MT (com coordenadas geográficas 13º33' S e 59º02' W, altitude aproximada de 270 m, solo do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico e clima sub-úmido, com precipitação anual média de 1750 mm) (EMBRAPA, 1981; RADAMBRASIL, 1982; RADAMBRASIL, 1983; EMBRAPA, 1999).

A distribuição das áreas avaliadas bem como a área abrangida pelo estudo encontra na Tabela 1 enquanto os parâmetros indicativos da fertilidade do solo são apresentados na Tabela 2.

Tabela 1. Área total, área média, maior e menor talhão e número de talhões avaliados por safra e local

| | Área total | Tamanho médio do talhão | Maior talhão | Menor talhão | Número de talhões |
|---|---|---|---|---|---|
| | ----------ha---------- | | | | |
| | 2000/2001 | | | | |
| Costa Rica | 4650 | 211 | 1060 | 9 | 22 |
| Diamantino | 4913 | 307 | 395 | 272 | 16 |
| Sapezal | 4717 | 363 | 570 | 182 | 13 |
| | 2001/2002 | | | | |
| Costa Rica | 5268 | 405 | 672 | 210 | 13 |
| Diamantino | 5390 | 192 | 303 | 10 | 28 |
| Sapezal | 5287 | 378 | 647 | 100 | 14 |
| | 2002/2003 | | | | |
| Costa Rica | 4852 | 347 | 503 | 156 | 14 |
| Diamantino | 4238 | 235 | 408 | 6 | 18 |
| Sapezal | 4340 | 310 | 531 | 83 | 14 |

O manejo da cultura, nos diferentes locais, foi realizado de acordo com as necessidades da lavoura, tais como aplicações de defensivos agrícolas (inseticidas, herbicidas e fungicidas), de adubos e de corretivos. A calagem foi realizada pelo método da saturação por bases, utilizando $V_2 = 70\%$, preconizado por SILVA & RAIJ (1996), sendo a dose mínima usada 0,8 t $ha^{-1}$ e a dose máxima 5,5 t $ha^{-1}$.

Tabela 2. Média dos resultados das análises químicas de solo

| | pH | MO | P | K | Ca | Mg | H+Al | S | B | Cu | Fe |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *g dm⁻* | *mg dm* | | -------*mmol$_c$ dm$^{-3}$*------- | | | | ----------*mg dm$^{-3}$*---------- | | |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *3* | *-3* | | | | | | | | |
| | | | | | | **Costa Rica** | | | | | |
| 2000/2001 | 4,6 | 3,8 | 13 | 1,5 | 21 | 9 | 53 | 8,7 | 0,3 | 0,71 | 85,11 |
| 2001/2002 | 4,7 | 3,5 | 14 | 1,5 | 26 | 11 | 43 | 6,7 | 0,26 | 1,32 | 62,34 |
| 2002/2003 | 5,0 | 5,2 | 15 | 2,5 | 42 | 15 | 41 | 6,79 | 0,23 | 2,87 | 60,52 |
| | | | | | | **Diamantino** | | | | | |
| 2000/2001 | 4,8 | 3,1 | 7 | 1,1 | 22 | 7 | 45 | 3,85 | 0,19 | 0,44 | 48,22 |
| 2001/2002 | 4,8 | 3 | 27 | 1,3 | 22 | 13 | 50 | 5,95 | 0,25 | 1,35 | 46,45 |
| 2002/2003 | 5,0 | 3,3 | 16 | 2,0 | 30 | 13 | 36 | 8,01 | 0,3 | 2,67 | 73,76 |
| | | | | | | **Sapezal** | | | | | |
| 2000/2001 | 4,8 | 3,7 | 8 | 1,0 | 18 | 11 | 44 | 5,41 | 0,19 | 0,68 | 65,42 |
| 2001/2002 | 5,0 | 3,25 | 17 | 1,1 | 20 | 13 | 42 | 6,77 | 0,19 | 1,31 | 66,23 |
| 2002/2003 | 4,9 | 3,8 | 7 | 1,5 | 24 | 14 | 40 | 7,19 | 0,13 | 1,44 | 77,73 |

Por ocasião da semeadura, nas safras 2000/01 e 2001/02 foram aplicados, aproximadamente, 440 kg $ha^{-1}$ da fórmula 06-27-13 (+ 6% Ca, 2,5% S, 0,4 Zn, 0,5 B, 0,3 Mn), exceção feita ao município de Diamantino na primeira safra, onde a quantidade da fórmula utilizada foi de 330 kg $ha^{-1}$. Na safra 2002/03 foram utilizados 335 kg $ha^{-1}$ da fórmula 06-36-06 (+ 2% S, 0,5% Zn, 0,8% Mn, 0,4% Cu, 0,6% B). A adubação de cobertura foi realizada em três etapas, e a quantidade total de nutrientes aplicados encontra-se na Tabela 3. Foram realizadas pulverizações foliares, estas, porém, ocorreram após a coleta de folhas. Dentre as variedades utilizadas, destacam-se: Delta Opal, CNPA ITA 90, CNPA ITA 96, Delta Penta.

Avaliaram-se os teores foliares de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês e zinco, sendo a variável dependente, a produtividade do algodoeiro (kg $ha^{-1}$ de algodão em caroço). As amostras foram compostas por folhas completas (limbo+pecíolo) e, segundo o preconizado por RIBEIRO et al. (1999), retiradas na quinta posição, a partir do ápice, na haste principal durante o período de florescimento da cultura, compreendendo os estádios fenológicos F2 a F4, conforme classificação de MARUR & RUANO (2001). As amostras foram lavadas e secas em estufa com circulação forçada de ar (65ºC ± 5ºC). Após a secagem, foram moídas e submetidas a determinação química dos nutrientes, conforme metodologia proposta por BATAGLIA et al. (1983).

Tabela 3. Quantidade de nutrientes aplicados em cobertura

| Local | Safra | N | $K_2O$ | S | B |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ---------- *kg $ha^{-1}$* ---------- | | | |
| Costa Rica | 2000/01 | 95 | 65 | 53 | 0,9 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 2001/02 | 95 | 64 | 51 | 0,7 |
| | 2002/03 | 101 | 102 | 54 | 1,6 |
| Diamantino | 2000/01 | 117 | 48 | 55 | 1,1 |
| | 2001/02 | 93 | 64 | 50 | 0,7 |
| | 2002/03 | 94 | 84 | 48 | 1,0 |
| Sapezal | 2000/01 | 116 | 90 | 53 | 1,1 |
| | 2001/02 | 107 | 77 | 52 | 1,1 |
| | 2002/03 | 103 | 105 | 53 | 1,6 |

Para o cálculo do DRIS, a população de alta produtividade foi separada utilizando-se como valor de corte a média das produções, adicionando um desvio padrão (*m + s)*, sendo este valor de aproximadamente 4.500 kg $ha^{-1}$ (o que equivale a 300 @ $ha^{-1}$), considerada uma boa produtividade no Cerrado brasileiro. Foram testados dois métodos de escolha da relação a ser utilizada e três métodos de cálculos das funções DRIS.

A média, o coeficiente de variação e a variância foram calculados para o grupo de referência e de baixa produtividade, utilizando todas as relações possíveis (Ex.: A/B ou B/A). Para cada par de nutriente, a forma de expressão do quociente entre eles que forneceu a maior razão de variância entre o grupo de baixa produtividade e de referência foi selecionada para ser usada no DRIS, conforme descrito por WALWORTH et al. (1986) e HARTZ et al. (1998).

A avaliação englobou os métodos de escolha das relações entre os nutrientes, propostas por LETZSCH (1985) e por NICK (1998), denominadas de fator *F* e *r*, respectivamente. O fator *F* é calculado levando-se em consideração a divisão da população estudada em duas sub-populações (padrão ou referência-PD e de baixa produtividade-BP) com produtividades distintas, sendo a escolha da relação A/B ou B/A definida pela relação entre as variâncias destas relações, onde a relação escolhida será resultado oriundo da seguinte análise: se $\frac{s^2(A/B)_{PD}}{s^2(A/B)_{BP}} \geq \frac{s^2(B/A)_{PD}}{s^2(B/A)_{BP}}$; então, a relação que constituirá as normas DRIS será (A/B), caso contrário, a relação será (B/A). O fator *r* é encontrado por meio da correlação entre as relações de nutrientes (A/B e B/A) e a

produtividade, sendo escolhida a relação de maior módulo para correlação com a produtividade.

Além da escolha das relações, foram testadas as funções utilizadas para o cálculo do DRIS, proposta originalmente por BEAUFILS (1973), a fórmula de BEAUFILS (1973) modificada por ELWALI & GASHO (1984) e a fórmula de BEAUFILS (1971), alterada por JONES (1981).

Para testar essas formas de cálculo, as 152 amostras originais usadas para o estabelecimento da população de referência deste trabalho foram agrupadas de acordo com BATAGLIA et al. (2004), em dezesseis classes de produtividade com os respectivos teores médios de nutrientes nas folhas, conforme apresentação na Tabela 4. O agrupamento foi realizado em classes de produtividade, utilizando-se a amplitude de 200 kg $ha^{-1}$.

