

JULIANO MARCOS POSSAMAI

**SISTEMA DE RECOMENDAÇÃO DE CORRETIVOS E FERTILIZANTES
PARA O CULTIVO DO ALGODOEIRO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2003

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

P856s
2003
Possamai, Juliano Marcos, 1977
Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes
para o cultivo do algodoeiro / Juliano Marcos Possamai.
– Viçosa : UFV, 2003
91p. : il.

Orientador: Roberto Ferreira de Novais
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de
Viçosa

1. Algodão - Adubação - Modelos matemáticos. 2.
Algodão - Calagem. 3. Algodão - Nutrição - Modelos
matemáticos. 4. Algodão - Produtividade - Modelos
matemáticos. 5. Solos - Fertilidade. I. Universidade
Federal de Viçosa. II. Título.

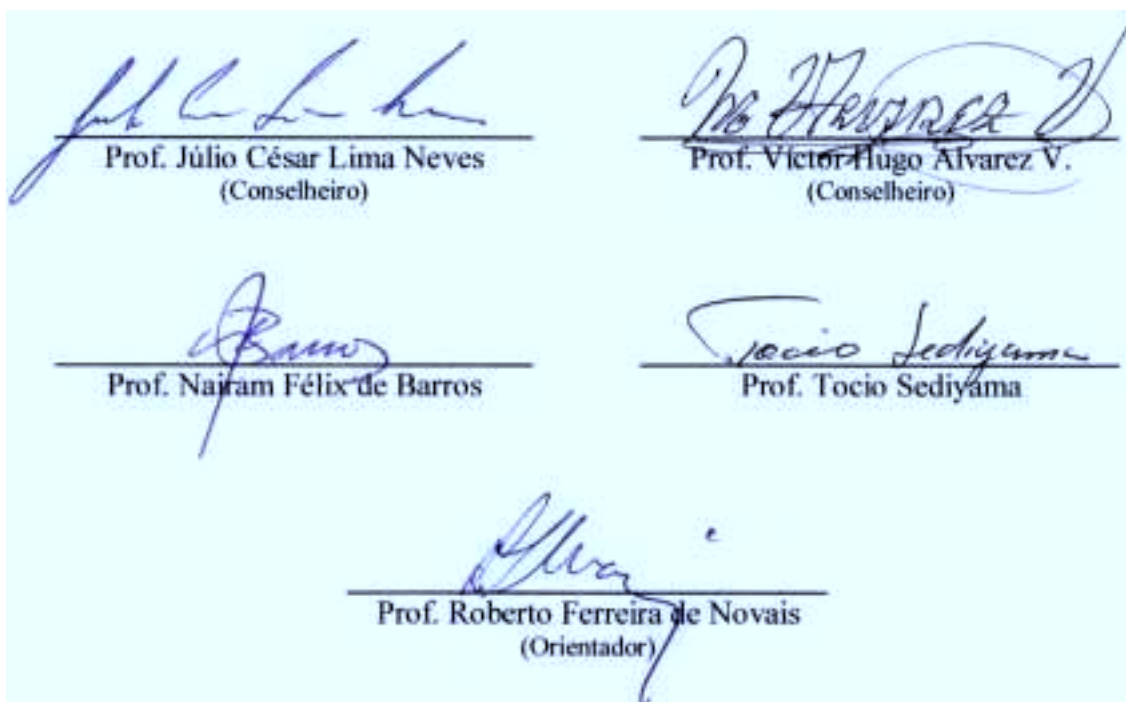
CDD 19.ed. 633.51891
CDD 20.ed. 633.51891

JULIANO MARCOS POSSAMAI

**SISTEMA DE RECOMENDAÇÃO DE CORRETIVOS E FERTILIZANTES
PARA O CULTIVO DO ALGODOEIRO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 7 de março de 2003.



Prof. Júlio César Lima Neves
(Conselheiro)

Prof. Victor Hugo Alvarez V.
(Conselheiro)

Prof. Nairam Félix de Barros

Prof. Tocio Sedyama

Prof. Roberto Ferreira de Novais
(Orientador)

A Deus

A meus pais Pedro e Matilde

A meu irmão Adriano

A minha esposa Fátima

AGRADECIMENTO

À minha esposa, Fátima Araujo Barbosa Possamai, pelo afeto e companheirismo sempre presentes.

Aos meus pais e irmão, pelo amparo e incentivo essencial à minha formação moral e acadêmica.

Ao professor orientador, Roberto Ferreira de Novais, por nortear meus passos durante a realização deste trabalho.

Aos meus conselheiros, Júlio César Lima Neves e Víctor Hugo Alvarez V., pela amizade e apoio durante todo o tempo de convivência.

Aos amigos Adilson, Augusto, Flávia e Marco pelos momentos entretidos que passamos juntos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo fomento necessário à feitura deste trabalho.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial, ao Departamento de Solos pela oportunidade de aprimorar meus conhecimentos.

Aos professores, colegas e funcionários da Universidade Federal de Viçosa que cooperaram para realização desta pesquisa.

BIOGRAFIA

Juliano Marcos Possamai, filho de Pedro André Possamai e Matilde Brantel Possamai, nasceu em Barra do Garças, Mato Grosso, em 30 de maio de 1977.

Iniciou os seus estudos primários em 1983, entrando para o curso Técnico em Agropecuária em 1992, o qual concluiu em 1994.

Em março de 2001, graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

Iniciou o curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas em abril de 2001, na Universidade Federal de Viçosa, defendendo Tese em março de 2003, quando, iniciou o curso de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas, na mesma instituição.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO	vii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DO SISTEMA	6
2.1. Suprimento de nutrientes (Subsistema suprimento)	7
2.1.1. Calagem.....	8
2.1.1.1. Método da neutralização do Al^{3+} e elevação dos teores de $Ca^{2+} + Mg^{2+}$.	8
2.1.1.2. Método da saturação por bases.....	10
2.1.2. Suprimento pelo solo.....	12
2.1.3. Suprimento pelos resíduos orgânicos	17
2.2. Requerimento de nutrientes (Subsistema requerimento).....	21
2.2.1. Requerimento pela cultura.....	21
2.2.1.1. Demanda nutricional	22
a. Produção de biomassa nos diferentes compartimentos da planta.....	23
a.1. Fibra	23
a.2. Carço de algodão.....	24
a.3. Folhas	25
a.4. Caule	26
a.5. Raízes	26
b. Teores de macro e micronutrientes nas diferentes partes da planta	27

b.1. Fibra	27
b.2. Carvão de algodão.....	28
b.3. Folhas	29
b.4. Caule	33
b.5. Raízes	33
2.2.1.2. Eficiência na recuperação de nutriente pela planta	34
2.2.2. Dose de segurança	42
2.3. Balanço Nutricional	43
2.4. Dose recomendada.....	43
2.5. Nível crítico do nutriente	44
3. UTILIZAÇÃO DO FERTICALC [®] Algodoeiro.....	45
3.1. Informações requeridas pelo FERTICALC [®] Algodoeiro.....	45
3.2. Determinação do suprimento total de nutrientes	46
3.2.1. Determinação da necessidade de calagem e suprimento de Ca ²⁺ e Mg ²⁺	46
3.2.1.1. Método da neutralização do Al ³⁺ e elevação dos teores de Ca ²⁺ + Mg ²⁺	46
3.2.1.2. Método da saturação por bases.....	47
3.2.1.3. Quantidade de calcário utilizada e suprimento de Ca e Mg.....	47
3.2.1.4. Estimativa do pH final.....	48
3.2.2. Suprimento de nitrogênio, fósforo e potássio pelo solo	48
3.2.3. Suprimento de nitrogênio, fósforo e potássio pelos resíduos orgânicos	49
3.3. Determinação do requerimento de nutrientes	50
3.3.1. Requerimento pela cultura.....	50
3.3.1.1. Demanda nutricional da cultura	50
a. Produção de biomassa nos diferentes compartimentos da planta.....	50
b. Teores de macro e micronutrientes nas diferentes partes da planta	51
3.3.1.2. Eficiência na recuperação de nutrientes pela planta.....	53
3.3.2. Dose de segurança	54
3.4. Balanço Nutricional	55
3.5. Dose recomendada.....	55
3.6. Nível crítico do nutriente	56
3.7. Cálculo para os demais nutrientes	56
3.8. Comparação entre recomendações do FERTICALC [®] Algodoeiro e outros métodos	57
3.9. Análise de sensibilidade do sistema	60
4. RESUMO E CONCLUSÕES	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
APÊNDICE	89

RESUMO

POSSAMAI, Juliano Marcos, M.S., Universidade Federal de Viçosa, março de 2003.

Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para o cultivo do algodoeiro. Orientador: Roberto Ferreira de Novais. Conselheiros: Júlio César Lima Neves e Víctor Hugo Alvarez V.

As recomendações de adubação para o cultivo do algodoeiro atualmente são baseadas em tabelas, em alguns *softwares* que fazem a interpolação dos dados provenientes destas tabelas, e na experiência prática de técnicos, produtores e pesquisadores, tornando evidente a necessidade de um sistema de recomendação de nutrientes que considere maior número de características do solo e planta. Com este objetivo desenvolveu-se o sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para o cultivo do algodoeiro (FERTICALC[®] Algodoeiro) baseado no balanço nutricional entre o requerimento pela planta e o suprimento de nutrientes pelo solo e pelos resíduos orgânicos, considerando-se ainda uma dose de segurança e o suprimento de Ca e Mg pela calagem, quando efetuada. A recomendação de calagem pode ser feita pelo método da neutralização do Al^{3+} e elevação dos teores de $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ ou pelo método de saturação por bases, calculando-se o suprimento de Ca e Mg. O suprimento de nutrientes pelo solo é baseado no resultado da análise de solo e na taxa de recuperação do nutriente pelo extrator, enquanto que o suprimento pela mineralização dos resíduos orgânicos considera o conteúdo de nutrientes na área e suas respectivas taxas de

liberação. O requerimento é definido como a quantidade de nutriente necessária para viabilizar uma definida produtividade de algodão em caroço, considerando-se o conteúdo de nutriente na planta para tal produtividade, a eficiência de recuperação do nutriente aplicado via fertilizantes e uma dose de segurança. Com a diferença entre requerimento e suprimento tem-se o balanço nutricional e a partir daí a dose recomendada, permitindo a otimização do uso de corretivos e fertilizantes, considerando as variações das condições de solo, planta e metas de produtividade, de forma contínua. O FERTICALC[®] Algodoeiro efetua o balanço nutricional para os macronutrientes e para Cu, Fe, Zn, Mn e B, sendo as doses recomendadas similares às utilizadas pelos agricultores no Brasil na maioria dos casos, superiores a estas quando o solo apresenta baixa disponibilidade do nutriente e, ou, visam-se elevadas produtividades e inferiores quando o solo apresenta alta disponibilidade do nutriente. Com o sistema concluído, efetuou-se a análise de sensibilidade observando que a produtividade e o teor do elemento no solo são os fatores que mais alteram a dose recomendada, sendo que o aumento da produtividade propicia grande aumento da dose e, o contrário, para o teor do elemento no solo. Ao contrário da produtividade, ou do teor do elemento no solo, a dose de segurança tem pouca influência sobre a dose final do nutriente, e a quantidade de resíduos orgânicos apresenta grande influência na redução da dose de N, K, Ca, Mg e S e muito pouca influência na redução da dose de P, Cu, Fe, Zn, Mn e B.

ABSTRACT

POSSAMAI, Juliano Marcos, M.S., Universidade Federal de Viçosa, March 2003.

Lime and fertilizer recommendation system for cotton. Advisor: Roberto Ferreira de Novais. Committee members: Júlio César Lima Neves and Víctor Hugo Alvarez V.

Currently, recommendations for the fertilization of cotton crops are partly based on tables, in software where the data of these tables are interpolated, and partly on the practical experience of technicians, producers, and researchers. The need for a nutrient recommendation system that includes a higher number of soil and plant characteristics is evident. With this objective in mind, we have developed a recommendation system for lime and fertilizers in the cultivation of cotton (FERTICALC[®] Cotton plant), based on the nutritional balance between plant requirements and nutrient supply from soil and organic residues, taking account of a safety margin, and in the case of liming, the provision of Ca and Mg. Recommendation for liming can either be established by the Al³⁺ neutralization method and the elevation of Ca²⁺ + Mg²⁺ contents, or by the base saturation method, where Ca and Mg supplies are calculated. Nutrient supply by the soil is based on soil analysis results and on the nutrient recuperation rate through the extractor, while supply by mineralization of organic residues considers the nutrient content in the area and its respective release rates. Requirement is defined as the nutrient quantity that is necessary to achieve a defined cotton yield, considering the

nutrient content of the plant for that productivity, the efficiency of nutrient recuperation applied via fertilizers, and a safety margin. The difference between requirement and supply provides the nutritional balance, and thus the recommendation of rates that allow the continuous optimized use of lime and fertilizers, considering variations in soil conditions, plants and target productivity. FERTICALC[®] Cotton plant establishes the nutritional balance for macronutrients and for Cu, Fe, Zn, Mn, and B. In most cases, the recommended rates are similar to those applied by Brazilian farmers. They are higher, where the soil nutrient availability is low, and/or, when higher productivity goals are set, and lower, where the soil nutrient availability is high. Complementary to the system, sensitivity analysis was carried out, which showed that productivity and element contents in the soil influenced the recommended rate most. Higher yields demand a considerably increased rate, while the opposite provides increased element contents in the soil. Unlike productivity or soil element contents, the safety margin has little influence on the final nutrient rate. The amount of organic residues exerts great influence on the reduction of the N, K, Ca, Mg, and S rates, but very little influence on the reduction of the P, Cu, Fe, Zn, Mn, and B rates.

1. INTRODUÇÃO

O algodoeiro é uma dicotiledônea pertencente à família Malvaceae e ao gênero *Gossypium*, com 39 espécies já identificadas (Fryxell, 1984). No entanto, a maioria das espécies é silvestre e não produz fibra, sendo cultivadas apenas quatro espécies, das quais, o *Gossypium hirsutum* L. conhecida como algodoeiro Upland, originária da América Central, é responsável por mais de 90 % da produção mundial (Fuzatto, 1999).

A pluma é o principal produto econômico da cotonicultura, sendo subprodutos o óleo, o farelo com elevado teor protéico, o *linter* e a fibrilha. Em média, cada 100 kg de caroços de algodão resultam em 10 kg de óleo, 84 kg de farelo e 6 kg de perdas (Fundação MT, 2001).

O algodão, conhecido desde 3.000 a.C., representa 74 % das fibras naturais utilizadas na indústria têxtil, vindo a seguir a lã, com 20 %, e o linho, com 6 %. Com a introdução das fibras artificiais e sintéticas na indústria, o algodão vem perdendo sua participação relativa no mercado mundial (47 % em 1993 para 42 % em 1998). No entanto, o consumo mundial de fibras têxteis, nesse mesmo período, passou de 39,2 para 45,4 milhões de toneladas, compensando a redução da participação relativa da pluma de algodão, havendo inclusive pequeno incremento em seu consumo.

Atualmente, o cultivo do algodoeiro se estende por países da Ásia, África e América, sendo os oito maiores produtores China, Estados Unidos, Índia, Paquistão, Uzbequistão, Brasil, Turquia e Austrália. Na Europa, é cultivado apenas na Grécia e

Espanha. A produção mundial situa-se em torno de 19 milhões de toneladas de fibras, numa área de 33 milhões de hectares, com produtividade média de 576 kg ha⁻¹ de fibra (Fundação MT, 2001).

A cultura do algodão chegou a participar de 30,7 % das exportações brasileiras em 1865, cabendo ao café 19,8 %, condição essa que declinou, chegando as exportações do algodão em pluma a serem nulas, e haver grandes importações para suprimento da demanda interna. Este quadro vem sendo revertido a partir da safra de 97/98, quando o Brasil retomou as exportações de algodão, cada vez mais expressivas. O incremento na produção nacional deve-se muito mais ao aumento na produtividade, que passou de 1.335 kg ha⁻¹ em 1998 para 2.834 kg ha⁻¹ de algodão em caroço no ano 2000, do que ao ingresso de novas áreas produtivas, notando-se inclusive, na última década, redução de 58,4 % na área plantada com algodão herbáceo (Brasil, 2000; Brasil, 2001).

Todavia, a produção nacional continua inferior ao consumo, e, para a safra 2001/02, ocorreu redução em torno de 13,6 % na área plantada com algodão e 18,4 % na produção de pluma, que totalizou 766,2 mil toneladas, contra 938,8 mil toneladas na safra anterior (Conab, 2002; Conab, 2003).

No Brasil, seu cultivo é realizado em duas regiões bastante distintas: na setentrional (norte e nordeste), onde se cultiva, além do algodão herbáceo, o arbóreo, conhecido como mocó ou seridó, nas regiões áridas do nordeste, com comprimento de fibra entre 30 e 36 mm, muito forte e sedosa; na região meridional (estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, São Paulo, Paraná, Minas Gerais e sul da Bahia) cultiva-se o algodão herbáceo de ciclo anual, que atinge, em condições normais de cultivo, 100-160 cm de altura, produzindo fibra com comprimento médio de 30 a 32 mm para uso têxtil.