Tabela 4. Teores médios de nutrientes em folhas de algodoeiros com diferentes classes de produtividade

| **Produtividade** | **N** | **P** | **K** | **Ca** | **Mg** | **S** | **B** | **Cu** | **Fe** | **Mn** | **Zn** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *kg $ha^{-1}$* | ---------- | ---------- | *g $kg^{-1}$* | ---------- | ---------- | ---------- | ---------- | ---------- | *mg $kg^{-1}$* | ---------- | ---------- |
| 1.805 | 26,8 | 3,9 | 15,5 | 25,8 | 8,8 | 5,4 | 67,0 | 6,0 | 165,0 | 157,0 | 76,0 |
| 2.533 | 37,9 | 3,3 | 21,8 | 23,0 | 6,5 | 3,2 | 44,4 | 8,7 | 281,7 | 58,3 | 39,3 |
| 2.700 | 39,6 | 3,2 | 21,8 | 19,5 | 5,3 | 4,7 | 58,3 | 8,0 | 199,5 | 54,0 | 75,0 |
| 2.903 | 46,3 | 3,5 | 26,0 | 19,1 | 6,2 | 3,9 | 54,1 | 8,0 | 175,0 | 85,0 | 58,0 |
| 3.120 | 48,8 | 3,6 | 25,1 | 22,9 | 5,2 | 4,1 | 56,5 | 9,6 | 354,3 | 77,5 | 51,5 |
| 3.259 | 56,9 | 3,6 | 21,6 | 25,0 | 4,7 | 3,9 | 62,0 | 8,5 | 404,2 | 44,5 | 40,2 |
| 3.472 | 51,9 | 3,2 | 18,2 | 23,0 | 5,5 | 3,9 | 58,2 | 9,1 | 320,4 | 67,4 | 43,9 |
| 3.682 | 49,8 | 4,2 | 23,6 | 26,8 | 4,9 | 4,6 | 66,2 | 9,7 | 501,7 | 49,9 | 43,7 |
| 3.900 | 46,4 | 3,1 | 16,8 | 21,4 | 4,8 | 3,6 | 56,6 | 11,3 | 187,1 | 81,3 | 52,8 |
| 4.092 | 44,0 | 3,6 | 17,2 | 23,4 | 4,8 | 4,0 | 59,0 | 10,5 | 261,0 | 62,7 | 44,1 |
| 4.313 | 42,4 | 3,8 | 19,7 | 25,1 | 5,1 | 4,3 | 49,3 | 10,3 | 202,1 | 55,6 | 45,3 |
| 4.498 | 42,6 | 3,8 | 18,4 | 27,6 | 5,3 | 4,7 | 63,7 | 9,2 | 259,3 | 85,2 | 44,4 |
| 4.676 | 42,1 | 3,8 | 19,1 | 28,3 | 5,9 | 4,7 | 62,1 | 9,4 | 202,5 | 55,0 | 38,1 |
| 4.924 | 36,0 | 4,0 | 17,9 | 28,3 | 5,2 | 4,9 | 52,0 | 9,7 | 256,8 | 61,3 | 37,0 |
| 5.034 | 41,8 | 4,2 | 19,0 | 30,3 | 5,4 | 5,6 | 65,2 | 8,8 | 265,2 | 57,2 | 39,4 |
| 5.337 | 37,0 | 4,2 | 18,1 | 27,0 | 6,3 | 5,5 | 58,0 | 10,0 | 174,0 | 34,0 | 40,0 |

Com a fórmula do DRIS calcula-se índices relativos para os nutrientes que são negativos ou positivos, cuja soma será igual a zero. Os índices negativos e positivos indicam deficiência e excesso, respectivamente, e números próximos de zero indicam

teores adequados. Após o cálculo do índice de cada nutriente ($I_N$, $I_P$, ...) foi estabelecido o índice de balanço nutricional (IBN).

Os teores de nutrientes e a produtividade foram submetidos à distribuição de freqüência. O teste de Kolmorogov-Smirnov foi utilizado para testar a normalidade dos dados. As análises de regressão foram realizadas com auxílio do procedimento *Regression* do aplicativo SAS®. Foram consideradas significativas apenas regressões cujo valor *P* fosse inferior a 0,01.

Os índices DRIS foram interpretados pelo potencial de resposta à adubação, sendo classificados como negativo (quando $|I_{Nut}| > IBN_m$ e $I_{Nut} > 0$), positivo (quando $|I_{Nut}| > IBN_m$ e $I_{Nut} < 0$) e neutro, em que $IBN_m = \frac{IBN}{z}$; $\boldsymbol{I_{Nut}}$ é o índice DRIS para o nutriente estudado; $\boldsymbol{IBN_m}$ é o índice de balanço nutricional médio e $\boldsymbol{z}$ é o número de nutrientes avaliados, neste caso, igual a 11.

## *RESULTADOS E DISCUSSÃO*

A distribuição da freqüência dos teores dos nutrientes é apresentada na Figura 1. Os talhões avaliados apresentaram distribuição diferenciada em função dos nutrientes.

O teor de N variou de 19,8 a 68,5 g $kg^{-1}$, sendo que teores acima de 50 g $kg^{-1}$ são considerados muito altos para a cultura, de acordo com OLIVEIRA (2004), além de apresentar uma alta amplitude nos valores encontrados.

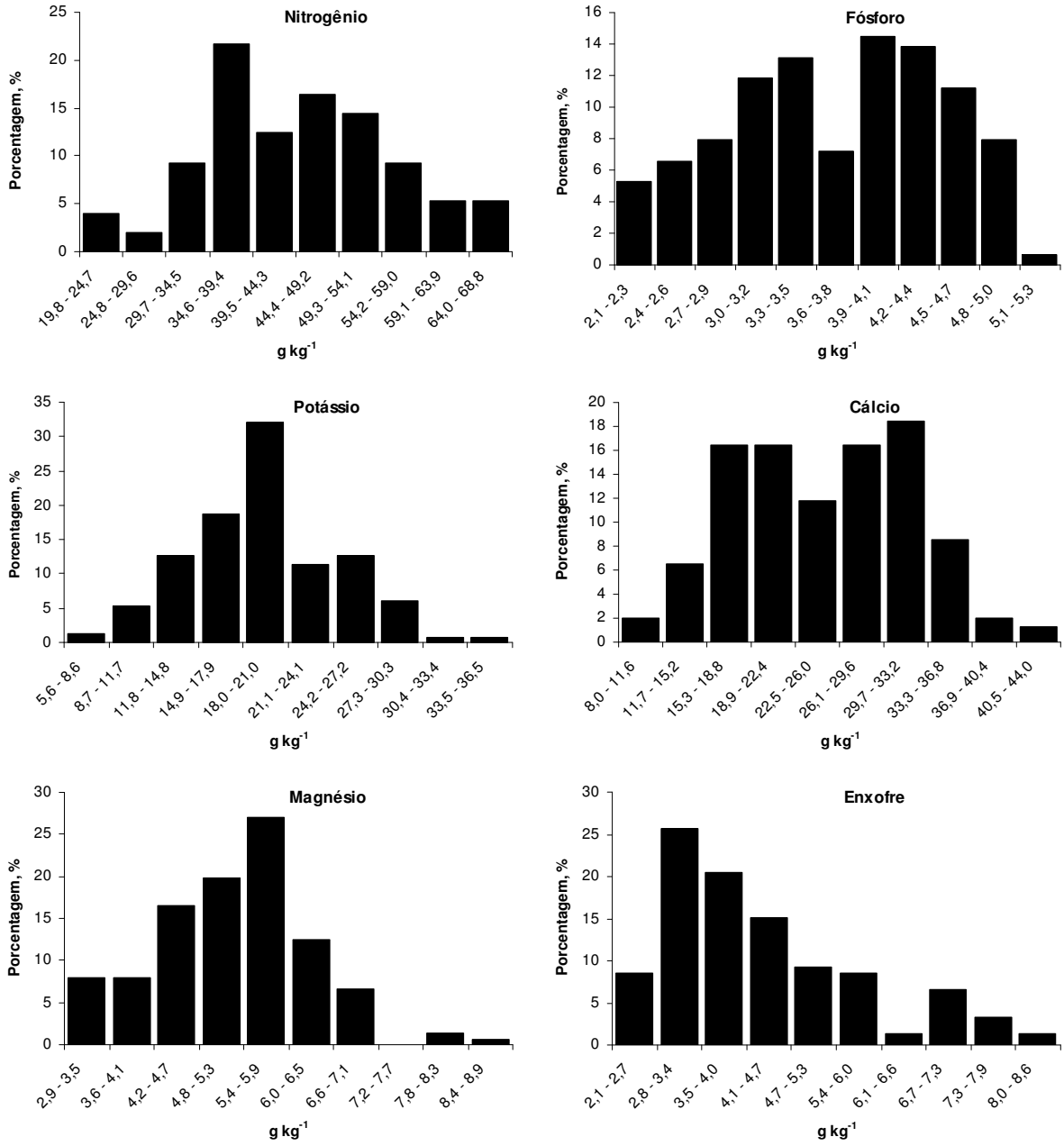



Figura 1. Distribuição da freqüência dos macronutrientes observados em talhões comerciais de algodoeiro, em três safras, na região Centro-Oeste do Brasil.

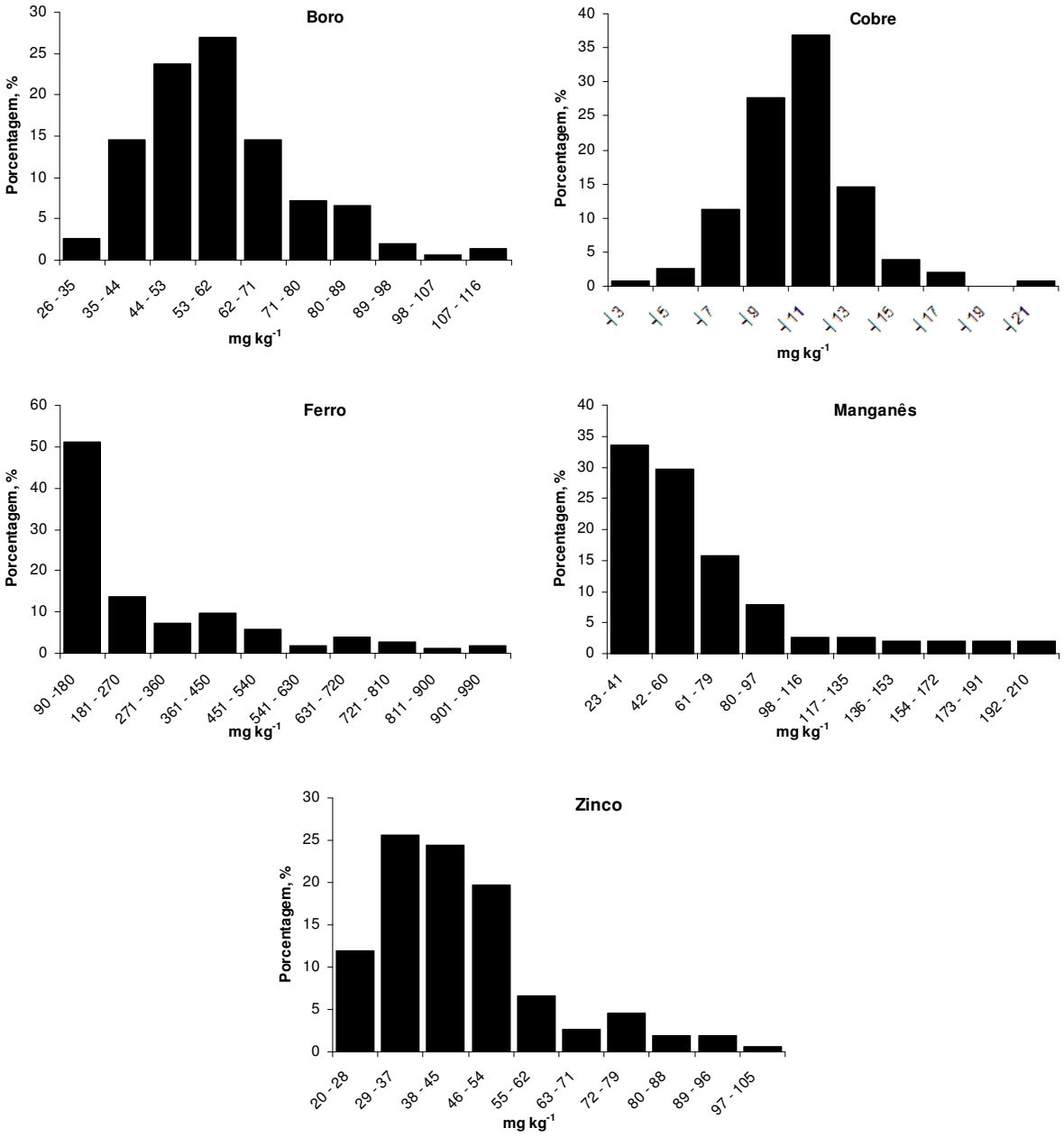



Figura 2. Distribuição da freqüência dos micronutrientes observada em talhões comerciais de algodoeiro, em três safras, na região Centro-Oeste do Brasil.

Com relação aos macronutrientes, exceção feita aos teores foliares de Mg e S, foi observada uma amplitude muito maior que a indicada por OLIVEIRA (2004), ou seja, os menores valores estavam muito abaixo do limite inferior indicado para a cultura e os maiores valores foram bem mais elevados que o limite superior da faixa de suficiência, sendo os mesmos da ordem de 2,1 a 5,3 g $kg^{-1}$ para o P, 5,6 a 34,8 g $kg^{-1}$ para o K e 8,0 a 43,8 g $kg^{-1}$ para o Ca.

A amplitude dos teores foliares de Mg foi de 2,9 a 8,1 g $kg^{-1}$, similar, portanto, à faixa proposta por OLIVEIRA (2004) que é de 3 a 8 g $kg^{-1}$; o S teve amplitude de 2,1 a 8,6 g $kg^{-1}$, apresentando valores abaixo do limite inferior, porém, ultrapassando em alguns décimos o limite superior proposto na recomendação para a região do Cerrado.

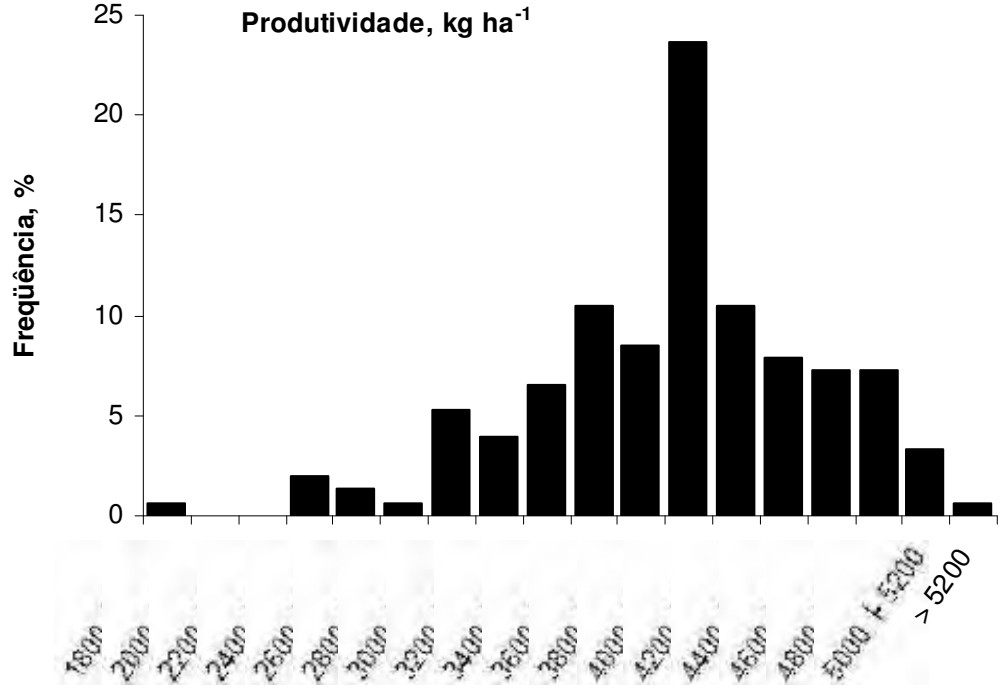



Figura 3. Distribuição da freqüência de produtividade observada em talhões comerciais do algodoeiro, em três safras, na região Centro-Oeste do Brasil.

A amplitude dos teores foliares dos micronutrientes B e Fe extrapolou a faixa proposta por OLIVEIRA (2004), o que não ocorreu ou, se ocorreu, foi numa pequena proporção para os teores de Cu, Mn e Zn. Os valores encontrados para B (26,2 a 115,7 mg $kg^{-1}$), Cu (2 a 20 mg $kg^{-1}$) e Zn (20 a 105 mg $kg^{-1}$) foram

distribuídos de maneira normal, o que não aconteceu para Fe (90 a 990 mg $kg^{-1}$) e para Mn (23 a 210 mg $kg^{-1}$), os quais tiveram uma concentração muito grande de lavouras com os teores mais baixos encontrados neste levantamento, situação também observada por NACHTIGALL (2004).

A produtividade teve, também, distribuição com tendência normal, sendo que a classe de produtividade com maior concentração de lavouras foi a de 4.000 a 4.200 kg $ha^{-1}$, estando a amplitude total na faixa de 1.805 a 5.337 kg $ha^{-1}$, com média de 3.532 kg $ha^{-1}$.

Na Figura 4 visualiza-se que a fórmula proposta por JONES (1981) é a mais sensível às mudanças em função da relação de nutrientes (A/B ou B/A), o que não é desejável. Entretanto, o cálculo é o mais simples de se executar, pois sua fórmula não envolve testes condicionais. Os métodos de escolha para a relação de nutrientes a serem utilizados (valores *r* ou *F*) provocam diferenças significativas na interpretação dos resultados obtidos a partir do DRIS, exceto quando se utiliza a metodologia proposta por ELWALI & GASCHO (1984).

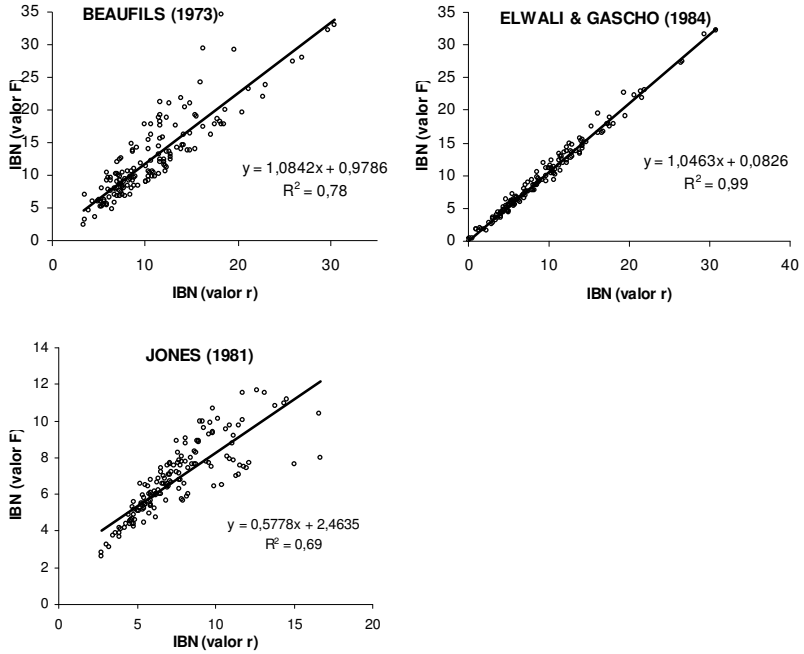



Figura 4. Correlação entre os IBN (Índice de Balanço Nutricional), obtidos através de funções calculadas pelas fórmulas propostas por BEAUFILS (1973), ELWALI & GASCHO (1984) e JONES (1981), em que as relações entre os nutrientes foram escolhidas através dos valores *r* e *F*.

A fórmula da função proposta por ELWALI & GASCHO (1984) possui maior flexibilidade, uma vez que as relações só assumem valores diferentes de zero quando estão fora do intervalo de confiança, compreendido entre $m \pm s$ (em que *m* = média e *s* = desvio padrão). As outras fórmulas utilizadas, por não empregarem intervalos e sim valores exatos, são mais sensíveis, quando modificadas as relações entre os nutrientes estudados, como por exemplo a de JONES (1981).

Esta maior sensibilidade às mudanças de relações pode ser explicada pelo fato da fórmula de JONES (1981), conforme demonstração a seguir, ser basicamente uma modificação da fórmula apresentada no conceito do diagnóstico fisiológico (PD, originado do inglês "*physiological diagnostic*"), proposto por BEAUFILS (1971).