Dentre os Estados produtores na região meridional, o Mato Grosso contribuiu com 82,4 % do total de exportações de pluma na safra 2000/2001, e foi o único Estado que apresentou crescimento na área cultivada com algodão entre as safras de 1997/98 e 1998/99, com aumento de 85 % na área plantada. Esta expansão da cultura viabilizou-se graças às condições ambientais favoráveis, melhoria do manejo cultural, utilização de novos cultivares mais produtivos, juntamente com correção do solo, adubação e nutrição adequadas.

Os primeiros cultivos no Mato Grosso ocorreram nas melhores áreas de cada fazenda, e, com os bons resultados econômicos obtidos, os produtores expandiram esse

cultivo para campos com menor tempo de utilização, ou seja, solos que ainda não tiveram sua fertilidade corrigida, exigindo investimentos ainda maiores com a adubação para viabilizar altas produtividades.

Segundo Carvalho (1996), o algodoeiro não é exigente em fertilidade do solo, e a idéia generalizada que se faz a respeito da cultura deve-se ao fato do cultivo intenso no sul do EUA, nas primeiras décadas do século passado, em solos franco-arenosos e até arenosos, de baixa fertilidade natural, o que provocou o empobrecimento dos nutrientes do solo. Contrariamente a esta visão, pesquisadores da Fundação MT classificam a cultura do algodão como exigente em fertilidade do solo e muito responsiva à adubação. Outro ponto divergente entre esses pesquisadores refere-se às produtividades almejadas: enquanto Carvalho (1996) recomenda adubação para produtividades¹ de 100 @ ha⁻¹, pesquisadores da Fundação MT trabalham com recomendações visando 300 @ ha⁻¹ de algodão em caroço.

Além das divergências observadas nas recomendações de adubação de acordo com as produtividades esperadas, também fica evidente a divergência entre as recomendações de técnicos do sul e do centro-oeste, em que os primeiros recomendam doses menores, classificadas por especialistas em nutrição e adubação da Fundação MT como “doses homeopáticas”. Segundo eles, isto se deve, principalmente, à diferença entre a fertilidade natural nas duas regiões, onde, na centro-oeste, de modo geral, trabalha-se com solos de baixa fertilidade natural, textura arenosa ou franco-arenosa, além das condições climáticas mais estáveis, que permitem investimentos em que a relação custo / benefício é mais favorável (Fundação MT, 2001).

Apesar disso, é observado convergência para um ponto em comum, em que grande quantidade de nutrientes é recomendada para obtenção de altas produtividades, evidenciando ser o algodão uma cultura responsiva à adubação (Fundação MT, 2001). Como reforço a esta tendência, observa-se que o aumento da produtividade ao longo dos anos apresenta tendência similar ao consumo de fertilizantes e defensivos na agricultura (Brasil, 2000).

Um paralelo entre as produtividades do Brasil nos anos de 1995 e 2001 e produtividades de lavouras de alta produtividade da Austrália e do Brasil é estabelecido por Rosolem (2001b), sendo que as melhores produtividades nacionais são superiores às

¹ Usualmente a produtividade de algodão é expressa em @ ha⁻¹ de algodão caroço, sendo 1 @ = 15 kg.

da Austrália e estão em torno de 350 @ ha⁻¹ de algodão em caroço, segundo esse autor, no campo, há notícias de se ter conseguido produtividade de 600 @ ha⁻¹, mostrando a larga faixa que se tem para crescer em produtividade na cotonicultura do País, uma vez que a produtividade média nacional estimada para safra 2002/2003 é de 194 @ ha⁻¹ de algodão em caroço (Conab, 2003).

Segundo Tisdale et al. (1993), citados por Martins et al. (2001), existem 52 fatores que determinam a produção vegetal, sendo possível o controle sobre 45 deles. Cada um dos elementos essenciais à nutrição das plantas representa um fator de produção, evidenciando a importância da utilização de fertilizações adequadas para obtenção de elevadas produtividades. Buscando a otimização desses fatores, Martins et al. (2001) têm aplicado o Programa Integrado de Diagnósticos para o Aumento da Produtividade (PIDAP)² no monitoramento nutricional do algodoeiro visando produtividade maior a cada ano. A Fundação Mato Grosso também desenvolve um Programa de Monitoramento da Adubação (PMA)³, assistindo e monitorando áreas comerciais, com o objetivo de avaliar o efeito e as respostas às adubações utilizadas.

Além de programas de monitoramento do estado nutricional da cultura, existem vários *softwares*, equações e modelos mais complexos que visam recomendar adubação e, ou, calagem para o cultivo do algodoeiro.

Howard et al. (2001b) propuseram equações que estimam o crescimento relativo para a cultura do algodoeiro em função de doses de P e K nos sistemas de preparo de solo convencional e plantio direto, observando menor nível crítico de P no solo no sistema plantio direto, em comparação ao sistema de preparo do solo convencional, provavelmente, em razão do acúmulo de matéria orgânica na camada superficial que aumenta o acúmulo de P orgânico (Novais & Smyth, 1999).

Como exemplo de modelos complexos, tem-se o DSSAT (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer*), que é um pacote de programas integrando as características do solo, cultura, condição meteorológica e manejo. O DSSAT permite ao usuário perguntar “Como seria se ... ?” e obter os resultados para as condições simuladas. Pelo *software*, busca-se definir as melhores estratégias de gerenciamento

² Programa desenvolvido utilizando-se conceitos de modelagem como base, em que as áreas participantes do PIDAP são intensamente monitoradas quanto aos fatores que influenciam a produção, sendo os fatores deficientes em uma safra ajustados e corrigidos para a safra seguinte.

³ Programa iniciado pela Fundação MT, com apoio de produtores, laboratórios de análises de solo e folhas, e de empresas de fertilizantes.

para diversas culturas em diferentes condições, apresentando para todas elas modelos para simulação de disponibilidade de água no solo e balanço de nitrogênio (ICASA, 2002). Esse sistema tem sido freqüentemente atualizado, sendo que o DSSAT versão 3.5 inclui novos modelos de simulações para as culturas de girassol, cana-de-açúcar, grão-de-bico, tomate e pastagem, possuindo modelos para mais de 16 culturas (ICASA, 2002).

O FERT-algodão 1.0, formado por planilhas do *software* Microsoft Excel 2000, foi desenvolvido especificamente visando recomendar adubação para o cultivo do algodoeiro, interpretando os resultados da análise química de solo, classificando a disponibilidade de nutrientes como alta, média ou baixa, segundo padrões da literatura e recomendando adubação de N, P e K segundo uma produtividade desejada (Reis Jr. et al., 2001). Apesar da praticidade, este *software* é apenas uma “tabela informatizada” com interpolações de pontos entre os valores oriundos das tabelas de recomendações.

Com esta mesma linha de construção, existem vários *softwares*, entre eles o CliqSolo e o Sira Fertilidade, além de diversos outros. No entanto, não se encontra no mercado hoje, um sistema para recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura do algodão que leve em consideração: (i) extração e exportação de nutrientes pela cultura, (ii) eficiência de recuperação pela planta do nutriente aplicado, (iii) taxa de recuperação pelo extrator utilizado na análise de solo, dentre outros.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para o cultivo do algodoeiro (FERTICALC[®] Algodoeiro), baseado no balanço entre o requerimento de nutrientes pela planta para uma definida produtividade e o suprimento pelo solo e pela mineralização dos resíduos orgânicos, levando-se em consideração a manutenção da fertilidade do solo e dando-se maior enfoque para cultivares herbáceos plantados no cerrado brasileiro.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DO SISTEMA

Os primeiros trabalhos que objetivavam determinar doses adequadas de nutrientes para o algodoeiro eram centrados na determinação da quantidade de nutrientes exportados pelo cultivo para se obter determinada produtividade. Johnson (1926), citado por Jacob & Uexküll (1961), foi um dos iniciantes, e avaliou a quantidade total de N, P e K acumulados em toda a planta de algodão. Mais tarde, Jacob & Coyle (1931) avaliaram a quantidade de N, P e K exportados na colheita para uma produção de fibra de 336 kg ha⁻¹. Martin & Leonard (1950) fizeram um trabalho mais detalhado, avaliando a quantidade de N, P, K, Ca e Mg exportados na colheita em uma produção de 785 kg ha⁻¹ de algodão em caroço.

Desde então, diversos trabalhos foram conduzidos nesta linha de pesquisa. No entanto, não se buscou a separação dos componentes solo e planta para quantificar a “eficiência” de cada um separadamente: a eficiência do solo em reter nutriente (adsorção) e a eficiência da planta em absorver os nutrientes fornecidos ao solo, assim como as quantidades supridas pelo solo e demandadas pela planta para definida produtividade. Baseando-se nos dados desses e de vários outros trabalhos, foi desenvolvido o Sistema de Recomendação de Corretivos e Fertilizantes para o Cultivo do Algodoeiro (FERTICALC[®] Algodoeiro).

O FERTICALC[®] Algodoeiro é subdividido em dois subsistemas: o subsistema suprimento e o subsistema requerimento. O primeiro contempla basicamente a oferta de nutrientes pela calagem, pelo solo e pela decomposição dos resíduos orgânicos e, o

segundo, o subsistema requerimento, contempla a demanda pela planta, considerando-se a eficiência de recuperação e uma dose de segurança. Ao final, gera-se um balanço nutricional de modo que quando o suprimento é inferior ao requerimento indica a necessidade de aplicação do nutriente.

2.1. Suprimento de nutrientes (Subsistema suprimento)

A fração mineral, para a maioria dos solos agrícolas, constitui-se no componente do solo com maior contribuição no fornecimento de nutrientes para as plantas. Já a matéria orgânica (MO) tem importante papel no solo, propiciando melhoria nas propriedades físicas do solo, como retenção de umidade, infiltração e arejamento, e nas propriedades químicas, como o aumento da CTC, sendo que se observa alta correlação entre a CTC total do solo e o carbono orgânico do solo (CO), chegando esse a ser responsável por até 80 % da CTC total nos solos de regiões tropicais (Verdade, 1956). Contudo, o teor de MO presente nestes solos é, de modo geral, baixo, e apresenta redução com o tempo de cultivo, ocasionando a redução da CTC a pH 7,0 em até $2,38 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de solo, num período de cinco anos de cultivo em Neossolo Quartzarênico (NQ) (Silva et al., 1994), reforçando-se a necessidade da manutenção do teor de MO no solo e, se possível, aumentá-lo. Portanto, o fornecimento de nutrientes para as plantas em culturas anuais pela MO pode ser desconsiderado, exceto como fonte de N pelo solo.

Os resíduos orgânicos provenientes de cultivos anteriores, quando em grandes quantidades, podem constituir-se em importante fonte de nutrientes e, portanto, serão considerados como supridor de nutrientes para o cultivo do algodoeiro.

Quando efetuada, a calagem constitui-se em importante fonte de Ca e Mg, sendo considerada no cálculo do suprimento total.

Portanto, pelo FERTICALC[®] Algodoeiro nesse subsistema tem-se:

$$\hat{S}\hat{U}P(X)_{total} = \hat{S}\hat{U}P(X)_{calagem} + \hat{S}\hat{U}P(X)_{solo} + \hat{S}\hat{U}P(X)_{res.org.} \quad (\text{Eq.1})$$

em que $\hat{S}\hat{U}P(X)_{total}$ = suprimento total do nutriente “X”, em kg ha⁻¹,

$\hat{S}\hat{U}P(X)_{calagem}$ = suprimento de Ca ou Mg pela calagem, em kg ha⁻¹,

$\hat{S}\hat{U}P(X)_{solo}$ = suprimento pelo solo do nutriente “X” na camada delimitada pela profundidade efetiva do sistema radicular, em kg ha⁻¹,

$\hat{S}\hat{U}P(X)_{res.org.}$ = suprimento do nutriente “X” pela mineralização de resíduos orgânicos, em kg ha⁻¹.

2.1.1. Calagem

A cultura do algodão é muito sensível ao Al e exigente em Ca, que exerce importante papel na emergência, desenvolvimento e crescimento inicial das raízes do algodoeiro (Silva, 1999). Deste modo, a calagem constitui-se em técnica primordial para o cultivo do algodão, devendo ser realizado cálculo adequado para se obter a quantidade de calcário a ser aplicada, uma vez que, a calagem, além de ser fonte de Ca e Mg, neutraliza o Al³⁺ e pode aumentar a disponibilidade de nutrientes como N, P e Mo (Malavolta et al., 1997; Fundação MT, 2001).

Para recomendação de calagem pelo FERTICALC[®] Algodoeiro pode-se utilizar o método da neutralização do Al³⁺ e elevação dos teores de Ca²⁺ + Mg²⁺ (Alvarez V. & Ribeiro, 1999), ou o método da saturação por bases (Raij et al., 1983).

2.1.1.1. Método da neutralização do Al³⁺ e elevação dos teores de Ca²⁺ + Mg²⁺

No método da neutralização do Al³⁺ e elevação dos teores de Ca²⁺ + Mg²⁺, procura-se corrigir a acidez do solo, considerando-se a saturação por Al³⁺ tolerada pela cultura (m_t) e a capacidade tampão do solo (Y), e, concomitantemente, elevar a disponibilidade de Ca e de Mg de acordo com a exigência da cultura (X), conforme as fórmulas:

$$NC = CA + CD,$$

$$CA = Y \left[Al^{3+} - \left(\frac{m_t \cdot t}{100} \right) \right] \quad e \quad CD = \left[X - (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \right], \quad \text{logo:}$$

$$NC = Y \left[Al^{3+} - \left(\frac{m_t \cdot t}{100} \right) \right] + \left[X - (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \right] \quad (\text{Eq.2})$$

em que NC = necessidade de calagem, em t/ha,

CA = correção da acidez até certo valor de m (m_t), de acordo com a cultura e a capacidade tampão da acidez do solo (Y) (sendo seu valor negativo, considerar CA = 0),

CD = correção da deficiência de Ca e de Mg, assegurando um teor mínimo (X) destes nutrientes (sendo seu valor negativo, considerar CD = 0),

Y = valor relacionado à capacidade tampão do solo,

Al^{3+} = acidez trocável, em $cmol_c dm^{-3}$,

m_t = saturação por Al^{3+} máxima tolerada pela cultura, em %,

t = CTC efetiva, em $cmol_c dm^{-3}$,

X = exigência da cultura em $Ca^{2+} + Mg^{2+}$, em $cmol_c dm^{-3}$,

$Ca^{2+} + Mg^{2+}$ = teores de Ca e de Mg trocáveis, em $cmol_c dm^{-3}$.

No caso do algodoeiro, os valores de m_t e de X são respectivamente 10 % e $2,5 cmol_c dm^{-3}$ (Alvarez V. & Ribeiro, 1999), porém quando se visam produtividades superiores a $300 @ ha^{-1}$ de algodão em caroço, os teores de cálcio e de magnésio adequados, devem ser superiores a 2,5 e $0,8 cmol_c dm^{-3}$, respectivamente (Fundação MT, 2001), portanto, $X \geq 3,3$, enquanto que valores de m_t inferiores a 10 %, como por exemplo, 0 %, podem trazer benefícios em função da cultura do algodoeiro ser sensível ao Al^{3+} (Silva, 1999; Fundação MT, 2001). Em relação ao crescimento radicular, os teores de Ca no solo tidos como críticos variam de 0,25 a $0,80 cmol_c dm^{-3}$, sendo que, seu crescimento é inibido quando a saturação do complexo de troca do solo por Ca é inferior a 17 % (Adams & Moore, 1983, citados por Rosolem et al., 2000).

O valor de Y é variável com a capacidade tampão da acidez do solo, podendo ser estimado em função do fósforo remanescente do solo (P_{rem-60})⁴ (Alvarez V. & Ribeiro, 1999):

$$\hat{Y} = 4,002 - 0,125901 P_{rem-60} + 0,001205 (P_{rem-60})^2 - 0,00000362 (P_{rem-60})^3 \quad R^2 = 0,9998 \quad (\text{Eq.3})$$

em que P_{rem-60} = fósforo remanescente, em $mg L^{-1}$.

Quando não se dispuser do valor de P_{rem-60} na análise de solo, esse poderá ser estimado em função do teor de argila (Arg), a partir da equação de regressão obtida por Freire (2001), baseado em dados de diversos trabalhos:

⁴ Teor de P da solução de equilíbrio após agitação de 1 h de TFSA com solução de $CaCl_2$ $10 mmol L^{-1}$, contendo $60 mg L^{-1}$ de P, na relação 1:10.

$$\hat{P}_{\text{rem-60}} = 52,44 - 0,9646 \text{ ** Arg} + 0,005 \text{ ** Arg}^2 \quad R^2 = 0,7470 \quad (\text{Eq.4})$$

em que $P_{\text{rem-60}}$ = fósforo remanescente, em mg L^{-1} ,
 Arg = teor de argila, em %.