Conforme BEAUFILS (1971), a fórmula do diagnóstico fisiológico é:

$f(A/B) = \left( \frac{(a/b)}{(A/B)} - 1 \right) \times \left( \frac{100 \times k}{cv} \right)$, sendo que $(a/b)$ é a relação entre nutrientes na amostra a ser avaliada, $(A/B)$ é a relação entre nutrientes na norma DRIS, $k$ é uma constante de sensibilidade e $cv$ é o coeficiente de variação da relação dentro das amostras que compõem as normas DRIS. Desse modo, sendo $cv = \left( \frac{s}{A/B} \right) \times 100$, em que $s$ é o desvio padrão da relação

na norma, logo: $f(A/B)=\left(\frac{a/b}{A/B}-1\right)\times\left(\frac{100\times k}{\left(\frac{s}{A/B}\right)\times 100}\right)\rightarrow$

$f(A/B)=\left(\frac{a/b}{A/B}-1\right)\times\left(\frac{k\times(A/B)}{s}\right)\rightarrow f(A/B)=\left(\frac{(a/b)\times k\times(A/B)}{(A/B)\times s}\right)-\left(\frac{k\times(A/B)}{s}\right)\rightarrow$

$f(A/B)=\left(\frac{(a/b)\times k}{s}\right)-\left(\frac{k\times(A/B)}{s}\right)\rightarrow f(A/B)=\left((a/b)-(A/B)\right)\times\frac{k}{s}$, que é a fórmula de JONES (1981).

Os métodos de cálculos dos índices para o DRIS influenciaram no resultado final, uma vez que as correlações entre os mesmos, conforme observado na Tabela 5, são diferentes em função da relação entre nutrientes escolhida e do cálculo da função. Estes resultados evidenciam que o método proposto por BEAUFILS (1973) e o proposto por ELWALI & GASCHO (1984) possuem alta correlação entre si; porém, no método proposto por JONES (1981) evidencia-se uma correlação menor que entre os outros métodos testados. Como BEAUFILS (1973) propõe uma evolução do método do diagnóstico fisiológico proposto por BEAUFILS (1971), pode-se inferir que o DRIS seja um método mais completo que o PD.

Tabela 5. Matriz de correlação entre os índices de balanço nutricional obtidos a partir de três funções e duas formas de escolha das relações

| | | *Elwali & Gascho (1984)* | | *Jones (1981)* | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | *F* | *r* | *F* | *r* |
| *Beaufils (1973)* | *F* | 0,94 | 0,91 | 0,75 | 0,94 |
| | *r* | 0,98 | 0,99 | 0,90 | 0,87 |
| *Elwali & Gascho (1984)* | *F* | | | 0,88 | 0,92 |
| | *r* | | | 0,90 | 0,89 |

Em vista da correlação ser maior entre os métodos de BEAUFILS (1973) e ELWALI & GASCHO (1984) pode-se indicar um ganho na escolha para o cálculo do DRIS utilizando um destes modelos para cálculo das funções, pois, o índice final pode indicar resultados para as duas fórmulas de cálculo. Esta visualização do problema corrobora os resultados descritos por BATAGLIA & SANTOS (1990) no tocante à escolha da fórmula de cálculo, pois, a mesma deve ser feita em função dos dados disponíveis, visto que as normas DRIS devem ser particularizadas para a população de referência, como no presente trabalho.

Diferenças entre os métodos de cálculos DRIS produzem índices diferentes, o que pode gerar diferentes interpretações sobre uma mesma amostra. WADT et al. (1998) encontraram resultados semelhantes quando estudaram estes métodos de cálculo DRIS para populações de

eucalipto. Ressalta-se que os autores interpretaram estes índices por meio do potencial de resposta à adubação, uma vez que a cultura estudada era perene e, após o diagnóstico, poderia ser realizada a adubação. No caso do algodoeiro, que é uma cultura anual, estas informações poderiam ser utilizadas para eventuais adubações foliares e, com maior freqüência, para fertilizações na safra subseqüente.

Embora as possíveis formas de cálculo do método possam ser utilizadas, as normas (média e desvio padrão das relações elencadas) são apresentadas na Tabela 6. Neste caso, aproximadamente 40% das relações escolhidas foram coincidentes entre os métodos *F* e *r*, muito embora este seja um evento probabilístico.

Tabela 6. Normas DRIS para a população de plantas de algodoeiro avaliada

| Relação | Média | Desvio padrão | Valor | | Relação | Média | Desvio padrão | Valor | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | *r* | *F* | | | | *r* | *F* |
| N/Mg | 7,427 | 1,382 | X | | S/P | 1,257 | 0,408 | X | X |
| N/S | 9,162 | 3,339 | | X | S/K | 0,265 | 0,082 | | X |
| N/B | 0,716 | 0,217 | X | X | S/Mg | 0,932 | 0,414 | X | X |
| N/Cu | 4,671 | 1,739 | | X | S/B | 0,087 | 0,036 | X | X |
| N/Fe | 0,207 | 0,098 | | X | S/Fe | 0,025 | 0,013 | X | X |
| N/Mn | 0,766 | 0,301 | X | | S/Mn | 0,095 | 0,049 | X | X |
| P/N | 0,100 | 0,021 | X | X | S/Zn | 0,126 | 0,034 | X | X |
| P/K | 0,216 | 0,039 | | X | B/P | 15,106 | 2,975 | X | |
| P/Ca | 0,141 | 0,020 | X | | B/Ca | 2,128 | 0,509 | X | |
| P/B | 0,069 | 0,013 | | X | B/Cu | 7,095 | 3,489 | | X |
| P/Cu | 0,460 | 0,172 | X | X | B/Fe | 0,288 | 0,101 | | X |
| P/Fe | 0,019 | 0,007 | | X | B/Mn | 1,131 | 0,466 | | X |
| P/Mn | 0,076 | 0,029 | | X | B/Zn | 1,664 | 0,751 | X | X |
| P/Zn | 0,109 | 0,040 | X | | Cu/N | 0,239 | 0,074 | X | |
| K/N | 0,473 | 0,109 | X | X | Cu/S | 2,048 | 0,714 | X | X |
| K/P | 4,793 | 0,893 | X | | Cu/B | 0,171 | 0,069 | X | |
| K/Ca | 0,667 | 0,113 | X | X | Cu/Fe | 0,051 | 0,029 | X | |
| K/Mg | 3,459 | 0,833 | X | X | Cu/Mn | 0,181 | 0,087 | | X |
| K/S | 4,125 | 1,179 | X | X | Cu/Zn | 0,244 | 0,062 | | X |
| K/B | 0,327 | 0,081 | X | | Fe/N | 6,006 | 2,991 | X | |
| K/Cu | 2,109 | 0,600 | X | X | Fe/P | 58,973 | 23,997 | X | |
| K/Fe | 0,095 | 0,040 | | | Fe/K | 13,056 | 6,639 | X | |
| K/Mn | 0,364 | 0,175 | X | X | Fe/Ca | 8,263 | 3,400 | X | |
| Ca/N | 0,718 | 0,152 | X | X | Fe/Mg | 43,149 | 20,588 | X | |
| Ca/P | 7,237 | 1,075 | | X | Fe/B | 3,978 | 1,630 | X | |
| Ca/Mg | 5,229 | 1,059 | X | X | Fe/Cu | 29,662 | 21,254 | | X |
| Ca/S | 6,364 | 2,241 | X | X | Fe/Mn | 4,294 | 2,027 | X | |
| Ca/B | 0,496 | 0,121 | | X | Fe/Zn | 6,883 | 4,717 | X | |
| Ca/Cu | 3,294 | 1,237 | X | X | Mn/N | 1,535 | 0,715 | | X |
| Ca/Fe | 0,140 | 0,051 | | X | Mn/P | 16,107 | 9,227 | X | X |
| Ca/Mn | 0,547 | 0,241 | | X | Mn/Ca | 2,243 | 1,228 | X | |
| Ca/Zn | 0,779 | 0,272 | X | X | Mn/B | 1,086 | 0,594 | X | |
| Mg/N | 0,139 | 0,027 | | X | Mn/Cu | 7,046 | 3,697 | X | |
| Mg/P | 1,443 | 0,385 | X | X | Mn/Fe | 0,303 | 0,195 | | X |
| Mg/B | 0,098 | 0,031 | X | X | Mn/Zn | 1,624 | 0,812 | X | X |
| Mg/Cu | 0,647 | 0,249 | X | X | Zn/N | 1,005 | 0,290 | X | X |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mg/Fe | 0,028 | 0,011 | | X | Zn/K | 2,228 | 1,018 | X | X |
| Mg/Mn | 0,106 | 0,043 | X | X | Zn/Cu | 4,413 | 1,409 | X | |
| Mg/Zn | 0,152 | 0,056 | X | X | Zn/Fe | 0,217 | 0,134 | | X |
| S/N | 0,125 | 0,046 | X | | | | | | |

O método de escolha das funções proposto por NICK (1998), denominado valor *r*, tem sua fundamentação na correlação direta entre a relação de nutrientes estudada e a produtividade; logo, a diferença entre A/B e B/A pode não ser significativa, pois sempre será selecionada a maior correlação. Por exemplo, para as relações boro/cobre e cobre/boro, os valores do coeficiente de correlação com a produtividade foram de 0,19 e 0,15. Ainda que 0,19 seja uma correlação maior, esta pode não ser diferente estatisticamente. Assim, o critério baseado na correlação simples entre a relação estudada e a produtividade não seria o mais adequado, a menos que a maior correlação seja bem maior, evidenciando realmente a contribuição pela escolha deste método.

As deficiências nutricionais detectadas pelo método DRIS foram semelhantes, sendo que para o método de cálculo originalmente proposto por BEAULFILS (1973) foi observada a seguinte seqüência para o número de deficiências: Zn < N < Cu < K < B < Mn < P = Mg < Fe < Ca < S, quando da utilização do método *r,* e N = Cu < Zn = Fe < K < Mn < B < P < S < Ca < Mg, quando utilizado o método *F*. Observa-se, então, que o diagnóstico é semelhante.