Sempre que possível, é preferível utilizar $P_{\text{rem-60}}$ analisado, ao invés de estimá-lo a partir do teor de argila, pois, a capacidade tampão de acidez do solo depende não somente do teor de argila, mas também da sua mineralogia.

2.1.1.2. Método da saturação por bases

No método da saturação por bases, considera-se a relação entre o pH e a saturação por bases (V). Elevando-se a saturação por bases a um determinado valor, corrige-se o valor de pH para uma faixa adequada ao crescimento da cultura. A definição da necessidade de calagem em função da saturação por bases é conceitualmente mais informativa em virtude da correlação significativa entre pH e saturação por bases (Raij et al., 1983).

$$NC = \frac{T(V_e - V_a)}{100} \quad (\text{Eq.5})$$

em que NC = necessidade de calagem, em t/ha,
 T = CTC a pH 7, em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$,
 V_e = saturação por bases esperada para a cultura a ser implantada, em %,
 V_a = saturação por bases atual do solo, em %.

Para o cultivo do algodoeiro, a saturação por bases adequada é igual a 60 % (Silva et al., 1995; Alvarez V. & Ribeiro, 1999), ou de 60 % a 70 % (Arantes et al., 1998). Porém, o maior crescimento radicular é obtido com saturação por bases em torno de 50 % (Rosolem & Bastos, 1997; Rosolem et al., 2000) e as maiores produtividades no estado do Mato Grosso são observadas em lavouras com saturações por bases entre 50 e 60 % (Fundação MT, 2001), onde Al^{3+} praticamente inexistente (Rosolem, 2001b). Contudo, a produção de matéria seca é reduzida quando a saturação por bases se aproxima de 70 %, (Rosolem et al., 2000), possivelmente por induzir à deficiência de zinco (Rosolem, 1998).

Solos com saturação por bases inferior a 50 % podem apresentar produtividades de algodão elevadas, superiores a 300 @ ha^{-1} de algodão em caroço, desde que os teores de Ca e Mg no solo sejam iguais ou superiores a 2,5 e 0,8 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente

(Fundação MT, 2001). Geralmente, em solos de textura média com saturação por bases superior a 50 %, os teores de Ca e Mg são adequados e o teor de $Al^{3+} \sim 0$ (Fundação MT, 2001). No entanto, solos com maior T podem aumentar a recomendação de calagem, e ao contrário, em solos com baixo T talvez a quantidade de calcário recomendada não atenda o requerimento de Ca e Mg da cultura. Portanto, para solos arenosos e franco-arenosos, uma $V_e \sim 60\%$ talvez seja mais adequada, enquanto que para solos argilosos e franco-argilosos uma $V_e \sim 50\%$ propicie melhores resultados, desde que, o Al^{3+} não seja limitante, isto é, $m \sim 0\%$.

Em relação ao pH para o cultivo do algodoeiro, a melhor faixa para crescimento e produção estaria compreendida entre 5,8 e 6,5 (Maitland et al., 2002). Como a calagem promove aumento no pH do solo ($\Delta\hat{pH}$), esse pode ser estimado a partir da necessidade de calagem aplicada, utilizando-se a equação desenvolvida a partir de trabalhos que relacionam $\Delta\hat{pH}$ e valores de acidez potencial (H + Al) (Mello, 2000; Freire, 2001):

$$\Delta\hat{pH} = \left(-0,0234647 + 1,49415 \cdot \frac{1}{(H + Al)} \right) \times NC \quad \forall 2 \leq H + Al \leq 10 \quad R^2 = 0,814 \quad (\text{Eq.6})$$

em que $\Delta\hat{pH}$ = variação estimada do pH,

NC = necessidade de calagem, em t/ha.

Conhecendo-se a variação do pH pode-se prever qual o pH atingido com a calagem, somando-se ao pH inicial do solo com a variação estimada do pH ($\Delta\hat{pH}$) (Freire, 2001).

$$pH_{\text{final}} = pH_{\text{inicial}} + \Delta\hat{pH} \quad (\text{Eq.7})$$

Como o FERTICALC[®] Algodoeiro permite a utilização de dois métodos para recomendação de calagem, pode-se optar pelo método que seja mais recomendado para a região, em função do tipo de solo e de informações contidas na análise de solo, ou mesmo, optar pelo método que propicie um pH_{final} mais adequado ao cultivo do algodoeiro, sempre evitando sub ou supercalagens, uma vez que a subcalagem não irá fornecer as quantidades de Ca e de Mg adequadas ao crescimento radicular e tão pouco neutralizar o Al^{3+} do solo, e, por outro lado, a supercalagem, além de onerar os custos

de produção, pode reduzir a produtividade interferindo na disponibilidade dos outros nutrientes (Alvarez V. & Ribeiro, 1999), predispondo a cultura a deficiências.

A calagem, além de neutralizar o Al^{3+} fornece Ca e Mg, sendo o suprimento de Ca e Mg calculado pela equação:

$$\hat{S}UP(X)_{calagem} = QC \times \frac{T(XO)_{calcário}}{100} \times f_{c.o \rightarrow e} \times 1.000 \quad (Eq.8)$$

em que $\hat{S}UP(X)_{calagem}$ = quantidade de Ca ou Mg suprida pela calagem, em $kg\ ha^{-1}$,

QC = quantidade de calcário utilizada, em $t\ ha^{-1}$,

$T(XO)_{calcário}$ = teor de CaO ou de MgO no calcário, em %,

$f_{c.o \rightarrow e}$ = fator de conversão da forma de óxido para forma elementar, sendo igual a 0,7147 e 0,6030 para Ca e Mg, respectivamente,

1.000 = fator de conversão de $t\ ha^{-1}$ para $kg\ ha^{-1}$.

2.1.2. Suprimento pelo solo

Para determinar o suprimento pelo solo, foi feita uma busca na literatura de trabalhos a respeito da profundidade efetiva do sistema radicular do algodoeiro e da taxa de recuperação, por extratores mais comuns, dos nutrientes aplicados ao solo, ou mesmo, dos nutrientes do solo. Procurou-se com isto desenvolver funções que estimassem a quantidade de nutrientes disponíveis para as plantas em função do resultado da análise de solo, considerando-se as taxas de recuperação dos nutrientes pelo extrator e profundidade do sistema radicular.

Quanto maior a profundidade do sistema radicular, espera-se que a quantidade de nutrientes absorvidos seja maior. A obtenção de elevada produtividade depende, entre muitos fatores, do crescimento do sistema radicular das plantas, e este da inexistência de impedimentos químicos e, ou, físicos, assim como da nutrição e disponibilidade de água adequadas.

O sistema radicular do algodoeiro é do tipo pivotante, também denominado axial (Morandini, 1962), possuindo raiz principal cônica que, quando não há impedimentos físicos e, ou, químicos, é bastante vigorosa, podendo chegar à profundidade de 2 m ou mais (Carvalho, 1996), sendo que 80 % da massa das raízes encontra-se na camada de 0 a 20 cm (Cavaleri & Inforzato, 1956, citados por Gridi-Papp, 1965). Portanto, a maior parte dos nutrientes absorvidos é oriunda dessa camada, e este será o valor considerado pelo sistema para os cálculos de disponibilidade de nutriente no solo,

independentemente do sistema de cultivo, uma vez que, o sistema de plantio direto é restrito apenas a algumas áreas novas, onde a cultura está sendo implantada pela primeira vez, enquanto que, nas áreas tradicionalmente cultivadas com algodão no Mato Grosso, cerca de 60 % seguem o plantio convencional e 40 % adotam o cultivo mínimo (Fundação MT, 2001). A limitação ao uso do sistema plantio direto no estado do Mato Grosso se deve à perenidade da cultura e, a eliminação da soqueira é uma exigência do Programa Estadual de Incentivo à Cultura do Algodão (PROALMAT) para que os produtores não sejam afastados do programa e percam os benefícios. Eliminando-se a soqueira, visa-se reduzir a incidência de doenças e pragas, em especial o bicudo, para o próximo cultivo (Fundação MT, 2001).

Entretanto, os sistemas de cultivo não deverão interferir significativamente no volume de solo explorado pelo sistema radicular do algodoeiro, uma vez que, no cultivo de plantas isoladas observou-se uma área explorada de 7,068 m², o que corresponde a um diâmetro de 3 m (Passos, 1977). Como a área disponível para cada planta⁵ é, no máximo, de 0,083 m², tem-se uma grande sobreposição dos sistemas radiculares de plantas vizinhas, e desta forma a ocupação horizontal é de 100 % da área.

Sabendo-se a profundidade efetiva do sistema radicular (PER) e a percentagem de ocupação no sentido horizontal, determina-se o volume de solo explorado pelo sistema radicular do algodoeiro em um hectare, que é igual a: 1.000 x 1.000 x PER, em dm. Dessa forma, para se converter os dados da análise de solo em mg dm⁻³ para kg ha⁻¹, multiplica-se o valor em mg dm⁻³ por PER em dm.

Em relação às taxas de recuperação dos nutrientes aplicados ao solo pelos extratores foi verificada grande influência da capacidade tampão do solo para P, S, Zn (Oliveira, 2002), K (Morais, 1999) e B (Costa et al., 2001). No entanto, para P extraído pela Resina, acreditava-se não haver influência da capacidade tampão do solo, medida pelo P_{rem-60}. Porém, trabalhos de Campello (1993) e Fernández Rojas (1995), em que se têm valores da 1^a extração de P pela Resina de troca aniônica, segundo método de Rajj & Quaggio (1983), e valores da soma do teor de P de extrações sucessivas (P lábil total), mostram que a relação entre P 1^a extração e P total das extrações sucessivas varia com o valor de P_{rem-60} dos solos. Essa relação representa a $\hat{T}R_p$, que, conseqüentemente, varia com o P_{rem-60} do solo (Quadro 1) (Santos, 2002). Já para o P extraído por

⁵ Considerando-se o sistema de plantio convencional e uma população de 120.000 plantas ha⁻¹.

Mehlich-1, tem-se a estimativa da \hat{TR}_p em função do P_{rem-60} , por ser esse extrator sensível à capacidade tampão do solo. Isso ocorre devido ao desgaste da acidez do extrator, ou seja, a redução da concentração ácida do mesmo, causada pela protonação da superfície de adsorção, que podem adsorver o SO_4^{2-} ou mesmo readsorver o fósforo já extraído (Muniz, 1983).

Morais (1999), trabalhando com avaliação de extratores para K em 10 solos do estado de Minas Gerais, observou correlação entre a taxa de recuperação pelo extrator do K aplicado e teor de argila, evidenciando a influência da capacidade tampão do solo sobre a recuperação do K aplicado. Deste modo, utilizando-se dados deste autor tornou-se possível o ajuste de equações que estimam a taxa de recuperação de K aplicado a partir do fósforo remanescente para Mehlich-1 e resina e a partir de argila para Mehlich-3 (Quadro 1).

Por outro lado, a capacidade tampão do solo apresenta influência pequena ou desprezível sobre a taxa de recuperação de Ca, Mg (Oliveira, 2002) e Cu, sendo os melhores ajustes de equações que expressam o elemento recuperado em função do adicionado obtido com modelos lineares e, portanto, os valores das taxas de recuperação não variam com a capacidade tampão do solo (Quadro 1). Para Fe e Mn, os dados não permitiram gerar equações do nutriente recuperado pelo extrator em função do aplicado. Dessa forma, adotou-se um valor de 0,50 como a \hat{TR}_x para esses nutrientes (Mello, 2000; Santos, 2002) baseando-se na média das \hat{TR}_x para os outros micronutrientes em um solo com P_{rem-60} de 23,4 mg L⁻¹ e 37,4 % de argila (Quadro 1).

Quadro 1. Taxa de recuperação pelo extrator do nutriente aplicado ao solo (\hat{TR}_x) em $\text{mg dm}^{-3}/\text{mg dm}^{-3}$, variável, ou não, com o extrator, teor de argila (Arg), em %, ou fósforo remanescente ($P_{\text{rem-60}}$), em mg L^{-1}

Nutriente	Extrator	Equação	R ²
Fósforo	Mehlich-1	$\hat{TR}_P = 0,0672821 + 0,0121615^{**} P_{\text{rem-60}}$	0,681 (Eq.9)
	Resina	$\hat{TR}_P = 0,419^{***} (P_{\text{rem-60}})^{0,128099}$	0,694 (Eq.10)
Potássio	Mehlich-1	$\hat{TR}_K = 0,6555 + 0,0068^{**} P_{\text{rem-60}}$ $\forall 1 \leq P_{\text{rem-60}} \leq 40$	0,744 (Eq.11)
	Mehlich-3	$\hat{TR}_K = 0,9863 - 0,00364^{***} \text{Arg}$	0,763 (Eq.12)
	Resina	$\hat{TR}_K = 0,6619 + 0,014355^{*} P_{\text{rem-60}} - 0,000293^{o} (P_{\text{rem-60}})^2$ $\forall 1 \leq P_{\text{rem-60}} \leq 40$	0,754 (Eq.13)
Cálcio	KCl 1 mol L ⁻¹	$\hat{TR}_{Ca} = 0,7661$	-
Magnésio	KCl 1 mol L ⁻¹	$\hat{TR}_{Mg} = 0,7990$	-
Enxofre	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ + HOAc	$\hat{TR}_S = 0,04 + 0,0057^{**} P_{\text{rem-60}}$	0,955 (Eq.14)
Cobre	DTPA	$\hat{TR}_{Cu} = 0,7753$	-
Ferro ⁽¹⁾	Mehlich-1	$\hat{TR}_{Fe} = 0,5000$	-
Zinco ⁽²⁾	Mehlich-1	$\hat{TR}_{Zn} = 0,360254 - 0,00233886^{ns} P_{\text{rem-60}} + 0,000119843^{**} (P_{\text{rem-60}})^2$	0,932 (Eq.15)
Manganês ⁽¹⁾	Mehlich-1	$\hat{TR}_{Mn} = 0,5000$	- (Eq.16)
Boro	Água Quente	$\hat{TR}_B = 0,456296 - 0,002729^{***} \text{Arg}$	0,990 (Eq.17)

⁽¹⁾ Valores sugeridos, devendo ser considerado a mesma equação para análise por DTPA.

⁽²⁾ Considerar a mesma equação para análise por DTPA.

ns, °, *, ** e *** não significativo e significativos a 10, 5, 1 e 0,1 %, respectivamente.

Fonte: Adaptado de Campello (1993), Fernández Rojas (1995), Morais (1999), Mello (2000), Costa et al. (2001), Oliveira (2002) e Santos (2002).

Para estimar o suprimento de N pelo solo (NO₃⁻ + NH₄⁺) utilizaram-se equações de cinética de mineralização da matéria orgânica (MO) dos solos brasileiros, segundo Vasconcellos et al. (1999), citados por Carvalho (2000), e Parentoni et al. (1988) empregando o modelo de Stanford & Smith (1972):

$$\hat{S}\hat{U}P(N)_{\text{solo}} = \left(M_{\text{solo}} \times N_{\text{total}} \times \frac{1,48}{100} \right) e^{0,006 t},$$

$$M_{\text{solo}} = 1.000 \times 1.000 \times \text{PER} \times \text{d.s.} \quad \text{e} \quad N_{\text{total}} = \frac{T_{\text{MO}}}{20}, \quad \text{logo:}$$

$$\hat{S}\hat{U}P(N)_{\text{solo}} = (5 \times \text{PER} \times \text{d.s.} \times T_{\text{MO}} \times 1,48) e^{0,006 t} \quad (\text{Eq.18})$$

em que $\hat{S}\hat{U}P(N)_{\text{solo}}$ = suprimento de nitrogênio pelo solo durante o ciclo da cultura, em kg ha^{-1} ,

M_{solo} = massa do solo na camada delimitada pela profundidade efetiva do sistema radicular, em kg ha^{-1} ,

N_{total} = nitrogênio total do solo, em kg kg^{-1} de solo,

1,48 = fração do N potencialmente mineralizável a partir do N total, em %,

PER = profundidade efetiva do sistema radicular, em dm,

d.s. = densidade do solo, em kg dm^{-3} ,

T_{MO} = teor de matéria orgânica do solo, em dag kg^{-1} ,

t = tempo, em dias.

O tempo de absorção de N pelo algodoeiro é muito influenciado pelo ciclo do cultivar utilizado, sendo verificado para o cultivar IAC 22 absorção de N até aproximadamente 100 dias após a emergência (DAE) (Furlani Jr. et al., 2000, citado por Rosolem, 2001b) e para o cultivar ITA 90 absorção de N até os 120 DAE (Fundação MT, 1997). Mendes (1960), trabalhando com solução nutritiva, observou absorção de N até os 150 DAE, sendo que, o pico de absorção ocorreu dos 30 aos 60 DAE, coincidindo com o início do florescimento, verificado aos 50 DAE (Rosolem, 2001a), sendo o momento mais adequado para adubação com N em cobertura. Deste modo, o FERTICALC[®] Algodoeiro utilizará 110 dias como o tempo médio de absorção de N e, na disponibilidade de dados específicos para a cultivar utilizada esses devem ser utilizados.

Para determinar o suprimento pelo solo para os demais nutrientes utiliza-se a equação:

$$\hat{S}\hat{U}P(X)_{\text{solo}} = \frac{TAS(X)}{\hat{T}R_X} \times \text{PER} \quad (\text{Eq.19})$$

em que $\hat{S}\hat{U}P(X)_{\text{solo}}$ = quantidade do nutriente “X” suprida pelo solo na camada delimitada pela profundidade efetiva do sistema radicular, em kg ha^{-1} ,

TAS(X) = teor na análise de solo do nutriente “X” disponível, em mg dm^{-3} ,

$\hat{T}R_X$ = estimativa da taxa de recuperação pelo extrator do nutriente “X” aplicado ao solo via fertilizante (Quadro 1),

PER = profundidade efetiva do sistema radicular, em dm.

2.1.3. Suprimento pelos resíduos orgânicos

O algodoeiro, quando semeado após o cultivo de leguminosas, apresenta maior produtividade, comparativamente ao cultivo após algodão, ou após longo pousio (Cooper, 1998), ou mesmo após culturas com relação C:N bastante larga, como é o caso das gramíneas.

Isto demonstra que o cultivo anterior ao plantio do algodoeiro, poderá representar importante fonte de nutrientes para o cultivo atual, dependendo, principalmente, da quantidade de resíduos orgânicos, do teor de nutrientes nesses resíduos e da taxa de liberação dos nutrientes provenientes dos resíduos.

A produção de matéria seca dos resíduos orgânicos (Quadro 2) assim como o teor de nutrientes nesses resíduos (Quadro 3) variam de acordo com características da espécie, idade da planta, fertilidade do solo, dentre outras.

Quadro 2. Produção de matéria seca total ($MS_{res.org.}$) por algumas culturas de cobertura ou de rotação

Cultura	$MS_{res.org.}$ kg ha ⁻¹	Cultura	$MS_{res.org.}$ kg ha ⁻¹
Gramíneas		Leguminosas e outras	
Arroz	3.800	Algodão	6.895
Aveia	2.500	Crotalária	5.614
Aveia preta	7.890	Ervilhaca	2.400
Azevém	4.000	Girassol	8.000
<i>Brachiaria brizantha</i>	6.000	Guandu	6.165
Milheto	12.500	Guandu-anão	5.322
Milho	10.857	Mucuna preta	5.097
Sorgo	20.000	Nabo forrageiro	4.100
Trigo	3.500	Soja	6.280
Triticale	2.700	Tremoço	10.094
Veg. Espontânea	3.798		

Fonte: Adaptado de Dalla Rosa, (1981), citado por Scalea (1995), Ceretta et al. (1994), Motta (1994), Coelho & França (1995), Hernani et al. (1995), Séguy & Bouzinac (1995), Magalhães (1997), Rosolem (1998), Borkert et al. (1999), Zago (1999) e Santos (2002).

Quadro 3. Teores de nutrientes na matéria seca ($T(X)_{res.org.}$) em algumas culturas de cobertura ou de rotação

Cultura	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	----- g kg ⁻¹ -----						----- mg kg ⁻¹ -----				
Gramíneas											
Arroz	10,5	0,9	17,0	2,5	1,8	2,0	9,8	383,0	24,7	144,4	19,5
Aveia	7,2	2,8	20,0	5,2	1,2	2,0	6,0	383,0	9,0	138,0	19,5
Aveia preta	12,8	0,9	21,1	4,2	1,9	2,0	9,0	383,0	21,0	286,0	19,5
Azevém	13,4	0,7	26,0	4,1	2,2	2,0	9,0	383,0	23,0	214,0	19,5
<i>Brachiaria brizantha</i>	10,3	2,0	18,3	2,2	2,0	2,0	3,3	503,5	29,7	153,8	19,5
Milheto	13,2	3,7	26,2	3,4	3,2	2,4	9,8	383,0	24,7	144,4	19,5
Milho	14,8	1,6	15,5	3,5	2,2	2,5	17,8	479,3	43,8	46,2	19,5
Sorgo	12,7	2,1	8,7	2,2	2,7	1,0	14,0	166,3	21,5	28,5	19,5
Trigo	9,7	1,4	13,8	2,0	1,1	2,0	9,8	383,0	24,7	144,4	19,5
Triticale	13,7	1,1	25,1	3,8	2,7	2,0	9,8	383,0	24,7	144,4	19,5
Média	11,8	1,7	19,2	3,3	2,1	2,0	9,8	383,0	24,7	144,4	19,5
Leguminosas e outras											
Algodão	18,2	2,5	14,9	11,0	2,2	3,8	3,7	147,4	25,0	63,3	77,5
Crotalária	20,5	1,9	19,2	12,0	4,2	2,8	15,3	154,2	35,1	114,4	49,7
Ervilhaca	19,5	1,2	22,0	6,5	2,4	2,8	9,0	154,2	25,0	74,0	49,7
Girassol	18,0	1,5	24,0	15,5	6,2	2,8	18,0	154,2	31,0	96,0	49,7
Guandu	30,2	2,9	14,3	8,3	2,6	2,8	26,4	154,2	26,4	94,4	49,7
Guandu-anão	19,2	2,0	11,8	12,0	4,2	2,8	15,3	154,2	35,1	114,4	49,7
Mucuna preta	34,3	3,3	16,9	11,8	2,9	2,8	18,8	154,2	29,2	145,4	49,7
Nabo forrageiro	29,6	1,9	39,0	21,5	9,5	2,8	8,0	154,2	49,0	84,0	49,7
Soja	13,6	1,9	12,3	9,3	5,1	1,8	17,4	160,9	53,5	27,8	21,9
Tremoço	33,8	1,8	19,2	11,9	2,7	2,8	21,2	154,2	41,5	330,0	49,7
Veg. espontânea	8,2	1,5	15,0	12,0	4,2	2,8	15,3	154,2	35,1	114,4	49,7
Média	22,3	2,0	19,0	12,0	4,2	2,8	15,3	154,2	35,1	114,4	49,7

Fonte: Adaptado de Motta (1994), Dalla Rosa, (1981), citado por Scalea (1995), Ceretta et al. (1994), Coelho & França (1995), Hernani et al. (1995), Séguéy & Bouzinac (1995), Magalhães (1997), Rosolem (1998), Borkert et al (1999), Zago (1999) e Santos (2002).

A taxa de liberação de nutrientes dos nutrientes desses resíduos ($TL(X)$) é obtida por meio de estudos da decomposição, sendo quantificados o peso do material seco e sua composição mineral no tempo zero, correspondente ao corte ou dessecação do material e em um tempo posterior, quando o material está parcial ou totalmente

decomposto, chamado de tempo t (Santos, 2002). Com a diferença entre o conteúdo do nutriente no tempo zero e o conteúdo remanescente no tempo t obtêm-se a quantidade mineralizada do nutriente e , por sua vez, a relação entre a quantidade do nutriente mineralizada e a quantidade total do nutriente no tempo zero é a taxa de liberação daquele nutriente, naquele resíduo, para o intervalo de tempo t .

A $TL(X)$ pode ser influenciada por uma série de fatores climáticos (temperatura, umidade), edáficos (pH, aeração, textura, fertilidade do solo), planta (produção de matéria seca, grau de lignificação do resíduo, composição química, presença de substâncias estimulantes ou alelopáticas) e manejo (incorporação, corte, dessecante químico, queima) (Santos, 2002). No entanto, em virtude da pequena disponibilidade de dados relativos à taxa de liberação de nutrientes dos resíduos em condições tropicais será considerada, apenas, a cultura que gerar o resíduo: gramínea ou leguminosa (Quadro 4).

Estudando mineralização e imobilização de N no cultivo do milho com aplicação de palha de milho e, ou, uréia, Sampaio (1993) observou que a taxa de mineralização do N nativo extrapolada para o período de um ano e uma camada de solo de 20 cm, equivale a 140 kg ha^{-1} de N, e que a aplicação de uréia causou efeito *priming*, dobrando a mineralização do N nativo; a incorporação da palha imobilizou o N do solo durante um mês. Por outro lado, a incorporação da palha junto com uréia imobilizou 50 % do N da uréia, mas não alterou a disponibilidade de N no solo, sendo que do N da palha, 33 % foram absorvidos sugerindo que a taxa de liberação e, ou, eficiência de recuperação utilizadas por Santos (2002) estejam superestimadas, uma vez que, o produto da taxa de liberação e eficiência de recuperação proposta por esse autor para o N proveniente da palha de gramíneas resulta em 63 % de utilização do N.

Por não participar na formação de compostos estruturais na planta, o potássio apresenta liberação mais rápida (Santos, 2002). Oliveira et al. (1999), estudando decomposição e liberação de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar, observou liberação de 85 % do K da palhada, no período de um ano. Yadav et al. (1987), também trabalhando com cana-de-açúcar, observaram liberação de 35 % do K da palhada nos primeiros 15 dias de incubação e 70 % aos 120 dias, época em que a liberação de Ca e Mg atingiram 44 % e 39 %, respectivamente. Extrapolando-se a liberação de Ca e Mg de 120 dias para um ano, seguindo a mesma relação do K, tem-se as $TL(X)$ para K, Ca e Mg. Para N, utilizou-se valor intermediário entre K e Ca, sendo que, para P, S e

micronutrientes adotou-se 60 % como TL(X), considerando palhada de gramíneas. Para resíduos de leguminosas os valores da TL(X) foram acrescidos de 20 %, a exceção do K, o qual teve acréscimo de 10 % (Quadro 4).

Quadro 4. Taxa de liberação de nutrientes dos nutrientes dos resíduos orgânicos (TL(X)), por ciclo, para gramíneas e leguminosas, em kg kg⁻¹

Taxa	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	----- kg kg ⁻¹ -----										
TL(X) gramíneas	0,75	0,60	0,85	0,53	0,47	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
TL(X) leguminosas	0,95	0,80	0,95	0,73	0,67	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80

Fonte: Adaptado de Yaday et al. (1987), Sampaio (1993), Oliveira et al. (1999) e Santos (2002).

A quantidade do nutriente “X” liberado na mineralização dos resíduos orgânicos é estimada pela equação:

$$\hat{S}\hat{U}\hat{P}(X)_{\text{res.org.}} = MS_{\text{res.org.}} \times \frac{T(X)_{\text{res.org.}}}{f_1} \times TL(X) \quad (\text{Eq.20})$$

em que $\hat{S}\hat{U}\hat{P}(X)_{\text{res.org.}}$ = suprimento do nutriente “X” pela mineralização dos resíduos orgânicos, em kg ha⁻¹,

$MS_{\text{res.org.}}$ = quantidade de matéria seca dos resíduos orgânicos, em kg ha⁻¹,

$T(X)_{\text{res.org.}}$ = teor do nutriente “X” na matéria seca dos resíduos orgânicos, em g kg⁻¹ para macronutrientes e mg kg⁻¹ para micronutrientes,

f_1 = fator de correção de unidade: para macronutrientes $f_1 = 10^3$ e para micronutrientes $f_1 = 10^6$,

$TL(X)$ = taxa de liberação do nutriente “X” nos resíduos orgânicos, em kg kg⁻¹.

Como a composição dos resíduos orgânicos e sua mineralização apresentam grande variação entre locais e entre materiais, sempre que houver disponibilidade de dados oriundos da própria região de cultivo, estes deverão ter preferência sobre os valores médios propostos.

2.2. Requerimento de nutrientes (Subsistema requerimento)

O requerimento total de nutrientes é a soma do requerimento pela planta para produção e o requerimento para dose de segurança, segundo a equação:

$$\hat{R}EQ(X)_{total} = \hat{R}EQ(X)_{planta} + \hat{R}EQ(X)_{d.s.} \quad (Eq.21)$$

em que $\hat{R}EQ(X)_{total}$ = requerimento total do nutriente “X” para definida produtividade e dose de segurança, em $kg\ ha^{-1}$,

$\hat{R}EQ(X)_{planta}$ = requerimento do nutriente “X” pela cultura para uma definida produtividade, em $kg\ ha^{-1}$,

$\hat{R}EQ(X)_{d.s.}$ = requerimento do nutriente “X” para uma dose de segurança, em $kg\ ha^{-1}$.

2.2.1. Requerimento pela cultura

O requerimento pela cultura é a quantidade de nutriente requerida para viabilizar uma definida produtividade desejada de algodão em caroço e, para tanto, é necessário que seja estimada a quantidade de matéria seca e o teor de nutrientes em cada compartimento da planta, determinando-se a demanda da cultura e considerando a eficiência de recuperação pela planta dos nutrientes aplicados ao solo, segundo a equação:

$$\hat{R}EQ(X)_{planta} = \hat{D}EM(X)_{planta} \times \frac{100}{\hat{E}R_{planta}(X)} \quad (Eq.22)$$

em que $\hat{R}EQ(X)_{planta}$ = requerimento do nutriente “X” pela cultura para uma definida produtividade, em $kg\ ha^{-1}$,

$\hat{D}EM(X)_{planta}$ = quantidade total do nutriente “X” demandada pela planta, em $kg\ ha^{-1}$,

$\hat{E}R_{planta}(X)$ = eficiência de recuperação pela planta do nutriente “X” aplicado, em %.

2.2.1.1. Demanda nutricional

A quantidade do nutriente “X” demandada pela cultura é estimada pela equação:

$$\hat{D}\hat{E}M(X)_{planta} = \hat{D}\hat{E}M(X)_{produto} + \hat{D}\hat{E}M(X)_{resíduos} \quad (\text{Eq.23})$$

Sendo

$$\hat{D}\hat{E}M(X)_{produto} = \frac{\hat{M}S_{fibra} \times \hat{T}_{fibra}(X) + \hat{M}S_{caroço} \times \hat{T}_{caroço}(X)}{f_2} \quad e \quad (\text{Eq.24})$$

$$\hat{D}\hat{E}M(X)_{resíduos} = \frac{\hat{M}S_{folha} \times \hat{T}_{folha}(X) + \hat{M}S_{caule} \times \hat{T}_{caule}(X) + \hat{M}S_{raiz} \times \hat{T}_{raiz}(X)}{f_2} \quad (\text{Eq.25})$$

em que $\hat{D}\hat{E}M(X)_{planta}$ = quantidade total do nutriente “X” demandada pela planta, em $kg\ ha^{-1}$,

$\hat{D}\hat{E}M(X)_{produto}$ = quantidade do nutriente “X” demandada para produção de fibra e caroço de algodão, em $kg\ ha^{-1}$,

$\hat{D}\hat{E}M(X)_{resíduos}$ = quantidade total do nutriente “X” demandada para produção de folhas, caule, cápsulas e raízes, em $kg\ ha^{-1}$,

$\hat{M}S_{fibra}$ = matéria seca na fibra, em $kg\ ha^{-1}$,

$\hat{M}S_{caroço}$ = matéria seca nos caroços de algodão, em $kg\ ha^{-1}$,

$\hat{M}S_{folha}$ = matéria seca nas folhas, em $kg\ ha^{-1}$,

$\hat{M}S_{caule}$ = matéria seca no caule (ramos + cápsulas), em $kg\ ha^{-1}$,

$\hat{M}S_{raiz}$ = matéria seca nas raízes, em $kg\ ha^{-1}$,

$\hat{T}_{fibra}(X)$ = teor do nutriente “X” na matéria seca de fibra, em $g\ kg^{-1}$ para macronutriente e $mg\ kg^{-1}$ para micronutriente,

$\hat{T}_{caroço}(X)$ = teor do nutriente “X” na matéria seca do caroço de algodão, em $g\ kg^{-1}$ para macronutriente e $mg\ kg^{-1}$ para micronutriente,

$\hat{T}_{folha}(X)$ = teor do nutriente “X” na matéria seca das folhas, em $g\ kg^{-1}$ para macronutriente e $mg\ kg^{-1}$ para micronutriente,

$\hat{T}_{caule}(X)$ = teor do nutriente “X” na matéria seca do caule, em $g\ kg^{-1}$ para macronutriente e $mg\ kg^{-1}$ para micronutriente,

$\hat{T}_{raiz}(X)$ = teor do nutriente “X” na matéria seca das raízes, em $g\ kg^{-1}$ para macronutriente e $mg\ kg^{-1}$ para micronutriente,

f_2 = fator de correção de unidades, para macronutrientes $f_2 = 10^3$ e para micronutrientes $f_2 = 10^6$.

a. Produção de biomassa nos diferentes compartimentos da planta

a.1. Fibra

As fibras, o principal produto do algodoeiro, têm, geralmente, sua produtividade aumentada com a dose de N (Lamas & Staut, 2001). No entanto, o aumento da adubação nitrogenada propicia redução de sua percentagem no algodão em caroço (Sabino et al., 1993; Lamas & Staut, 2001), o mesmo é causado pelo aumento do número de aplicações parceladas deste nutriente (Carvalho et al., 2001). Por outro lado, Furlani Jr. et al. (2001), trabalhando com doses e épocas de aplicação do adubo nitrogenado, não encontraram diferenças na percentagem de fibra nos capulhos.