Este fenômeno é também observado por meio dos índices calculados pelo método de ELWALI & GASCHO (1984), que indicou a limitação nutricional na seguinte seqüência: N < Zn < Cu < K = Fe = Mn < P = B < Mg < Ca < S (método *r*) e N < Cu = Zn < K = Mn < Fe < B < P = Mg < Ca = S (método *F*). Pelos índices calculados, conforme a fórmula proposta por BEAUFILS (1971), os resultados foram: N < Cu = Zn < B = Mn < P = Mg = Fe < Ca = S (método *r*) e N = Cu < Zn < K < Mn = B < Fe < P = Mg < Ca = S (método *F*). Observa-se que o N, o Cu e o Zn sempre foram os três nutrientes menos limitantes, porém, a ordem dos mesmos apresentou-se alternada, o que influenciará na interpretação do nutriente menos limitante. Para os mais limitantes S, Ca e Mg, também houve alternância na ordem entre os mesmos. Destaca-se que a forma de escolha da relação pelo valor *r,* utilizando as metodologias de BEAUFILS (1973) e JONES (1981), resultaram na maior limitação dada por S, Ca e Fe, sendo que o Mg apareceu na quarta posição, em ambos os casos.

Nas lavouras avaliadas, a aplicação de nitrogênio foi feita fornecendo, em média, 125 kg de N $ha^{-1}$ em cada safra, sendo as quantidades mínima e máxima iguais a 118 e 141 kg $ha^{-1}$ respectivamente. De acordo com algumas recomendações (STAUT & KURIHARA, 2001; SILVA & RAIJ, 1996), a quantidade de N fornecida supriu integralmente a necessidade da planta neste nutriente. SOUSA & LOBATO (2004), em recomendação feita a região do Cerrado, indicam que a quantidade máxima de N a ser aplicada em cada cultivo pode chegar a 155 kg $ha^{-1}$.

O S e o Ca foram, respectivamente, os nutrientes identificados como deficientes num maior número de talhões. O S esteve deficiente na grande maioria dos talhões, de acordo com a metodologia DRIS, variando de 109 a 116 talhões, o que perfaz aproximadamente 75% das áreas avaliadas. A partir deste resultado pressupõe-se que, ou a quantidade de enxofre fornecida não foi suficiente, ou a quantidade de outros nutrientes foi muito elevada, o que através dos cálculos DRIS seria indicado como uma deficiência. De acordo com SILVA & RAIJ (1996) a quantidade de enxofre a ser aplicada é de 40 a 60 kg $ha^{-1}$. Essa quantidade foi suprida nas áreas estudadas, pois foram aplicados, em média, 60 kg de S $ha^{-1}$, variando de 50 e 70 kg de S $ha^{-1}$, ambas ocorridas em Sapezal-MT nos anos agrícola 2000/2001 e 2002/2003 respectivamente.

Os níveis críticos encontrados para os macronutrientes primários na cultura do algodão são apresentados na Figura 5. Os teores de N (40,66 e 42,07 g $kg^{-1}$, para os métodos de BEAUFILS (1973) e ELWALI & GASCHO (1984) respectivamente) foram superiores aos valores apresentados por SILVA et al. (1995) e MARTINEZ et al. (1999) como nível crítico de N para o algodoeiro. Este mesmo fenômeno ocorreu, também, para os outros macronutrientes primários, os quais tiveram teores de nível critico estimados em 4,19 e 4,20 g de P $kg^{-1}$ e 19,04 e 18,86 g de K $kg^{-1}$, para os métodos BEAUFILS (1973) e ELWALI & GASCHO (1984) respectivamente.

Os macronutrientes secundários têm sua visualização gráfica do nível crítico por meio do DRIS apresentada na Figura 6.

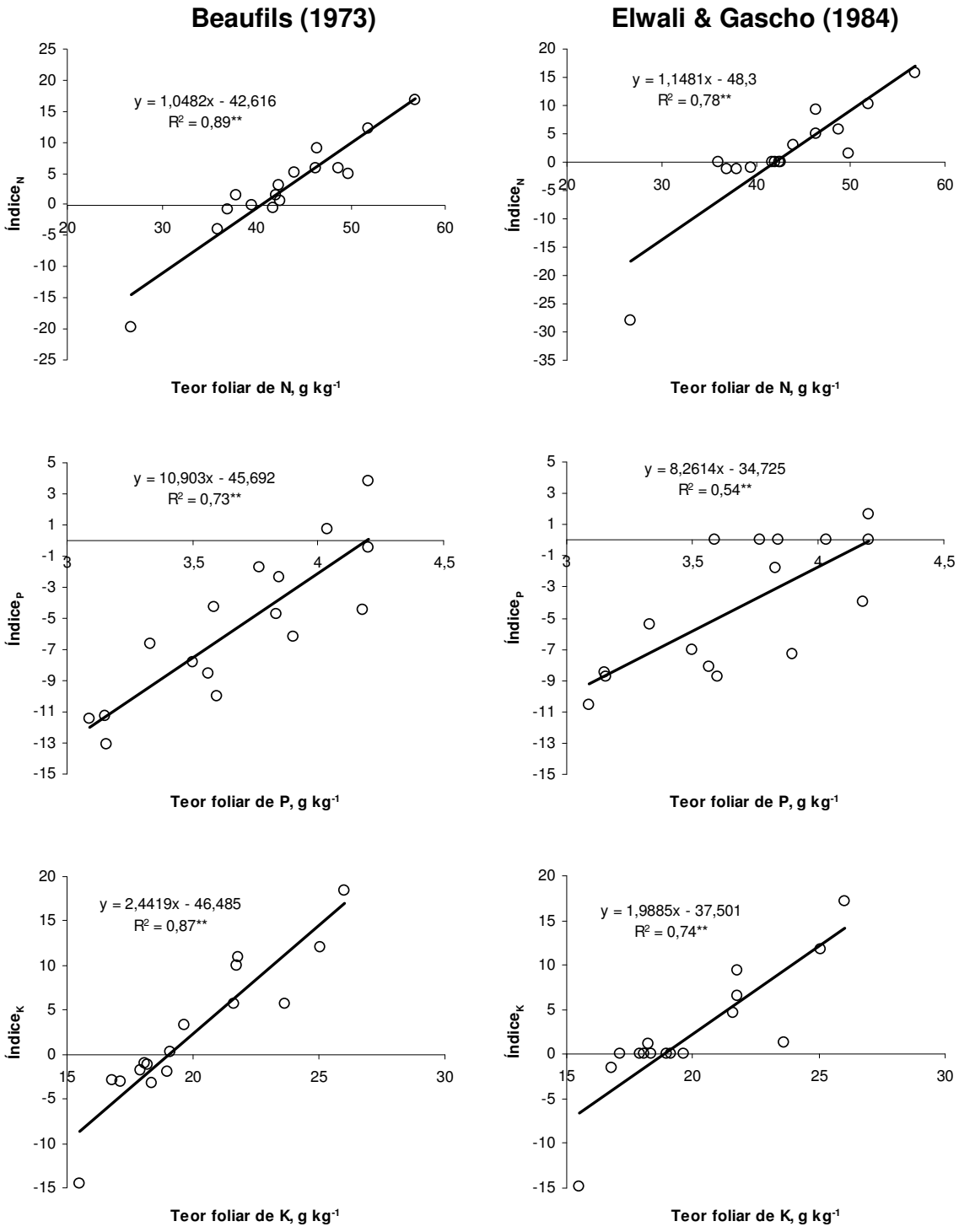
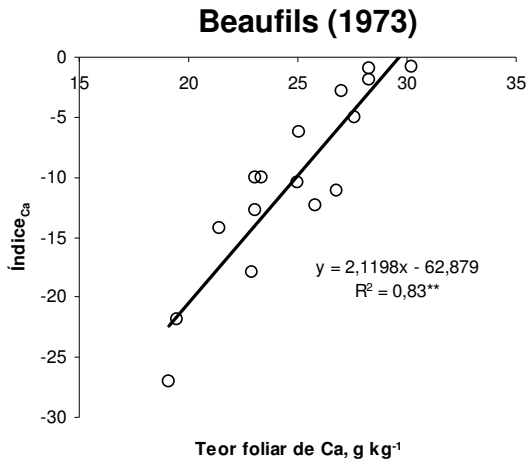
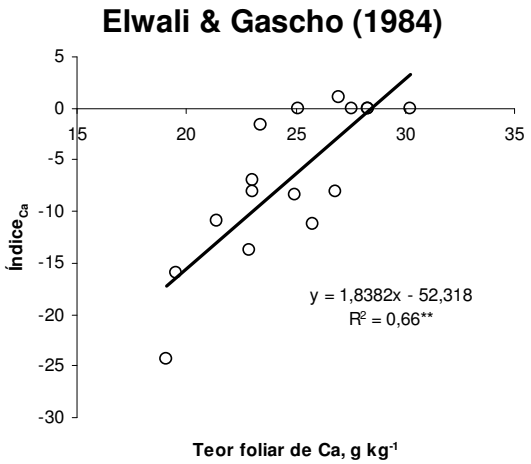
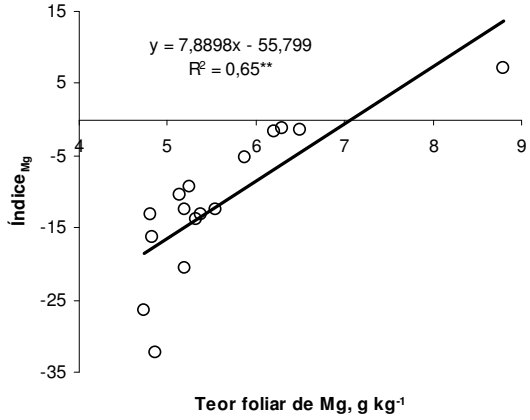
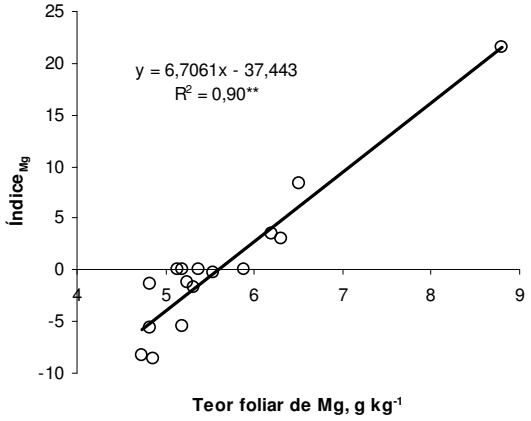