Outro ponto a ser considerado é que a percentagem de fibra nos capulhos é uma característica inerente ao cultivar, apresentando baixa correlação com a produtividade, e desta forma constitui-se numa constante caracterizada por valor médio. A correlação encontrada entre produtividade e percentagem de fibra deve-se ao fato de que produtividades menores eram alcançadas com variedades de menor percentagem de fibra, e, atualmente, as variedades mais produtivas apresentam maior proporção de fibra nos capulhos.

Analisando-se resultados de diversos experimentos (Azevedo et al., 2001; Beltrão et al., 2001; Benassi et al., 2001; Fundação MT, 2001; Carvalho et al., 2001; Farias et al., 2001; Freire et al., 2001; Lamas, 2001; Silva et al., 2001; Vasconcelos et al., 2001; Vieira et al., 2001; Yamaoka et al., 2001), totalizando 131 cultivares e 423 dados sobre percentagem de fibra, obteve-se 40,36 % como valor médio das observações, sendo o coeficiente de variação 5,12 %. Para obtenção do valor médio de percentagem de fibra utilizaram-se tanto cultivares nacionais, como norte-americanos, não havendo diferença entre a média dos dois grupos.

Com os valores de percentagem de fibra nos capulhos, é possível determinar a quantidade de fibra e caroço, a partir da produtividade desejada. Cabe ressaltar que a quantidade de *linter* não está sendo considerada nos cálculos, pois, é de magnitude desprezível.

Para a obtenção da matéria seca de fibra deve-se levar em consideração o teor de água na fibra, que geralmente varia de 3 a 12 %. Porém, umidade superior a 12 % pode propiciar o “encarneamento” durante o processo de beneficiamento, além de predispor

os fardos à combustão pela liberação de energia proveniente da atividade biológica (fermentação). Segundo Passos (1977), o ideal é que a umidade esteja entre 7 e 12 %. No entanto, Anthony (2000) citado pela Fundação MT (2001) considera que a umidade ideal seja mais baixa, estando entre 5 e 6 %. Para efeito de cálculos adotar-se-á 5 % como valor de umidade ideal, uma vez que, em condições de umidade inferior a 5 % ocorrem prejuízos à aparência e resistência do fio, e por outro lado, superior a 5 %, reduzem o tipo⁶ da fibra.

Deste modo, a quantidade de matéria seca de fibra será definida pela equação:

$$\hat{MS}_{\text{fibra}} = p \times \frac{P_f}{100} \times \frac{(100 - U_f)}{100} \quad (\text{Eq.26})$$

em que \hat{MS}_{fibra} = matéria seca de fibra, em kg ha⁻¹,

p = produtividade de algodão em caroço em kg ha⁻¹,

P_f = percentagem de fibra ($P_f = 40,3637 \%$),

U_f = umidade da fibra, em % ($U_f = 5 \%$).

Nesta equação, os valores de percentagem e umidade da fibra podem ser substituídos por valores específicos de cada região e, ou, cultivar, permitindo assim, uma maior aproximação com a realidade de cada lavoura.

a.2. Caroço de algodão

A quantidade de semente de algodão, também chamado de caroço de algodão, é estimada por diferença entre a produtividade de algodão em caroço e a quantidade de fibra. Contudo, para cálculo da matéria seca do caroço de algodão considerar-se-á 12 % de umidade em base úmida, que é a umidade máxima permitida nas normas e padrões para a produção de sementes de algodão. Segundo trabalho realizado por Bruno et al. (2001), a umidade da semente com *linter* da cultivar CNPA 7H colorida e tradicional variou de 9,03 a 11,90 % num período de 80 dias de armazenamento no município de Areia – PB, indicando ser a umidade de 12 % adequada para cálculo de matéria seca.

⁶ O tipo do algodão é definido em função do grau de impureza presente nas amostras de algodão, variando de 3/4 para fibra mais limpa até 9 para fibra mais suja e AP para fibra abaixo do padrão (Fundação MT, 2001).

Assim, a quantidade de matéria seca nos caroços de algodão é calculada pela equação:

$$\hat{MS}_{\text{caroço}} = p \times \frac{(100 - P_f)}{100} \times \frac{(100 - U_s)}{100} \quad (\text{Eq.27})$$

em que $\hat{MS}_{\text{caroço}}$ = matéria seca nos caroços de algodão, em kg ha⁻¹,

p = produtividade de algodão em caroço, em kg ha⁻¹,

P_f = percentagem de fibra ($P_f = 40,3637\%$),

U_s = umidade do caroço de algodão, em % ($U_s = 12\%$).

a.3. Folhas

Para determinação da matéria seca contida nas folhas é necessário o conhecimento prévio da massa da matéria seca total na cultura, para definida produtividade de algodão em caroço (Adaptado de Malavolta et al., 1997; Vivancos, 1989; Lopes, 1989; Rosolem et al., 2000; Cooper, 1998), sendo estimada pela equação:

$$\hat{MS}_{\text{total}} = 16.451,779 - 13.761,352 e^{-0,0000011361197 \times p^{1,5956245}} \quad R^2 = 0,793 \quad (\text{Eq.28})$$

$$\forall 1.000 \leq p \leq 6.000$$

em que \hat{MS}_{total} = matéria seca total, em kg ha⁻¹,

p = produtividade de algodão em caroço, em kg ha⁻¹.

Com o valor da massa da matéria seca total, determina-se a massa da matéria seca na parte vegetativa, segundo a equação:

$$\hat{MS}_{\text{par.veg.}} = (\hat{MS}_{\text{total}} - \hat{MS}_{\text{fibra}} - \hat{MS}_{\text{caroço}}) \quad (\text{Eq.29})$$

em que $\hat{MS}_{\text{par.veg.}}$ = matéria seca na parte vegetativa, em kg ha⁻¹,

\hat{MS}_{total} = matéria seca total, em kg ha⁻¹,

\hat{MS}_{fibra} = matéria seca na fibra, em kg ha⁻¹,

$\hat{MS}_{\text{caroço}}$ = matéria seca no caroço de algodão, em kg ha⁻¹.

Considerando que as folhas representam, em média, 29,36 % da matéria seca alocada na parte vegetativa⁷ (Adaptado de Malavolta et al., 1997; Vivancos, 1989; Lopes, 1989; Rosolem et al., 2000; Cooper, 1998), tem-se que:

⁷ A parte vegetativa corresponde às folhas, juntamente com o caule, cápsulas, ramos frutíferos e vegetativos e raízes.

$$\hat{MS}_{\text{folha}} = \hat{MS}_{\text{par.veg.}} \times \frac{29,36}{100} \quad (\text{Eq.30})$$

em que \hat{MS}_{folha} = matéria seca nas folhas, em kg ha⁻¹,

$\hat{MS}_{\text{par.veg.}}$ = matéria seca na parte vegetativa, em kg ha⁻¹,

29,36 = percentagem de matéria seca da parte vegetativa do algodoeiro alocada nas folhas.

a.4. Caule

O caule herbáceo ou lenhoso tem altura variável e é dotado de ramos vegetativos (4 a 5 intraxilares, na parte de baixo), com crescimento monopodial, e ramos frutíferos (extraxilares, na parte superior), com crescimento simpodial (Prosoftware, 2002). Sendo que, a quantidade de matéria seca do caule aqui chamada é constituída pela matéria seca dos ramos frutíferos e vegetativos e haste central, e, pelas cápsulas, que correspondem em média, respectivamente, a 34,85 e 21,21 % da matéria seca da parte vegetativa (Adaptado de Vivancos, 1989). Considerando-se outros trabalhos (Malavolta et al., 1997; Lopes, 1989), têm-se, em média, 54,17 % da matéria seca da parte vegetativa alocada no caule, e, a sua quantidade é determinada pela equação:

$$\hat{MS}_{\text{caule}} = \hat{MS}_{\text{par.veg.}} \times \frac{54,17}{100} \quad (\text{Eq.31})$$

em que \hat{MS}_{caule} = matéria seca no caule, ramos e cápsulas do algodoeiro, em kg ha⁻¹,

$\hat{MS}_{\text{par.veg.}}$ = matéria seca na parte vegetativa, em kg ha⁻¹,

54,17 = percentagem de matéria seca da parte vegetativa do algodoeiro alocada no caule, ramos e cápsulas.

a.5. Raízes

O sistema radicular do algodoeiro possui crescimento mais intenso e rápido que a parte vegetativa da planta nos primeiros dias após a emergência, sendo que plantas com 40 cm (50 DAE) apresentaram raízes com 2 m de profundidade (Prosoftware, 2002) quando não houve impedimentos físicos e, ou, químicos, continuando o crescimento em comprimento até a época de pleno florescimento. Após esse período, existe apenas incremento na matéria seca das raízes (Nayakekoralala & Taylor, 1990, citado por Rosolem et al., 2000), e, embora o crescimento radicular do algodoeiro seja controlado geneticamente, existem fatores do solo que inibem seu crescimento, como Al³⁺ e baixos teores de Ca²⁺ (Rosolem et al., 2000).

Diferentes cultivares apresentam exigência nutricional e tolerância ao Al^{3+} e ao excesso de Mn diferenciadas. Segundo Rosolem et al. (2000), as máximas produções de matéria seca para as cultivares IAC 20, IAC 22 e CNPA-ITA 90 ocorreram com as saturações por bases de 63, 70 e 44 %, respectivamente. No entanto, o máximo crescimento radicular para as variedades estudadas foi observado em saturação por bases próximas a 50 %.

Como o crescimento radicular é controlado geneticamente, para determinação da quantidade de matéria seca alocada nas raízes, será utilizado um valor médio da percentagem de raízes em relação à parte vegetativa do algodoeiro (raízes, caule, cápsulas e folhas) de 16,47 % (Malavolta et al., 1997; Vivancos, 1989; Rosolem et al., 2000), conforme a equação:

$$\hat{MS}_{\text{raiz}} = \hat{MS}_{\text{par.veg.}} \times \frac{16,47}{100} \quad (\text{Eq.32})$$

em que \hat{MS}_{raiz} = matéria seca nas raízes, em $kg\ ha^{-1}$,

$\hat{MS}_{\text{par.veg.}}$ = matéria seca na parte vegetativa, em $kg\ ha^{-1}$,

16,47 = percentagem de matéria seca da parte vegetativa do algodoeiro alocada nas raízes.

No entanto, a percentagem de caule, folhas e raízes apresentam variações com as condições climáticas, de solo, pragas, doenças, e, principalmente, com características do cultivar utilizado. Deste modo, deve-se dar preferência aos dados gerados em condições locais, sempre que disponíveis.

b. Teores de macro e micronutrientes nas diferentes partes da planta

b.1. Fibra

A fibra de algodão é o principal produto de interesse econômico do cultivo; sendo a parte da planta que imobiliza a menor quantidade de nutrientes devido à apresentar aproximadamente 94 % de celulose (Silva, 1999). A sua composição é pouco variável, e o teor de nutrientes foi estimado por diferença entre o conteúdo de nutrientes no caroço de algodão e total exportado na colheita, sendo que, os resultados não apresentaram correlação com características de solo ou produtividade. Deste modo, será utilizado um valor médio para todos os nutrientes (Quadro 5) para estimar a quantidade de nutrientes exportada na fibra de algodão por ocasião da colheita.

Quadro 5. Composição média de nutrientes na fibra de algodão

Nutriente	Teor	Nutriente	Teor
	g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹
Nitrogênio	3,04	Cobre	45,21
Fósforo	1,02	Ferro	42,92
Potássio	8,75	Zinco	131,75
Cálcio	2,08	Manganês	84,93
Magnésio	0,57	Boro	2,77
Enxofre	1,38		

Fonte: Adaptado de Jacob & Coyle (1931), Martin & Leonard (1950), Coelho & Verlengia (1973), Malavolta (1980), Lopes (1989), Vivancos (1989), Silva et al. (1995), Abaye (1996), Grant & Kubik (1996), Staut (1996), Fundação MT (1997), NCPA (1998), Rosolem (1998), Silva (1999), Arana et al. (2000), Freire et al. (2001), Furlani Jr. et al. (2001), Davis Jr. (2002), Donohue (2002), Freemam (2002), Lalman (2002), McCann & Stewart (2002), NRCS (2002), Shaver, (2002) e Waldroup & Kersey (2002).

b.2. Carço de algodão

Para os dados analisados, a composição do carço de algodão não apresentou correlação com características de solo e, ou, produtividade, apresentando coeficiente de variação reduzido para a maioria dos nutrientes. Em relação à variação existente entre linhagens e cultivares, Freire et al. (2001), analisando 22 linhagens e cultivares, em dois experimentos com, respectivamente, 13 e 15 linhagens e cultivares de algodão herbáceo, concluíram que os teores de N, P e K foram semelhantes para todos os genótipos estudados.

Deste modo, é utilizado um valor médio para todos os nutrientes (Quadro 6) para estimar a quantidade de nutrientes exportada no carço de algodão por ocasião da colheita.

Quadro 6. Teores médios de nutrientes no caroço de algodão, coeficiente de variação (C.V.) e número de observações que compõem a média (n)

Nutriente	Teor	C.V.	n
	g kg ⁻¹	%	
Nitrogênio	41,15	7,9	32
Fósforo	7,44	30,4	70
Potássio	12,09	20,0	61
Cálcio	1,83	20,5	38
Magnésio	5,48	20,6	29
Enxofre	3,56	22,2	25
	mg kg ⁻¹		
Cobre	12,05	20,0	19
Ferro	53,84	27,2	19
Zinco	56,16	21,8	19
Manganês	14,67	3,9	3
Boro	55,00	-	1

Fonte: Adaptado de Vivancos (1989), Grant & Kubik (1996), NCPA (1998), Arana et al. (2000), Freire et al. (2001), Freemam (2002), Lalman (2002), McCann & Stewart (2002), NRCS (2002) e Shaver (2002).

b.3. Folhas

O teor foliar esperado é estimado pela média aritmética de dois resultados: o primeiro é o valor médio do nutriente nas folhas, ou uma equação gerada a partir de dados de teor e de produtividade, e o segundo um componente de relação entre alguns nutrientes (Quadro 7), sendo que a ciclagem interna de nutrientes não foi considerada para os cálculos, uma vez que o teor médio de todas as folhas não diferiu do teor da folha indicadora⁸, para os dados analisados.

As relações entre nutrientes foram baseadas no princípio da inter-relação entre os nutrientes dois a dois. O mesmo proposto por Beaufils (1973), citado por Fontes (2001), no DRIS (Diagnoses and Recommendations Integrated System), diferindo no número de inter-relações escolhidas. Enquanto o DRIS considera todas as inter-relações

⁸ A análise foliar no algodoeiro deve ser feita com o limbo da 5ª folha a partir do ápice da haste principal, no florescimento, sendo a 1ª folha aquela completamente aberta (Lopes & Carvalho, 1988; Raji 1991; Silva et al., 1995). Para Donohue (2002), deve-se coletar duas folhas/planta em 25 plantas, escolhendo-se as folhas jovens, recentemente maduras na haste principal.

possíveis entre os elementos, dois a dois, para cálculo de índices e comparações com as razões já estabelecidas, denominadas normas, calculadas a partir do teor de nutrientes em plantas altamente produtivas (Malavolta et al., 1997; Fontes, 2001), aqui serão utilizados algumas das normas para cálculo do teor foliar adequado.

Para cálculo das relações N/P e N/K foram utilizados dados dos teores foliares em lavouras com produtividade superior a 3.500 kg ha⁻¹ de algodão em caroço (Vivancos, 1989; Fundação MT, 2001; Martins et al., 2001), enquanto que, para a relação N/S, Martins et al. (2001), trabalhando com diversos teores de N e S e diferentes relações, obtiveram a produtividade relativa de 100 % com relação N/S de 7,31, sendo que, a produtividade decresce com o aumento, ou com a diminuição deste valor. Para as demais relações entre nutrientes utilizaram-se as normas DRIS de Martins (1999).

Quadro 7. Relações ótimas entre teor foliar de alguns nutrientes

$R_{N/P} =$	13,83	$R_{P/S} =$	0,44	$R_{K/Ca} =$	0,60
$R_{N/K} =$	2,22	$R_{P/Zn} =$	102,41	$R_{Ca/Mg} =$	6,37
$R_{N/S} =$	7,31	$R_{P/Cu} =$	327,48	$R_{Ca/Fe} =$	130,73
$R_{N/B} =$	1.130,00	$R_{N/Ca} =$	1,47	$R_{Fe/Mn} =$	3,42

Fonte: Adaptado de Vivancos (1989), Martins (1999), Fundação MT (2001) e Martins et al. (2001).

Os teores dos macronutrientes, com exceção do Mg, relacionaram-se com a produtividade, enquanto que, os teores dos micronutrientes não, sendo considerado o valor médio (Quadro 8) e um componente de equilíbrio nutricional. O maior volume de dados do teor foliar de N e produtividade permitiu melhor ajuste desta equação, servindo de base para os cálculos que envolveram equilíbrio nutricional.