Beaufils (1973)
y = 1,0482x - 42,616
R² = 0,89**
Índice_N
Teor foliar de N, g kg-1
Elwali & Gascho (1984)
y = 1,1481x - 48,3
R² = 0,78**
Índice_N
Teor foliar de N, g kg-1
y = 10,903x - 45,692
R² = 0,73**
Índice_P
Teor foliar de P, g kg-1
y = 8,2614x - 34,725
R² = 0,54**
Índice_P
Teor foliar de P, g kg-1
y = 2,4419x - 46,485
R² = 0,87**
Índice_K
Teor foliar de K, g kg-1
y = 1,9885x - 37,501
R² = 0,74**
Índice_K
Teor foliar de K, g kg-1

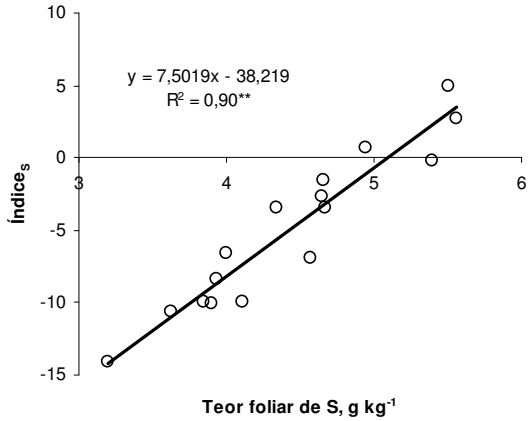
Figura 5. Relação entre os índices DRIS, obtidos pelo método de Beaufils (1973) e de Elwali & Gascho (1984), e os teores foliares dos macronutrientes primários.


Beaufils (1973)
y = 2,1198x - 62,879
R² = 0,83**
Índice Ca
Teor foliar de Ca, g kg-1


Elwali & Gascho (1984)
y = 1,8382x - 52,318
R² = 0,66**
Índice Ca
Teor foliar de Ca, g kg-1


y = 7,8898x - 55,799
R² = 0,65**
Índice Mg
Teor foliar de Mg, g kg-1


y = 6,7061x - 37,443
R² = 0,90**
Índice Mg
Teor foliar de Mg, g kg-1


y = 7,5019x - 38,219
R² = 0,90**
Índice S
Teor foliar de S, g kg-1

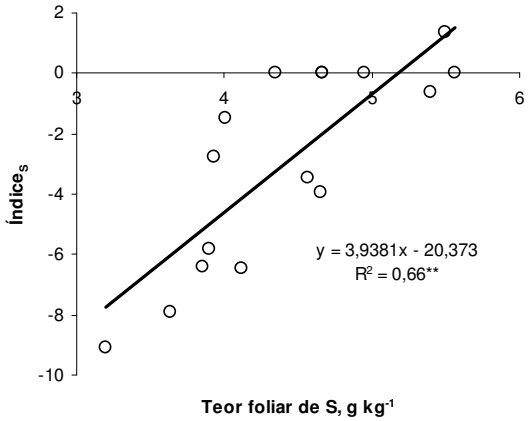

y = 3,9381x - 20,373
R² = 0,66**
Índice S
Teor foliar de S, g kg-1

Figura 6. Relação entre os índices DRIS, obtidos pelo método de Beaufils (1973) e de Elwali & Gascho (1984), e os teores foliares dos macronutrientes secundários.

Os níveis críticos encontrados pelo método DRIS para cálcio, magnésio e enxofre estiveram acima dos recomendados por MARTINEZ et al. (1999), SILVA et al. (1995) e MALAVOLTA et al. (1997), exceção feita ao cálcio para o último trabalho citado.

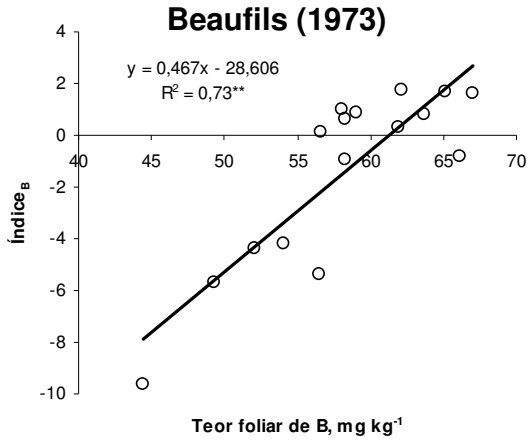
No caso do boro (Figura 7) houve correlação apenas com os índices DRIS ($I_B$), quando a função de cálculo utilizada foi a descrita por BEAUFILS (1973), onde foi possível calcular o nível crítico para este nutriente como 61,25 g $kg^{-1}$. Este teor é maior do que os apresentados por MARTINEZ et al. (1999), SILVA et al. (1995) e MALAVOLTA et al. (1997), a exemplo do que ocorreu com a maioria dos nutrientes.

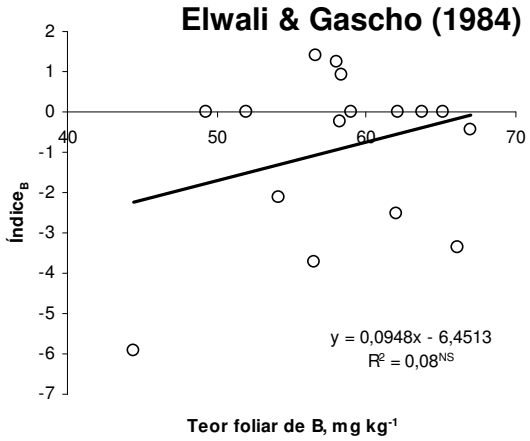
Os valores do nível crítico calculados a partir das equações de regressão para os micronutrientes cobre (9,3 e 9,6), ferro (158,8 e 219,8), manganês (56,5 e 59,7) e zinco (38,4 e 41,2) (Figuras 7 e 8), foram dados em mg $kg^{-1}$, sendo o primeiro correspondente a fórmula de BEAUFILS (1973) e o segundo calculado a partir dos resultados da fórmula de ELWALI & GASCHO (1984).

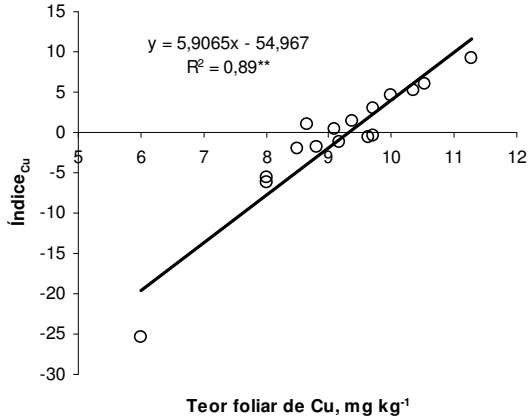
Estes teores foram maiores de que os apresentados por MARTINEZ et al. (1999) para Cu e Zn, do que os indicados por MALAVOLTA et al. (1997) para Fe, Mn e Zn e, daqueles apresentados por SILVA et al. (1995) para Fe.

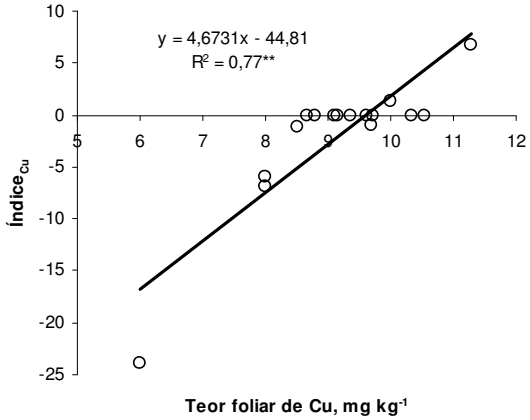
São observados, algumas vezes, conflitos entre as informações disponíveis na literatura e aquelas encontradas pelos índices DRIS, uma vez que o método empregado mostrou, na maioria das vezes, valores superiores aos indicados na recomendação para a cultura. Situação semelhante foi observada na cultura da macã (NACHTIGALL, 2004). O nível crítico, para o DRIS, é o ponto de equilíbrio, o que não coincide com a definição de nível crítico proposto por ULRICH & HILLS (1967), determinado como o teor de nutriente correspondente a 90 % da produtividade total, ou correspondente a diminuição de 10 % da produtividade máxima.

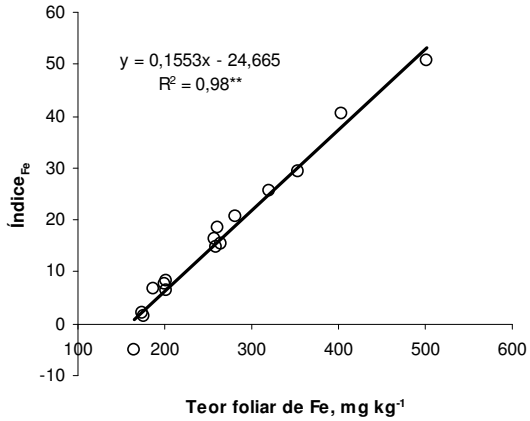
Por meio da análise de regressão evidenciou-se que apenas os índices DRIS calculados para P, Ca, Cu e Zn contribuem significativa e diretamente para a produtividade, independentemente da fórmula utilizada para o cálculo das funções entre nutrientes.


Beaufils (1973)
y = 0,467x - 28,606
R² = 0,73**
Índice_B
Teor foliar de B, mg kg-1


Elwali & Gascho (1984)
y = 0,0948x - 6,4513
R² = 0,08NS
Índice_B
Teor foliar de B, mg kg-1


y = 5,9065x - 54,967
R² = 0,89**
Índice_Cu
Teor foliar de Cu, mg kg-1


y = 4,6731x - 44,81
R² = 0,77**
Índice_Cu
Teor foliar de Cu, mg kg-1


y = 0,1553x - 24,665
R² = 0,98**
Índice_Fe
Teor foliar de Fe, mg kg-1

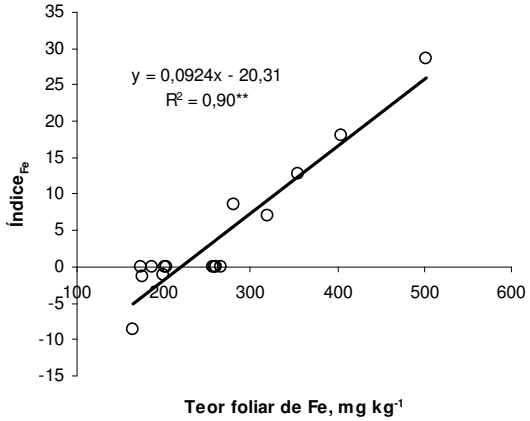

y = 0,0924x - 20,31
R² = 0,90**
Índice_Fe
Teor foliar de Fe, mg kg-1

Figura 7. Relação entre os índices DRIS, obtidos pelo método de Beaufils (1973) e de Elwali & Gascho (1984), e os teores foliares de boro, cobre e ferro.

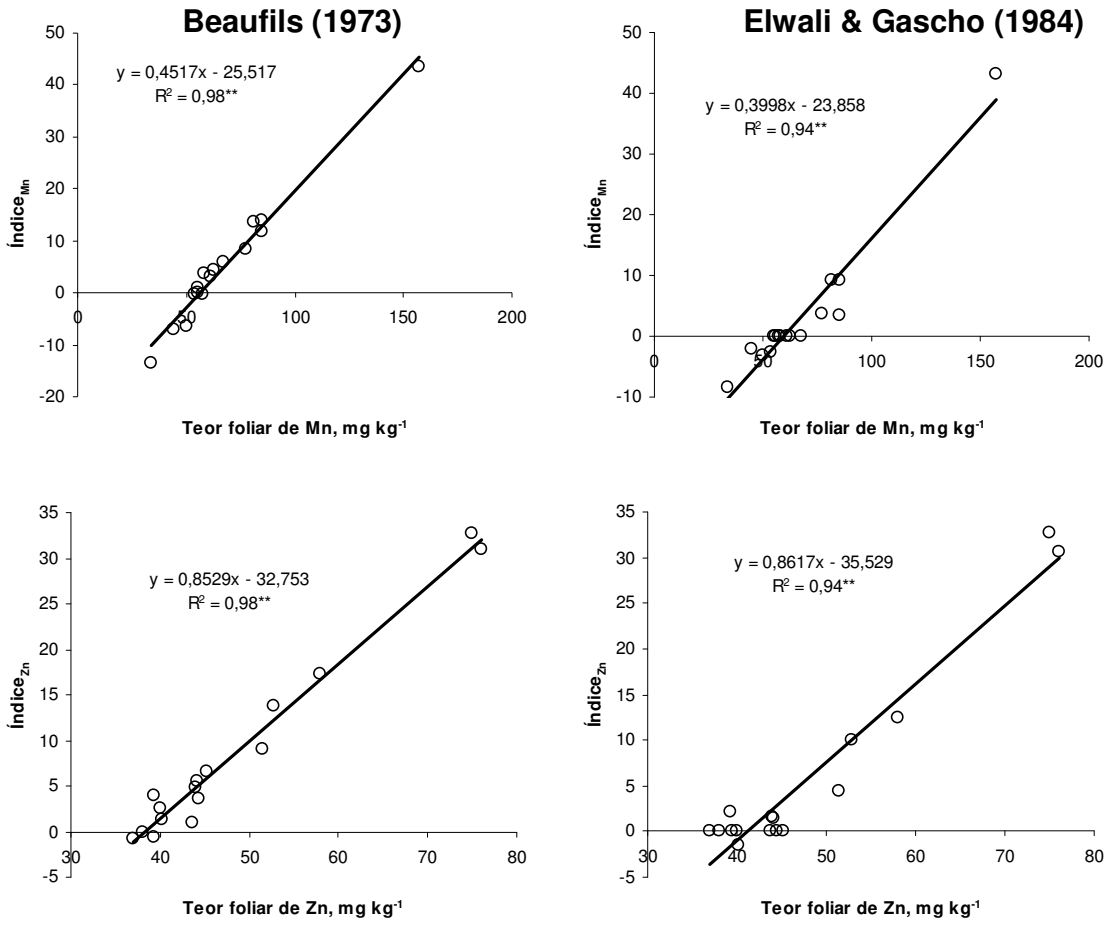



Figura 8. Relação entre os índices DRIS, obtidos pelo método de Beaufils (1973) e de Elwali & Gascho (1984), e os teores foliares de manganês e zinco.

Da mesma maneira, ficou evidente a contribuição destes índices com o IBN (índice de balanço nutricional), se acrescentado o índice de manganês calculado pelo método proposto por ELWALI & GASCHO (1984).

Observando-se a Figura 9 pode-se verificar que a diferença entre os dois métodos de cálculo é pequena, uma vez que o coeficiente de determinação varia de 0,73 para 0,75; logo, não é possível indicar um método superior para a diagnose nutricional do algodoeiro.

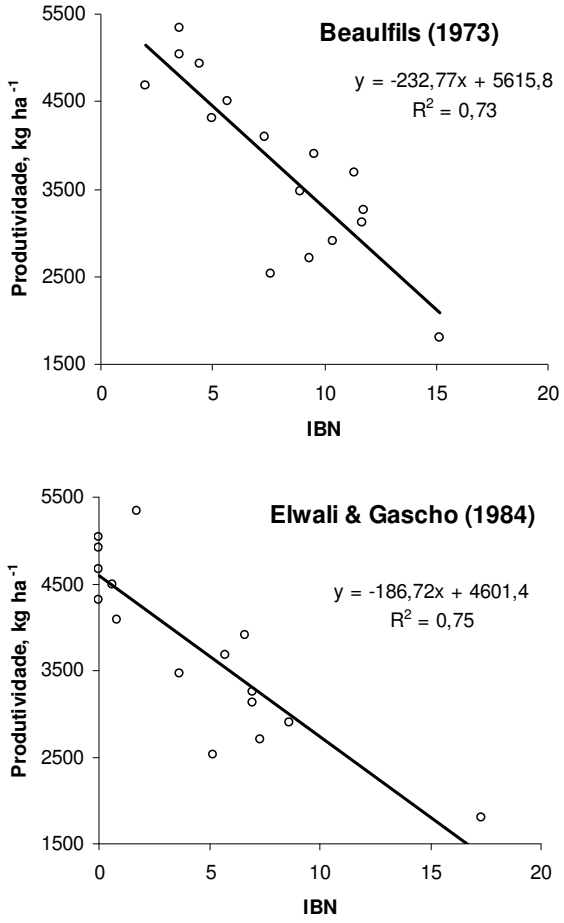



Figura 9**.** Relação entre valores de IBN (Índice de Balanço Nutricional) e produtividade do algodoeiro.

Para verificar as coincidências para detecção dos nutrientes que mais limitaram a produtividade do algodoeiro, utilizou-se os níveis críticos recomendados por RIBEIRO et al. (1999). De acordo com a Tabela 6 foi possível identificar a baixa correspondência entre as deficiências detectadas pelo método DRIS e pelo método do nível crítico.

Tabela 6. Número de ocorrência de deficiências para os nutrientes na cultura do algodão

| | | N | P | K | Ca | Mg | S | B | Cu | Fe | Mn | Zn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nível Crítico | | 12 | 71 | 32 | 80 | 111 | 134 | 74 | 22 | 0 | 0 | 0 |
| BEAUFILS (1973) | *F* | 48 | 98 | 78 | 120 | 129 | 115 | 88 | 49 | 55 | 81 | 56 |
| | *r* | 53 | 88 | 75 | 111 | 89 | 116 | 82 | 55 | 92 | 85 | 44 |
| ELWALI & GASCHO | *F* | 45 | 96 | 74 | 113 | 97 | 114 | 89 | 57 | 82 | 73 | 58 |
| (1984) | *r* | 47 | 86 | 74 | 108 | 95 | 113 | 86 | 63 | 74 | 77 | 54 |
| JONES (1981) | *F* | 48 | 91 | 69 | 110 | 93 | 109 | 82 | 48 | 87 | 80 | 53 |
| | *r* | 48 | 91 | 67 | 110 | 92 | 110 | 86 | 54 | 92 | 88 | 55 |

Esta diferença pode ser devida ao fato do nível crítico não levar em consideração os valores dos outros nutrientes, uma vez que a análise é realizada com um nutriente de cada vez. Já o método DRIS considera possíveis interações entre os nutrientes, sendo sua maior que o fato de sempre existirem nutrientes apresentados como deficientes e, em excesso é sua maior desvantagem, conforme relatado na proposta inicial de BEAUFILS (1973),.

Dos nutrientes avaliados pelo método do nível crítico, os mais limitantes seriam S, Mg, Ca, B e P, enquanto pelo método DRIS, na maioria das vezes, a limitação foi dos mesmos nutrientes, somente alterando a ordem de limitação. A diferença existente entre os métodos é que, como o DRIS leva em consideração todos os nutrientes analisados aos pares, o Mn e o Zn, por exemplo, que pelo nível crítico não foram detectados como abaixo do recomendado em nenhum dos talhões, apresentaram índices DRIS negativos em algumas áreas, porém, a ordem de limitação destes ocorreu depois dos cinco nutrientes citados (S, Mg, Ca, B e P).