Para as equações que estimam o teor foliar de Ca e S, os R² foram baixos. No entanto, isto se deve comprova na prática, uma vez que o conjunto de dados apresentava produtividades semelhantes, e a significância dos coeficientes da equação evidencia isto (Quadro 8).

Quadro 8. Equações para estimar o teor foliar para macronutrientes, em g kg⁻¹, e micronutrientes, em mg kg⁻¹, em função da produtividade esperada de algodão em caroço, em kg ha⁻¹, e dos respectivos valores de equilíbrios nutricionais e número de dados envolvidos na equação (n)

Nutriente	Equação	R ²	n	
Nitrogênio	$\hat{T}_{\text{folha N}} = \frac{44,958031}{\left(1 + e^{(13,345492 - 0,0032379781 \times p)}\right)^{1/8,668287}}$	0,906	66	(Eq.33)
Fósforo	$\hat{T}_{\text{folha P}} = \frac{3,00625}{\left(1 + e^{(650,39874 - 0,17387515 \times p)}\right)^{1/960,64166}} + \frac{\hat{T}_{\text{folha N}}}{R_{N/P}}$	0,855	29	(Eq.34)
Potássio	$\hat{T}_{\text{folha K}} = \frac{25,558377}{\left(1 + e^{(9,4372385 - 0,0017258356 \times p)}\right)^{1/6,4102952}} + \frac{\hat{T}_{\text{folha N}}}{R_{N/K}}$	0,724	139	(Eq.35)
Cálcio	$\hat{T}_{\text{folha Ca}} = \frac{(15,42835 + 0,0038385 \times p) + \frac{\hat{T}_{\text{folha N}}}{R_{N/Ca}} + \frac{\hat{T}_{\text{folha K}}}{R_{K/Ca}}}{3}$	0,534	14	(Eq.36)
Magnésio	$\hat{T}_{\text{folha Mg}} = \frac{5,7897 + \frac{\hat{T}_{\text{folha Ca}}}{R_{Ca/Mg}}}{2}$	-	29	(Eq.37)
Enxofre	$\hat{T}_{\text{folha S}} = \frac{(4,44622 + 0,00018437 \times p) + \frac{\hat{T}_{\text{folha N}}}{R_{N/S}} + \frac{\hat{T}_{\text{folha P}}}{R_{P/S}}}{3}$	0,113	29	(Eq.38)
Cobre	$\hat{T}_{\text{folha Cu}} = \frac{6,625 + \frac{1.000 \times \hat{T}_{\text{folha P}}}{R_{P/Cu}}}{2}$	-	16	(Eq.39)
Ferro	$\hat{T}_{\text{folha Fe}} = \frac{125,125 + \frac{1.000 \times \hat{T}_{\text{folha Ca}}}{R_{Ca/Fe}}}{2}$	-	16	(Eq.40)
Zinco	$\hat{T}_{\text{folha Zn}} = \frac{24,000 + \frac{1.000 \times \hat{T}_{\text{folha P}}}{R_{P/Zn}}}{2}$	-	16	(Eq.41)
Manganês	$\hat{T}_{\text{folha Mn}} = \frac{41,750 + \frac{\hat{T}_{\text{folha Fe}}}{R_{Fe/Mn}}}{2}$	-	16	(Eq.42)
Boro	$\hat{T}_{\text{folha B}} = \frac{52,000 + \frac{1.000 \times \hat{T}_{\text{folha N}}}{R_{N/B}}}{2}$	-	16	(Eq.43)

^o e ^{**} significativos a 10 e 1 %, respectivamente.

Fonte: Adaptado de Vivancos (1989), Sabino et al. (1995), Carvalho et al. (2001), Fundação MT (2001) e Martins et al. (2001).

Comparando-se os valores de teor foliar gerado pelas equações do FERTICALC[®] Algodoeiro para uma produtividade de 320 @ ha⁻¹ com a média dos obtidos em lavouras com produtividade semelhante, observa-se que o valor gerado pelo FERTICALC[®] Algodoeiro fica compreendido no intervalo de confiança das observações de campo para a maioria dos nutrientes (Quadro 9). Também é possível verificar que o equilíbrio nutricional, avaliado pelo DRIS para algodão seguindo as normas de Martins (1999), está adequado (Figura 1).

Quadro 9. Comparação entre os teores foliares gerados pelas equações e os observados em condições de campo para lavouras com produtividades em torno de 320 @ ha⁻¹

	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- g kg ⁻¹ -----					
FERTICALC [®] Algodoeiro	44,41	3,11	20,23	32,49	5,45	6,13
Valores médios	44,33 ± 1,00	2,98 ± 0,13	19,89 ± 1,60	19,31 ± 2,23	5,15 ± 0,60	5,31 ± 0,49
	Cu	Fe	Zn	Mn	B	
	----- mg kg ⁻¹ -----					
FERTICALC [®] Algodoeiro	8,06	186,85	27,18	48,20	45,65	
Valores médios	6,38 ± 0,62	124,1 ± 16,1	24,1 ± 2,3	39,1 ± 4,9	49,7 ± 11,9	

Fonte: Adaptado da Fundação MT (2001), Martins (1999), Martins et al. (2001) e Vivancos (1989).

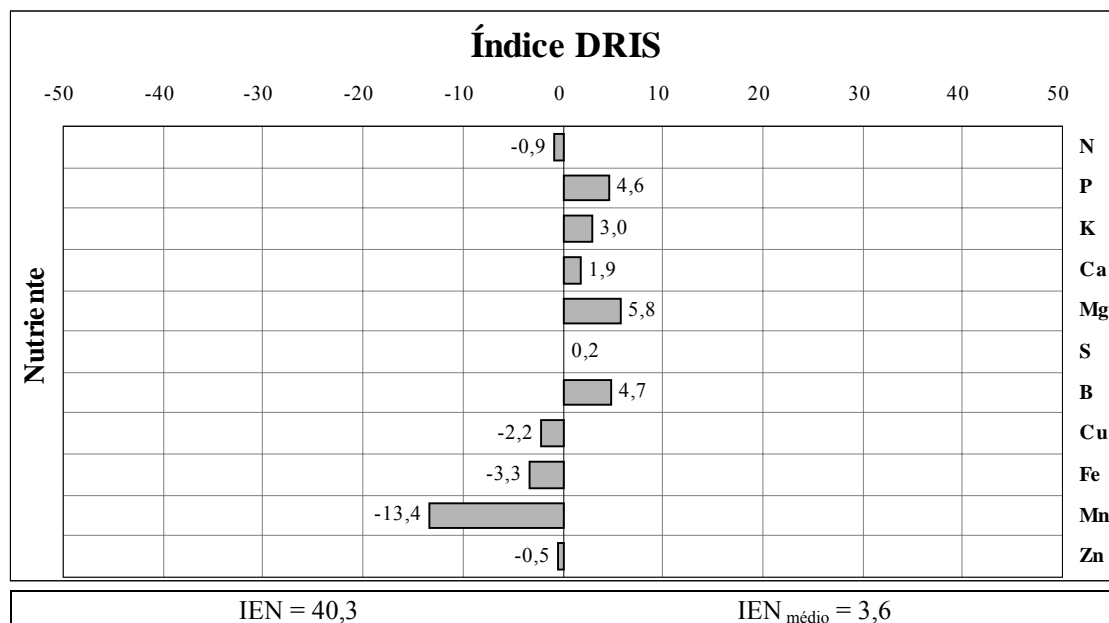


Figura 1. Avaliação do equilíbrio nutricional dos teores foliares gerados no FERTICALC[®] Algodoeiro pelo DRIS para algodão, seguindo as normas de Martins (1999).

b.4. Caule

A composição do caule para N, P e K não apresentou correlação com características do solo e, ou, produtividade, sendo utilizados os valores médios. Já para Ca, Mg e S e para os micronutrientes, os teores foram estimados pela relação entre a diferença do total de nutrientes imobilizados na matéria seca da parte vegetativa e a quantidade imobilizada nas folhas e nas raízes e a quantidade de matéria seca alocada no caule (Quadro 10).

Quadro 10. Teores médios no caule para N, P e K e estimados para Ca, Mg, S e micronutrientes

Nutriente	Teor	Nutriente	Teor
	g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹
Nitrogênio	14,79	Cobre	2,70
Fósforo	2,60	Ferro	167,95
Potássio	17,50	Zinco	26,84
Cálcio	7,59	Manganês	36,11
Magnésio	1,23	Boro	96,37
Enxofre	3,91		

Fonte: Adaptado de Jacob & Coyle (1931), Martin & Leonard (1950), Coelho & Verlengia (1973), Malavolta (1980), Lopes (1989), Vivancos (1989), Silva et al. (1995), Abaye (1996), Grant & Kubik (1996), Staut (1996), Fundação MT (1997), NCPA (1998), Rosolem (1998), Silva (1999), Arana et al. (2000), Freire et al. (2001), Furlani Jr. et al. (2001), Davis Jr. (2002), Donohue (2002), Freemam (2002), Lalman (2002), McCann & Stewart (2002), NRCS (2002), Shaver, (2002) e Waldroup & Kersey (2002).

b.5. Raízes

Não foi encontrada correlação entre o teor de nutriente nas raízes e produtividade. Desta forma, é utilizado o valor médio para cada nutriente (Quadro 11).

Quadro 11. Teores médios de nutrientes nas raízes do algodoeiro, com seus respectivos coeficientes de variação (C.V.) e números de dados envolvidos nas médias (n)

Nutriente	Teor	C.V.	n
	g kg ⁻¹	%	
Nitrogênio	11,26	9,3	2
Fósforo	2,23	37,9	2
Potássio	10,14	24,8	5
Cálcio	2,00	-	1
Magnésio	1,16	36,5	5
Enxofre	2,30	-	1
	mg kg ⁻¹		
Cobre	2,00	-	1
Ferro	105,60	-	1
Zinco	26,43	4,3	7
Manganês	202,86	43,4	7
Boro	102,00	27,3	4

Fonte: Adaptado de Vivancos (1989), Malavolta et al. (1997) e Rosolem et al. (2000).

2.2.1.2. Eficiência na recuperação de nutriente pela planta

Como a planta não absorve a totalidade dos nutrientes aplicados ao solo, torna-se necessário determinar a eficiência de recuperação pela planta para cada nutriente ($\hat{E}R_{\text{planta}}(X)$) para se chegar a dose necessária.

A $\hat{E}R_{\text{planta}}(X)$ indica a eficiência da planta em absorver nutriente proveniente do adubo aplicado e tem sido definida como a quantidade de nutriente absorvida por unidade de nutriente aplicado, sendo expressa pela equação:

$$\hat{E}R_{\text{planta}}(X) = \left(\frac{Q(X)_{\text{fertilizada}} - Q(X)_{\text{não fertilizada}}}{Q_{\text{Apl.}}(X)} \right) \times 100 \quad (\text{Eq.44})$$

em que $\hat{E}R_{\text{planta}}(X)$ = eficiência de recuperação pela planta do nutriente “X” aplicado, em %,

$Q(X)_{\text{fertilizada}}$ = quantidade do nutriente “X” absorvida pela cultura na parcela fertilizada, em kg ha⁻¹,

$Q(X)_{\text{não fertilizada}}$ = quantidade do nutriente “X” absorvida pela cultura na parcela não fertilizada, em kg ha⁻¹,

$Q_{\text{Apl.}}(X)$ = quantidade do nutriente “X” aplicada, em kg ha⁻¹.

Para obtenção dos dados que preencham esta equação (Eq.44) são montados experimentos onde se tenham parcelas adubadas e não adubadas, avaliando-se a quantidade final do nutriente em cada um dos casos, obtendo-se a $\hat{E}R_{\text{planta}}(X)$ de acordo com a quantidade do nutriente aplicado. Este método é denominado como a técnica da diferença (Norton & Silvertooth, 1999).

Entretanto, essa técnica, por apresentar parcelas adubadas e outras não, propicia melhor ambiente para o crescimento do sistema radicular das plantas nas parcelas adubadas, que podem absorver, proporcionalmente, maiores quantidades de nutriente do solo, causando uma superestimativa da eficiência de recuperação do nutriente pela planta (Santos, 2002).

Entretanto, a eficiência de recuperação pela planta do nutriente aplicado via fertilizante sofre influência de uma série de fatores edáficos (pH, capacidade tampão, fertilidade, matéria orgânica, umidade), climáticos (temperatura, radiação, precipitação), de planta (cultivar, idade, morfologia de raiz, balanço nutricional), biológicos (micorrização, plantas invasoras, pragas e doenças) e fatores de manejo (sistema de cultivo, época de aplicação do fertilizante, quantidade, fonte e método de aplicação do fertilizante), fatores que têm, cada um, maior ou menor interferência sobre a $\hat{E}R_{\text{planta}}(X)$, dependendo do nutriente considerado (Santos, 2002).

Em relação aos fatores edáficos, a capacidade tampão (CT) do solo influencia de forma marcante a $\hat{E}R_{\text{planta}}(X)$ para P, S e Zn, uma vez que, em solos com maior CT, a adsorção destes elementos no solo é elevada, reduzindo a absorção pela planta (Bahia Filho, 1982; Muniz, 1983). O teor do elemento no solo é outro fator que altera muito a eficiência de recuperação do nutriente pela planta, sendo que, solos com mais elevados teores do elemento apresentam taxa de recuperação menores, e vice-versa. Silva et al. (1984) verificaram esta relação inversa em experimento de adubação com K em solos mais e menos deficientes em K, sendo que, o primeiro apresentou alta resposta à adubação e o segundo praticamente não apresentou variação na produtividade. Resultados de experimentos com doses elevadas de fertilizantes podem propiciar redução acentuada na eficiência de recuperação pela planta, inflar as recomendações, onerando os custos de produções e causar “consumo de luxo” pela planta, principalmente para N e K.

Os fatores relacionados à planta que interferem na $\hat{E}R_{\text{planta}}(X)$ estão muito ligados ao estágio de desenvolvimento da cultura, sendo que no estágio inicial de crescimento a recuperação do nutriente aplicado é pequena, devido à menor demanda e ao pequeno tamanho do sistema radicular. Com o crescimento e desenvolvimento da planta e, conseqüentemente, do sistema radicular, a taxa de recuperação tende a aumentar (Welch et al., 1949; Bureau et al., 1953). Isto ressalta a necessidade de adubações de cobertura para os elementos de alta mobilidade e grandes perdas no solo, como o caso do N, e do K em solos com baixa capacidade de troca catiônica a pH 7,0. A eficiência de recuperação do nutriente aplicado também é alterada por características inerentes a cada cultivar, sendo que cultivares mais novas apresentam maior potencial produtivo e, conseqüentemente, maior resposta à adubação. Deste modo, sempre que possível deve-se preferir dados de produtividade, adubação e recuperação mais recentes aos antigos.

O manejo utilizado na cultura também interfere na $\hat{E}R_{\text{planta}}(X)$, sendo que lavouras conduzidas sob o sistema de plantio direto apresentam maior resposta à adubação, por alterar os principais fatores que afetam a absorção dos nutrientes pelas plantas, como temperatura, umidade, aeração, permeabilidade e estrutura do solo (Haas, 1997). No entanto, para o cultivo do algodoeiro o sistema plantio direto é responsável por pequena parcela das lavouras plantadas, não dispondo-se de dados que permitam a consideração deste sistema para o cômputo da eficiência de recuperação do nutriente aplicado.

O aumento da quantidade de nutriente aplicada reduz a $\hat{E}R_{\text{planta}}(X)$. Norton & Silvertooth (1999) observaram redução na taxa de recuperação do N de 43 % para 21 % com o aumento da dose de N de 168 para 336 kg ha⁻¹.

Para o caso da eficiência de recuperação do nitrogênio, uma das suposições associadas com a técnica da diferença é que as transformações do N do solo permanecem constantes entre as parcelas fertilizadas e não fertilizadas (Norton & Silvertooth, 1999). Porém, tem sido observado que a adubação com N estimula as transformações do N no solo e pode resultar em incremento no N inorgânico disponível para ser absorvido e utilizado pela cultura (Rao et al., 1991). A utilização da técnica da diferença pode conduzir a uma super-estimativa dos valores de eficiência de

recuperação de N, a qual é denominada efeito das interações do nitrogênio adicionado (INA) (Jenkinson et al., 1985).

No caso do FERTICALC[®] Algodoeiro, foi gerada uma equação que relaciona a eficiência de recuperação do N com produtividade e adicionado um componente que estima o aumento da eficiência de recuperação com o aumento do número de aplicações do N em cobertura (Quadro 12).

O P é um nutriente pouco móvel no solo e muito adsorvido, tendo a maior eficiência na recuperação pela planta quando aplicado de forma localizada, onde a concentração do nutriente próximo à raiz é aumentada, favorecendo a absorção, uma vez que o transporte se dá por difusão (Novais & Smyth, 1999). Considerando-se a alta capacidade máxima de adsorção de fosfato (CMAF) da maioria dos solos brasileiros, a aplicação de P a lanço é mais eficiente em solos arenosos, ou, no máximo de textura média, onde a capacidade tampão é menor e, conseqüentemente, a adsorção é menor. No FERTICALC[®] Algodoeiro, a $\hat{E}R_{\text{planta}}(P)$ está relacionada com a dose de P quando aplicado em sulco e com o $P_{\text{rem-60}}$ do solo quando aplicado a lanço e incorporado na camada de 0 a 20 cm (Quadro 12).

Estudos de Silva et al. (1984) demonstraram a redução de resposta à adubação potássica com o aumento de disponibilidade de K no solo, e experimentos conduzidos pelo PMA da Fundação MT (2001) com K na safra 2000/2001 em solos com teores de 82 e 96 mg dm⁻³ de K e doses de 60 até 220 kg ha⁻¹ de K₂O não apresentaram resposta à adubação pelo algodoeiro. Portanto, deve-se utilizar como referência na interpretação da análise de solo e recomendação de K para lavouras mais produtivas o teor de K no solo de 90 mg dm⁻³ (Fundação MT, 2001) e 78 mg dm⁻³ para lavouras menos produtivas (Raij, 1991). Além do teor de K no solo, outros fatores afetam a eficiência de recuperação de K pela planta, como interações com outros nutrientes e, ou, com condições de solo, como a calagem, sendo constatado por Silva (1983) citado por Raij (1991) interação positiva entre a aplicação de K e calcário propiciando aumento na receita líquida do cultivo.

Como o K apresenta maior mobilidade no perfil do solo em condições de baixa CTC, as doses que superarem 5 % da CTC do solo devem ser aplicadas de forma parcelada, independentemente da textura do solo. No FERTICALC[®] Algodoeiro, a $\hat{E}R_{\text{planta}}(K)$ está relacionada com a dose de K (Quadro 12).

A determinação da eficiência de recuperação para o Ca e o Mg apresenta como limitação o fato de sua aplicação ser efetuada por meio da calagem, que além de fornecer Ca e Mg, eleva o pH do solo, reduz o Al^{3+} , elevando a saturação por bases e propiciando melhoria no ambiente radicular como um todo. Raij et al. (1983) obtiveram incremento na produtividade de algodão em 255,5 % quando se elevou o pH do solo de 4,9 para 5,8, com a aplicação de calcário. Deste modo, os resultados apresentam efeitos diversos confundidos, e o aumento de produtividade será atribuído ao aumento do Ca^{2+} , ou ao do Mg^{2+} , ou ainda à elevação do pH e redução do Al^{3+} . Provavelmente, a resposta à calagem deve-se a todos esses efeitos, uma vez que há interações entre eles no sentido de favorecer o aumento de produtividade.

Na grande maioria dos casos, a calagem supre quantidades de Ca e Mg suficientes para atender a demanda da planta, e, caso isso não ocorra, pode-se optar pela aplicação de calcário de alta reatividade (“filler”) no sulco de plantio, sendo as respectivas eficiências de recuperação destes nutrientes provenientes de dados sugeridos para culturas anuais e perenes por Freire (2001), Oliveira (2002) e Santos (2002) (Quadro 12).

O S foi relegado a segundo plano por muito tempo, uma vez que entrava na composição de diversos fertilizantes, como o gesso, sulfato de amônio, superfosfato simples, sulfato de potássio, dentre outros. Mas isso não o torna menos importante à produção de algodão. A utilização de formulados concentrados, que não têm S na composição, vem crescendo e o S passou a ser mais estudado, buscando-se sua dose ótima. Costa & Pires (1995) e Lopes (1998), conduzindo experimento de adubação com S, encontraram resposta à adição deste nutriente. No entanto, as respostas foram baixas e a eficiência de recuperação do S também, ficando em torno de 9,5 % para a adição de 20 kg ha⁻¹ (Adaptado de Lopes, 1998). Isto deve-se, provavelmente, ao fato do solo ter suprido a maior parte do S para a cultura, uma vez que, a maior parte do S, em geral mais de 90 %, encontra-se em formas orgânicas (Bissani & Tedesco, 1988), e com a mineralização da matéria orgânica do solo ocorre liberação de S para a cultura, reduzindo a resposta à adubação. Outras características também afetam a disponibilidade de S, inclusive a disponibilidade de P, onde em solos com maiores teores de P a adsorção de S é menor (Barrow, 1969, citado por Bissani & Tedesco, 1988) ficando mais S na solução para ser absorvido pela cultura.

Costa (1980) avaliou a absorção de sulfato em função do teor de S no solo e do pH para quatro tipos de solos do Rio Grande do Sul, verificando maiores absorções em solos com pH menores e maiores teores de S. Porém, no FERTICALC[®] Algodoeiro, a disponibilidade de dados relativos a adubação com S não permitiram ajustar a $\hat{E}R_{\text{planta}}(S)$ em função da dose de S utilizada ou de outras características, sendo utilizado um valor médio para diversas culturas anuais (Oliveira, 2002; Santos, 2002) (Quadro 12).

Em relação aos micronutrientes, deficiências de cobre, manganês e zinco são raramente encontradas no algodoeiro (Hodges, 2002), sendo mais comum a deficiência de boro em solos de cerrado pela sua baixa disponibilidade (Silva, 1999).

Costa et al. (2001), conduzindo experimento para avaliar a adsorção de boro e a resposta do algodoeiro à adubação com boro, observaram que ocorreu decréscimo na produção de matéria seca quando os teores no solo superaram 1,0 e 0,75 mg dm⁻³, pelo extrator HCl 0,05 mol L⁻¹ nos solos argilosos e arenosos, respectivamente, evidenciando a estreita faixa entre a deficiência e a toxidez para esse elemento. Esses resultados sugerem que as doses de B devem ser diferenciadas para solos de textura argilosa e arenosa.

A cultura do algodão é muito responsiva à adubação boratada, e diversos trabalhos têm sido conduzidos avaliando-se doses ideais desse nutriente. No entanto, a disponibilidade de boro no solo para as plantas é afetada por diversos fatores, como: a concentração do nutriente na solução, pH, textura, umidade, temperatura, matéria orgânica e mineralogia do solo (Goldberg, 1997, citado por Costa et al., 2001), sendo que a maioria dos trabalhos não contempla o leque de fatores que interferem na eficiência de recuperação desse elemento. Portanto, a $\hat{E}R_{\text{planta}}(B)$ utilizada no FERTICALC[®] Algodoeiro foi ajustada apenas em função da dose de B (Quadro 12).

Para o Mn, Silvertooth & Galadima (2002), conduzindo experimento de campo em solo com teor médio de Mn igual a 5,27 mg dm⁻³, pelo extrator DTPA, não encontraram resposta à adubação com 0,56 kg ha⁻¹ de Mn e consideraram que para teor no solo superior a 1,0 mg dm⁻³, pelo mesmo extrator, não há necessidade de fertilizações com Mn. Teores abaixo de 1,0 mg dm⁻³, podem indicar uma possível deficiência de Mn (Silvertooth & Norton, 1998; citados por Silvertooth & Galadima, 2002) devendo ser recomendada adubação com manganês.

Portanto, para os micronutrientes, à exceção do boro, utilizar-se-ão os valores fixos de eficiência de recuperação sugeridos por Santos (2002) (Quadro 12).

Quadro 12. Eficiências médias de recuperação pela planta dos nutrientes aplicados via fertilizantes, ou estimadas em função da dose do nutriente aplicada, em %, e número de dados envolvidos no ajuste da equação (n)

Nutriente	Equação	R ²	n	
Nitrogênio	$\hat{E}R_{\text{planta}}(N) = 90,419674*** e^{-0,003114***D_N} + 7,6 \times N_{n^{\circ}\text{apl.}}$ $\forall 0 \leq D_N \leq 350$	0,566	28	(Eq.45)
Fósforo	$\hat{E}R_{\text{planta}}(P_{\text{lanço}}) = 4,508*** e^{0,0347***P_{\text{rem-60}}}$ $\forall 2,58 \leq P_{\text{rem-60}} \leq 40,18$	0,837	10	(Eq.46)
	$\hat{E}R_{\text{planta}}(P_{\text{sulco}}) = 53,55016791** e^{-0,01373936^{\circ}D_P}$ $\forall 0 \leq D_P \leq 150$	0,921	4	(Eq.47)
Potássio	$\hat{E}R_{\text{planta}}(K) = 90,69547627*** e^{-0,00265657^{\circ}D_K}$ $\forall 0 \leq D_K \leq 300$	0,633	5	(Eq.48)
Cálcio ⁽¹⁾	$\hat{E}R_{\text{planta}}(Ca) = 50,0$	-	-	
Magnésio ⁽¹⁾	$\hat{E}R_{\text{planta}}(Mg) = 55,0$	-	-	
Enxofre ⁽¹⁾	$\hat{E}R_{\text{planta}}(S) = 50,0$	-	-	
Cobre ⁽¹⁾	$\hat{E}R_{\text{planta}}(Cu) = 5,0$	-	-	
Ferro ⁽¹⁾	$\hat{E}R_{\text{planta}}(Fe) = 5,0$	-	-	
Zinco ⁽¹⁾	$\hat{E}R_{\text{planta}}(Zn) = 5,0$	-	-	
Manganês ⁽¹⁾	$\hat{E}R_{\text{planta}}(Mn) = 5,0$	-	-	
Boro	$\hat{E}R_{\text{planta}}(B) = \frac{5,282755}{(1 - 0,82839397 e^{-0,34760374 \times D_B})}$	0,894	8	(Eq.49)

⁽¹⁾ Valores sugeridos por Santos (2002).

^o, *, ** e *** significativos a 10, 5, 1 e 0,1 %, respectivamente.

D_N = dose de nitrogênio em kg ha⁻¹; $N_{n^{\circ}\text{apl.}}$ = número de aplicações de nitrogênio em cobertura; D_P = dose de fósforo em kg ha⁻¹; $P_{\text{rem-60}}$ = fósforo remanescente; D_K = dose de potássio em kg ha⁻¹ e D_B = dose de boro em kg ha⁻¹.

Fonte: Adaptado de Silva et al. (1982), Muniz (1983) citado por Santos (2002), Torbert & Reeves (1994), Beltrão et al. (1995), Campos et al. (1995), Costa & Pires (1995), Hodges (1995), Sabino et al. (1995), Harris & Baker (1997), Lopes (1998), Norton & Silvertooth (1999), Howard et al. (2000), Fundação MT (2001), Howard et al. (2001a), Howard et al. (2001b), Pereira et al. (2001), Rosolem (2001b), Silva et al. (2001), Mitchell (2002) e Santos (2002).

As equações ou valores médios utilizados para a $\hat{E}R_{\text{planta}}(X)$, não abrangem a totalidade dos fatores que influenciam essa variável, mas buscou-se a maior abrangência possível, dentre os dados disponíveis, e, como não se conhece a dose do nutriente a ser aplicada, uma vez que essa dose depende da eficiência de recuperação do nutriente pela planta e de diversas outras variáveis, será utilizado o valor da demanda total da planta $D\hat{E}M(X)_{\text{planta}}$ como sendo a dose do nutriente “X” aplicada.

Um ponto que não pode ser esquecido quando se fala de eficiência de recuperação de nutrientes é que, em experimento de verificação da resposta da cultura à adição de determinado nutriente, atinge-se um nível de produtividade que o limitante ao seu aumento pode não ser mais o elemento em estudo, e sim outro(s) fator(es), como já é sentido. Este fato pode causar desvios expressivos na determinação da eficiência de recuperação, subestimando-a e, conseqüentemente, superestimando as dose de nutrientes recomendada.

Para aumentar a eficiência de recuperação pela planta do nutriente aplicado e, conseqüentemente, reduzir as perdas, algumas medidas podem ser tomadas buscando aumentar a lucratividade do cultivo do algodoeiro. Dentre elas, devem-se evitar doses elevadas de fertilizantes no plantio, e quando as recomendações assim prescreverem, efetuar aplicação parcelada dos fertilizantes, especialmente N e K, buscando fornecimento do nutriente na época de maior absorção pela cultura. No caso do N aplicado sob a forma de uréia, deve-se incorporá-la, visando reduzir a volatilização de amônia, e no caso de altas doses de K, pode-se efetuar aplicação em área total (potassagem).

Sempre que possível, o suprimento do fertilizante com a água de irrigação com gerenciamento adequado (Freny et al., 1995) ou a aplicação foliar, são medidas que reduzem as perdas de nutrientes.

Uma técnica mais avançada é a utilização de fertilizantes de liberação lenta, que apresentam sincronia entre a liberação do nutriente e o requerimento da planta. Isto torna possível a aplicação de todo o nutriente necessário em uma única vez, reduzindo os custos de aplicação e mantendo baixa a concentração do nutriente na solução do solo, durante o crescimento da cultura.

2.2.2. Dose de segurança

Como o FERTICALC[®] Algodoeiro não contempla todas as variáveis que afetam a disponibilização de nutrientes pelo solo e tampouco todos os fatores que afetam a aquisição de nutrientes pela planta, faz-se necessária a utilização de uma dose de segurança, sendo calculada a partir de uma percentagem do requerimento pela cultura para uma definida produtividade ($\hat{R}\hat{E}Q(X)_{\text{planta}}$), conforme a equação:

$$\hat{R}\hat{E}Q(X)_{\text{d.s.}} = \hat{R}\hat{E}Q(X)_{\text{planta}} \times \frac{P_{\hat{R}\hat{E}Q(X)_{\text{planta}}}}{100} \quad (\text{Eq.50})$$

em que $\hat{R}\hat{E}Q(X)_{\text{d.s.}}$ = requerimento do nutriente “X” para uma dose de segurança, em kg ha⁻¹,

$\hat{R}\hat{E}Q(X)_{\text{planta}}$ = requerimento do nutriente “X” pela cultura para uma definida produtividade, em kg ha⁻¹,

$P_{\hat{R}\hat{E}Q(X)_{\text{planta}}}$ = percentagem do requerimento do nutriente “X” pela cultura destinada à dose de segurança.

Essa percentagem deverá ser tão menor quanto mais específicos e representativos forem os dados de entrada para o FERTICALC[®] Algodoeiro, como por exemplo: teores, produção de matéria seca, eficiência de recuperação, dentre outros, preferencialmente levantados no próprio local de cultivo ou região próxima.

Além disso, a dose de segurança propicia uma “folga técnica” no momento de estabelecimento do balanço nutricional e, conseqüentemente, na dose recomendada do nutriente, evitando o esgotamento temporário de nutrientes do solo.

Para nutrientes com baixa eficiência de recuperação, como o P, ou que apresentam faixa estreita entre o nível de deficiência e o de toxidez, como o B, o FERTICALC[®] Algodoeiro não prevê a utilização de dose de segurança, uma vez que para o fósforo, ocorre o acúmulo deste nutriente no solo, como tem sido observado; e para o boro poderá ser atingido nível de toxidez que ocasione redução na produtividade.

A utilização da dose de segurança como um fator de sustentabilidade para os cultivos subseqüentes não tem respaldo prático para a cultura do algodoeiro, uma vez que o algodoeiro é uma planta de baixa exportação de nutrientes, e após a colheita mais de 50 % da quantidade absorvida, para quase todos os nutrientes, retorna ao solo por meio das folhas, ramos, cápsulas, caule e raízes.

No entanto, a decisão por utilizar ou não a dose de segurança é do usuário, e, caso a utilize, a percentagem a adotar dependerá da confiança que deposita nos dados que forneceu ao sistema. O FERTICALC[®] Algodoeiro sugere 20 %, quando os dados são muito gerais, 10 % quando os dados apresentam algum grau de especificidade e 5 % ou menos, quando os dados são específicos para o local de cultivo, cultivar utilizado e condições de manejo.

2.3. Balanço Nutricional

O balanço nutricional é definido pela diferença entre o requerimento total e o suprimento total de nutrientes, sendo o requerimento total de nutrientes constituído pelo requerimento da cultura e requerimento para dose de segurança, e o suprimento total composto pelos suprimentos do solo, dos resíduos orgânicos e da calagem, sendo a calagem, quando efetuada, considerada apenas para suprimento de Ca e Mg, conforme a equação:

$$\hat{BN}_X = \hat{REQ}(X)_{total} - \hat{SUP}(X)_{total} \quad (\text{Eq.51})$$

em que \hat{BN}_X = balanço nutricional para o nutriente “X”, em kg ha⁻¹,

$\hat{REQ}(X)_{total}$ = requerimento total do nutriente “X” para definida produtividade e dose de segurança, em kg ha⁻¹,

$\hat{SUP}(X)_{total}$ = suprimento total do nutriente “X”, em kg ha⁻¹.

Sendo, o valor do balanço nutricional negativo, não se recomenda adubação. Para balanço positivo, o que indica que o requerimento é superior ao suprimento, recomenda-se adubação.

2.4. Dose recomendada

A dose recomendada (\hat{DR}_X) é a quantidade do nutriente que deverá ser aplicada ao solo, via fertilizantes, para se ter a quantidade do nutriente disponível no solo adequado à obtenção de definida produtividade, sendo igual ao balanço nutricional (\hat{BN}_X), quando este for positivo.