O Fe foi diagnosticado por meio da função modificada por JONES (1981) e pela função de BEAUFILS (1973) utilizando o valor *r* para escolha das relações, o qual apresentou maior percentual de deficiência nos talhões do que o B. O Fe está em altas concentrações nos solos estudados, de acordo com MACEDO (1996), por estar presente na fração argila, a qual possui grande quantidade de óxidos de ferro; logo, a deficiência deste elemento só ocorrerá nessas regiões, de acordo com MALAVOLTA et al. (1997), quando se realizar calagem excessiva, houver muita matéria orgânica ou alta

umidade no ambiente. A calagem não foi excessiva, inclusive porque o Ca e o Mg foram classificados como nutrientes abaixo do recomendado.

De maneira geral, as respostas obtidas para detecção de nutrientes deficientes no algodoeiro, pelas diferentes formas de cálculo do DRIS, foram semelhantes.

Ao se utilizar o potencial de reposta à adubação (Figuras 10 e 11), o diagnóstico indica uma provável resposta positiva à adubação com cálcio e magnésio, quando utilizados os métodos de BEAUFILS (1973) e ELWALI & GASCHO (1984). Este diagnóstico é, inicialmente, conflitante com o esperado, uma vez que nas áreas avaliadas foi realizada a calagem e, como a quantidade de cálcio e magnésio normalmente é suprida pelo calcário, não deveriam existir indicações de necessidade destes nutrientes para a cultura, especialmente de cálcio.

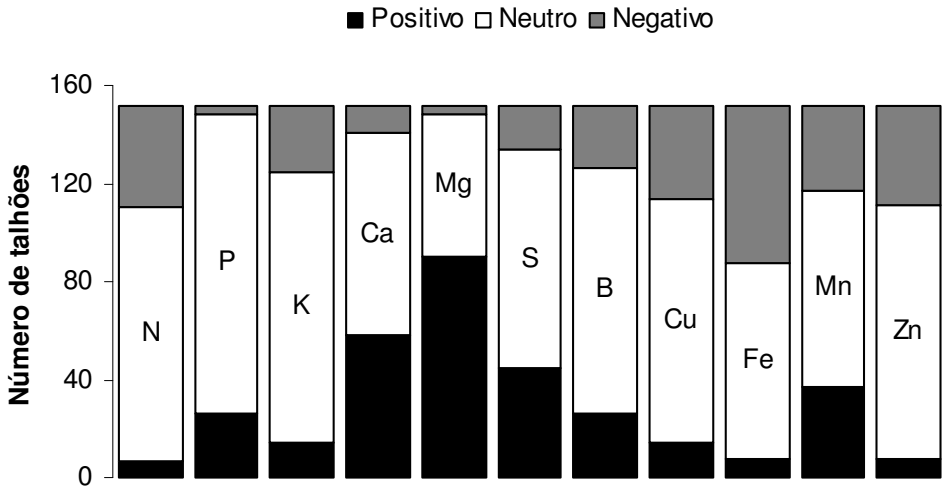



Figura 10**.** Talhões diagnosticados em função do potencial de resposta à adubação, considerando o método de Beaufils.

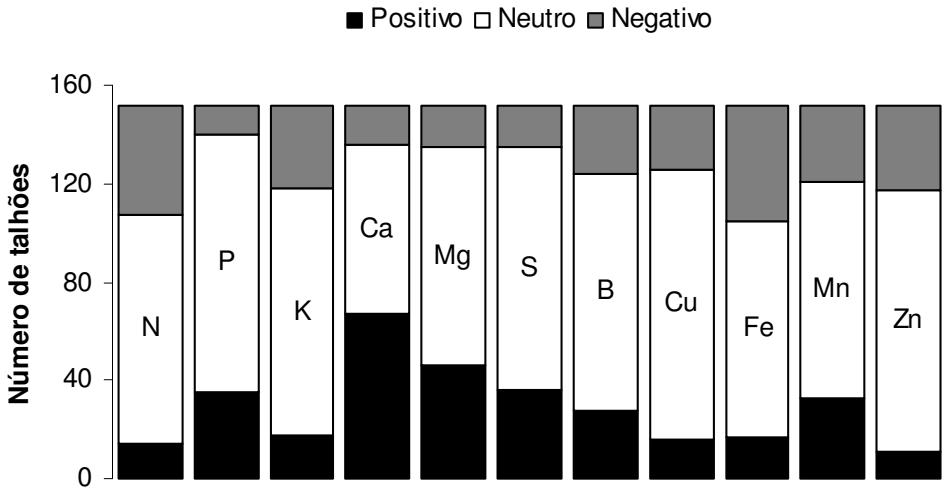



Figura 11**.** Talhões diagnosticados em função do potencial de resposta à adubação, considerando o método de Elwali & Gascho.

## *CONCLUSÕES*

O método proposto por Elwali & Gascho é menos sensível à forma de escolha da relação (*r* ou *F*) para o cálculo do IBN.

A relação escolhida para o cálculo do DRIS pelo valor *r* não é recomendável, exceto quando a diferença entre os coeficientes de correlação, entre a relação direta e inversa, for estatisticamente significativa.

Pelos métodos de cálculo das funções DRIS foram diagnosticados como provável limitação da cultura o Ca e o Mg, que normalmente são fornecidos via calagem, além do S

## REFERÊNCIAS

AGRIANUAL. **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2005. p. 368.

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas.** Campinas: Instituto Agronômico, 1983. 49p. (Boletim Técnico, 78).

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 e freqüência de resposta na adubação. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 2, p. 253-263, 2004.

BATAGLIA, O.C.; SANTOS, W.R. Efeito do procedimento de cálculo e da população de referência nos índices do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS). **R. Bras. Ci. Solo,** Campinas, v. 14, n. 3, p. 339-344, 1990.

BEAUFILS, E.R. Physiological diagnosis – a guide for improving maize production based on principles developed for rubber trees. **Fert. Soc. S. Afr. J.,** v. 1, n. 1, p. 130, 1971.

BEAUFILS, E.R. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). Univ. Natal, **Soil Sci. Bul.,** v. 1, n.1, 1973.

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

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Mapa de solos do Brasil.** Rio de Janeiro, 1981. 1 mapa. Escala 1:5.000.000.

GRESPAN, S.L.; ZANCANARO, L. Adubação. In: FUNDAÇÃO MT. **Mato Grosso:** liderança e competividade. Rondonópolis: FUNDAÇÃO MT; Campina Grande: Embrapa-CNPA, 1999. 182 p.

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

HOLLAND, D.A. The interpretation of leaf analyses. **J. Hort. Sci.**, London, v. 41, p. 311-329, 1966.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. [http://www.ibge.gov.br acesso em 11/mar/2006].

JONES, W.W. Proposed modifications of the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for interpreting plant analyses. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, New York, v. 12, p. 785-794, 1981.

LETZSCH, W.S. Computer program for selection of norms for use in the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, New York, v. 16, p. 339-347, 1985.

MACEDO, J. Os solos da região dos Cerrados. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. **O solo nos grande domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. (Ed.) Viçosa: SBCS; UFV, DPS, 1996. p. 135-155.

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

MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J.G.; SOUZA, R.B. Diagnose foliar. *In*: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.) **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais** – 5ª aproximação.Viçosa, MG: Editora UFV, 1999. p.141-168.

MARUR, C.J.; RUANO, O. A reference system for determination of developmental stages of upland cotton. **Rev. Ol. Fibros.**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 313-317, 2001.

MOURÃO FILHO, F.A.A.; AZEVEDO, J.C.; NICK, J.A. Funções e ordem da razão dos nutrientes no estabelecimento de normas DRIS em laranjeira ´Valência´. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 37, p. 185-192, 2002.

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

NICK, J.A. **DRIS para cafeeiros podados**. 1998. 86f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade São Paulo, Piracicaba, 1998.

OLIVEIRA, S.A. Análise foliar. *In*: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.) **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 245-256.

PAVINATO, A. Adubação do algodoeiro no Cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 4., 2003, Goiânia. **Anais eletrônicos...** Goiânia: EMBRAPA, 2003. CD-ROM.

RADAMBRASIL. Folha SD. 21 Cuiabá. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, Projeto RadamBrasil, 1982. (Levantamento de recursos naturais, 26).

RADAMBRASIL. Folha SE. 22 Goiânia. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, Projeto RadamBrasil, 1983. (Levantamento de recursos naturais, 31).

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Eds.) **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais** – 5ª aproximação. Viçosa, MG: Editora UFV, 1999. 359p.

SILVA, N.M.; CARVALHO, L.H.; CIA, E.; FUZATTO, M.G.; CHIAVEGATO, E.J.; ALLEONI, L.R.F. **Seja o doutor do seu algodoeiro**. Potafos, Piracicaba, 1995. 24p. (Arquivo do Agrônomo, 8)

SILVA, N.M.; RAIJ, B. van. Fibrosas. In: RAIJ, B.van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o**

**estado de São Paulo.** Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1996. (Boletim técnico, 100).

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Calagem e adubação para culturas anuais e semiperenes. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado:** correção do solo e adubação. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.285-286.

STAUT, L.A.; KURIHARA, C.H. Calagem e adubação. In: EMBRAPA AGROPECUÁRIA OESTE; EMBRAPA ALGODÃO. **Algodão**: tecnologia de produção. Dourados: EMBRAPA AGROPECUÁRIA OESTE, 2001. p.103-123.

TAKIZAWA, E.K. Manejo da cultura do algodão no sistema de plantio direto (SPD). Aspectos teóricos e científicos do plantio direto (PD) com enfoque em algodão. In: ENCONTRO PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 7., 2003, Sorriso. **Anais...** Sorriso, 2003.

ULRICH, A.; HILLS, F.J. Principles and practices of plant analysis. In: HARDY, G.W. (ed.) **Soil testing and plant analysis**. Madison: Soil Science Society American, 1967. p. 11-24. (Special Publication, 2).

WADT, P.G.S.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; FONSECA, S.; BARROS, N.F.; DIAS, L.E. Três métodos de cálculo do DRIS para avaliar o potencial de resposta à adubação de árvores de eucalipto. **Rev. Bras. Ci. Solo,** Viçosa, v. 22, p. 661-666, 1998.

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