Como os dados para todos os elementos são fornecidos e calculados para a forma elementar, os resultados também o são. Portanto, para efeito prático, as doses de P e K serão convertidas para a forma de óxidos, seguindo as relações:

$$\hat{DR}_{P_2O_5} = 2,2913 \times \hat{DR}_P \quad (\text{Eq.52})$$

$$\hat{DR}_{K_2O} = 1,2046 \times \hat{DR}_K \quad (\text{Eq.53})$$

$$\hat{DR}_{CaO} = 1,3992 \times \hat{DR}_{Ca} \quad (\text{Eq.54})$$

$$\hat{DR}_{MgO} = 1,6583 \times \hat{DR}_{Mg} \quad (\text{Eq.55})$$

Para o P, quando o balanço nutricional não prescrever a recomendação deste elemento, o FERTICALC[®] Algodoeiro recomenda a aplicação de 20 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em fonte solúvel no plantio, devido a grande demanda inicial deste elemento pela planta.

2.5. Nível crítico do nutriente

O nível crítico no solo ($N_i C_{rit}$) é o teor do nutriente no solo suficiente para sustentar definida produtividade, sem a adição de corretivos e, ou, fertilizantes, sendo determinado pela equação:

$$N_i C_{rit}(X) = \frac{R\hat{E}Q(X)_{planta}}{PER} \times \hat{TR}(X) \quad (\text{Eq.56})$$

em que $N_i C_{rit}(X)$ = nível crítico do nutriente “X” no solo para sustentar definida produtividade, em mg dm⁻³,

$R\hat{E}Q(X)_{planta}$ = requerimento do nutriente “X” pela cultura para uma definida produtividade, em kg ha⁻¹,

PER = profundidade efetiva do sistema radicular, em dm,

\hat{TR}_X = estimativa da taxa de recuperação pelo extrator do nutriente “X” aplicado ao solo via fertilizante (Quadro 1).

3. UTILIZAÇÃO DO FERTICALC[®] Algodoeiro

Com o intuito de validar os resultados obtidos com o FERTICALC[®] Algodoeiro, são efetuadas simulações, utilizando-se resultados de análises de solo, sendo os passos descritos detalhadamente. Após as simulações, os resultados são comparados com as recomendações utilizadas na atualidade, verificando-se os desvios e efetuando uma análise de sensibilidade para todos os nutrientes.

3.1. Informações requeridas pelo FERTICALC[®] Algodoeiro

Para efetuar as simulações será considerada a produtividade desejada de 300 @ ha⁻¹ (4.500 kg ha⁻¹), lembrando-se que a média nacional é de 194 @ ha⁻¹ (Conab, 2003), e que o cultivo do algodoeiro sucede a um cultivo de soja com produtividade de 3.000 kg ha⁻¹ de grãos e 6.000 kg ha⁻¹ de matéria seca remanescente na área após a colheita.

A análise de solo foi efetuada na camada de 0 a 20 cm (Quadro 13) e o calcário utilizado apresenta 85 % de PRNT e teor de CaO e MgO de 38 e 12 %, respectivamente.

Quadro 13. Resultado da análise química e física de solo da Fazenda Cruzeiro, município de Água Boa - MT

pH	P ⁽¹⁾	K ⁽¹⁾	Al ³⁺⁽²⁾	Ca ²⁺⁽²⁾	Mg ²⁺⁽²⁾	H+Al	SB	t	T	V	m
H ₂ O	-- mg dm ⁻³ --		----- cmol _c dm ⁻³ -----						----- % -----		
5,0	1,8	25	0,7	0,8	0,2	3,1	1,06	1,76	4,16	25,6	39,7
S ⁽³⁾	Zn ⁽¹⁾	Fe ⁽¹⁾	Mn ⁽¹⁾	Cu ⁽¹⁾	B ⁽⁴⁾	P _{rem-60}	C.O.	M.O.	Areia	Silte	Argila
	----- mg dm ⁻³ -----					mg L ⁻¹	-- dag kg ⁻¹ --		----- % -----		
3,2	40,7	30,3	35,6	0,9	0,15	24	1,8	2,5	73,3	5,0	21,7

⁽¹⁾ Extrator Mehlich-1.

⁽²⁾ Extrator KCl 1 mol L⁻¹.

⁽³⁾ Extrator Ca(H₂PO₄)₂ em HOAc (1:2,5).

⁽⁴⁾ Extrator água quente.

3.2. Determinação do suprimento total de nutrientes

3.2.1. Determinação da necessidade de calagem e suprimento de Ca²⁺ e Mg²⁺

3.2.1.1. Método da neutralização do Al³⁺ e elevação dos teores de Ca²⁺ + Mg²⁺

Para determinação da necessidade de calagem por este método, o valor de Y será estimado a partir do P_{rem-60} do solo (Eq.3).

$$\hat{Y} = 4,002 - 0,125901 \times 24 + 0,001205 \times 24^2 - 0,00000362 \times 24^3$$

$$\hat{Y} = 1,62$$

Para a saturação por Al³⁺ tolerada pela cultura (m_t) será utilizado o valor 10 %, sendo a necessidade de Ca²⁺ + Mg²⁺ igual a 3,0 (Eq.2).

$$NC = 1,62 \times \left[0,7 - \left(\frac{10 \times 1,76}{100} \right) \right] + \left[3,0 - (0,8 + 0,2) \right]$$

$$NC = 2,85 \text{ t ha}^{-1}$$

3.2.1.2. Método da saturação por bases

Para o cálculo da necessidade de calagem pelo método de saturação por bases será adotada a saturação desejada igual a 60 % (Eq.5). Assim:

$$NC = \frac{4,16(60 - 25,6)}{100}$$

$$NC = 1,43 \text{ t ha}^{-1}$$

3.2.1.3. Quantidade de calcário utilizada e suprimento de Ca e Mg

Para determinar a quantidade de calcário, será considerado uma incorporação de 0 a 20 cm em cobertura total da área, sendo o PRNT do calcário igual a 85 % e os teores de CaO e MgO iguais a 38 e 12 %, respectivamente. Como necessidade de calagem utilizou-se o valor gerado pelo método da neutralização do Al^{3+} e elevação dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , uma vez que, o método da saturação por bases subestima a calagem em virtude da baixa CTC a pH 7,0 do solo.

$$QC_{\text{utilizada}} = 2,85 \times \frac{100}{85}$$

$$QC_{\text{utilizada}} = 3,35 \text{ t ha}^{-1}$$

Com a quantidade de calcário e os teores de CaO e MgO, tem-se o suprimento de Ca e Mg pela calagem (Eq.8).

$$\hat{S}\hat{U}\hat{P}(\text{Ca})_{\text{calagem}} = 3,35 \times \frac{38}{100} \times 0,7147 \times 1.000$$

$$\hat{S}\hat{U}\hat{P}(\text{Ca})_{\text{calagem}} = 909,8 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$\hat{S}\hat{U}\hat{P}(\text{Mg})_{\text{calagem}} = 3,35 \times \frac{12}{100} \times 0,6030 \times 1.000$$

$$\hat{S}\hat{U}\hat{P}(\text{Mg})_{\text{calagem}} = 242,4 \text{ kg ha}^{-1}$$

3.2.1.4. Estimativa do pH final

Com a necessidade de calagem e a acidez potencial do solo (H + Al), estima-se a variação do pH do solo decorrente da calagem (Eq.6).

$$\Delta\hat{pH} = \left(-0,0234647 + 1,49415 \times \frac{1}{3,1} \right) \times 2,85$$

$$\Delta\hat{pH} = 1,31$$

O pH final estimado é o pH atual acrescido da variação (Eq.7) e constitui-se em uma informação adicional para avaliação da quantidade de calcário recomendada pelo método utilizado, devendo-se optar por outro método de recomendação de calagem quando a necessidade de calagem recomendada propiciar um pH final fora da faixa ideal para a cultura do algodoeiro, ou mesmo, calcular-se a necessidade de calagem a partir do pH final desejado.

$$\text{pH}_{\text{final}} = 5,0 + 1,31$$

$$\text{pH}_{\text{final}} = 6,31$$

3.2.2. Suprimento de nitrogênio, fósforo e potássio pelo solo

Para determinar a contribuição do solo foi considerada a profundidade do sistema radicular (PER) de 2 dm, densidade do solo (d.s.) de 1,0 kg dm⁻³ e os resultados da análise de solo (Quadro 13). Deste modo, tem-se a quantidade de nitrogênio estimada a partir do teor de matéria orgânica do solo (Eq.18).

$$\hat{S}\hat{U}\hat{P}(\text{N})_{\text{solo}} = (5 \times 2 \times 1,0 \times 2,5 \times 1,48) e^{0,006 \times 110}$$

$$\hat{S}\hat{U}\hat{P}(\text{N})_{\text{solo}} = 71,6 \text{ kg ha}^{-1}$$

Para o fósforo e potássio, inicialmente se estima a quantidade de nutriente adicionada, utilizando-se o teor do elemento na análise de solo, a recuperação pelo extrator (Eq.9, 11) e a camada de solo explorada pelas raízes (2 dm) (Eq.19).

$$\hat{S}\hat{U}\hat{P}(\text{P})_{\text{solo}} = \frac{1,80}{0,0672821 + 0,0121615 \times 24,0} \times 2$$

$$\hat{S}\hat{U}\hat{P}(\text{P})_{\text{solo}} = 10,0 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$\hat{S}\hat{U}P(K)_{\text{solo}} = \frac{25}{0,6555 + 0,0068 \times 24} \times 2$$

$$\hat{S}\hat{U}P(K)_{\text{solo}} = 61,1 \text{ kg ha}^{-1}$$

3.2.3. Suprimento de nitrogênio, fósforo e potássio pelos resíduos orgânicos

Para o cálculo do suprimento de nutrientes proveniente da mineralização dos resíduos orgânicos foi considerado como cultivo anterior uma lavoura de soja com produtividade de 3.000 kg ha⁻¹ de grãos e, aproximadamente, 6.000 kg ha⁻¹ de matéria seca remanescente na área após a colheita. Foi utilizada a composição média do resíduo para a cultura da soja (Quadro 3) e a taxa de liberação para leguminosas (Quadro 4) (Eq.20).

$$\hat{S}\hat{U}P(N)_{\text{res.org.}} = 6.000 \times \frac{1,36}{100} \times 0,95$$

$$\hat{S}\hat{U}P(N)_{\text{res.org.}} = 77,5 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$\hat{S}\hat{U}P(P)_{\text{res.org.}} = 6.000 \times \frac{0,19}{100} \times 0,80$$

$$\hat{S}\hat{U}P(P)_{\text{res.org.}} = 9,1 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$\hat{S}\hat{U}P(K)_{\text{res.org.}} = 6.000 \times \frac{1,23}{100} \times 0,95$$

$$\hat{S}\hat{U}P(K)_{\text{res.org.}} = 70,1 \text{ kg ha}^{-1}$$

De posse dos dados de suprimento pelo solo e resíduos orgânicos calcula-se o suprimento total de nutrientes (Eq.1).

$$\hat{S}\hat{U}P(N)_{\text{total}} = 71,6 + 77,5 = 149,1 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$\hat{S}\hat{U}P(P)_{\text{total}} = 10,0 + 9,1 = 19,1 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$\hat{S}\hat{U}P(K)_{\text{total}} = 61,1 + 70,1 = 131,2 \text{ kg ha}^{-1}$$

3.3. Determinação do requerimento de nutrientes

3.3.1. Requerimento pela cultura

3.3.1.1. Demanda nutricional da cultura

a. Produção de biomassa nos diferentes compartimentos da planta

Para determinação da quantidade de matéria seca nas fibras, são consideradas a produtividade desejada (4.500 kg ha⁻¹) e a percentagem de fibra no algodão em caroço (40,3637 %) para a cultivar utilizada, descontando-se a umidade de 5 % (Eq.26).

$$\hat{MS}_{\text{fibra}} = 4.500 \times \frac{40,3637}{100} \times \frac{(100-5)}{100}$$
$$\hat{MS}_{\text{fibra}} = 1.726 \text{ kg ha}^{-1}$$

De modo análogo, é calculada a quantidade de matéria seca nos caroços de algodão, para a umidade dos caroços em torno de 12 % (Eq.27).

$$\hat{MS}_{\text{caroço}} = 4.500 \times \frac{(100-40,3637)}{100} \times \frac{(100-12)}{100}$$
$$\hat{MS}_{\text{caroço}} = 2.362 \text{ kg ha}^{-1}$$

Para o cálculo da matéria seca nos demais compartimentos da planta, é necessária a determinação da matéria seca total da cultura, segundo a equação que relaciona produtividade à matéria seca total (Eq.28).

$$\hat{MS}_{\text{total}} = 16.451,779 - 13.761,352 e^{-0,0000011361197 \times 4.500^{1,5956245}}$$
$$\hat{MS}_{\text{total}} = 10.059 \text{ kg ha}^{-1}$$

A partir da matéria seca total, conhecendo-se as matérias secas das fibras e dos caroços de algodão, determina-se, por diferença, a matéria seca na parte vegetativa (Eq.29).

$$\hat{MS}_{\text{par.veg.}} = 10.059 - 1.726 - 2.362$$
$$\hat{MS}_{\text{par.veg.}} = 5.971 \text{ kg ha}^{-1}$$

Baseado na matéria seca da parte vegetativa, calcula-se a matéria seca nas folhas (Eq.30), no caule (Eq.31) e nas raízes (Eq.32).

$$\hat{M}S_{\text{folha}} = 5.971 \times \frac{29,36}{100}$$

$$\hat{M}S_{\text{folha}} = 1.753 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$\hat{M}S_{\text{caule}} = 5.971 \times \frac{54,17}{100}$$

$$\hat{M}S_{\text{caule}} = 3.234 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$\hat{M}S_{\text{raiz}} = 5.971 \times \frac{16,47}{100}$$

$$\hat{M}S_{\text{raiz}} = 983 \text{ kg ha}^{-1}$$

b. Teores de macro e micronutrientes nas diferentes partes da planta

Os teores de nutrientes nas fibras, semente, caule e raízes são considerados valores fixos (Quadro 14), independentemente da produtividade, ou de características de solo, clima ou cultivar, e na disponibilidade de dados específicos, estes devem ser utilizados.

Quadro 14. Teor de N, P e K na fibra, semente, caule e raízes do algodoeiro

Nutriente	Fibras	Sementes	Caule	Raízes
	----- g kg ⁻¹ -----			
Nitrogênio	3,04	41,15	14,79	11,26
Fósforo	1,02	7,44	2,60	2,23
Potássio	8,74	12,09	17,50	10,14

O teor foliar será determinado a partir da produtividade desejada da cultura em kg ha⁻¹ (Quadro 8) envolvendo juntamente algumas relações ótimas entre nutrientes nas folhas (Quadro 7) (Eq.33, 34, 35).

$$\hat{T}_{\text{folha}} \text{ N} = \frac{44,958031}{\left(1 + e^{(13,345492 - 0,0032379781 \times 4.500)}\right)^{1/8,668287}}$$

$$\hat{T}_{\text{folha}} \text{ N} = 43,64 \text{ g kg}^{-1}$$

$$\hat{T}_{\text{folha P}} = \frac{\frac{3,00625}{(1 + e^{(650,39874 - 0,17387515 \times 4,500)})^{1/960,64166}} + \frac{43,64}{13,8342}}{2}$$

$$\hat{T}_{\text{folha P}} = 3,08 \text{ g kg}^{-1}$$

$$\hat{T}_{\text{folha K}} = \frac{\frac{25,558377}{(1 + e^{(9,4372385 - 0,0017258356 \times 4,500)})^{1/6,4102952}} + \frac{43,64}{2,2206}}{2}$$

$$\hat{T}_{\text{folha K}} = 19,41 \text{ g kg}^{-1}$$

De posse dos dados relativos à quantidade de matéria seca nos diferentes compartimentos e os respectivos teores de nutrientes, estima-se a demanda pela planta para produção de fibra e caroço (Eq.24),

$$\hat{D}\hat{E}M(N)_{\text{produto}} = \frac{1.726 \times 3,04 + 2.362 \times 41,15}{1.000}$$

$$\hat{D}\hat{E}M(N)_{\text{produto}} = 102,45 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$\hat{D}\hat{E}M(P)_{\text{produto}} = \frac{1.726 \times 1,02 + 2.362 \times 7,44}{1.000}$$

$$\hat{D}\hat{E}M(P)_{\text{produto}} = 19,34 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$\hat{D}\hat{E}M(K)_{\text{produto}} = \frac{1.726 \times 8,75 + 2.362 \times 12,09}{1.000}$$

$$\hat{D}\hat{E}M(K)_{\text{produto}} = 43,66 \text{ kg ha}^{-1}$$

e a demanda para produção de folhas, caule, cápsulas e raízes (Eq.25), que será retornada ao solo no final do ciclo com a incorporação das folhas, caule, ramos e raízes.

$$\hat{D}\hat{E}M(N)_{\text{resíduos}} = \frac{1.753 \times 43,64 + 3.234 \times 14,79 + 983 \times 11,26}{1.000}$$

$$\hat{D}\hat{E}M(N)_{\text{resíduos}} = 135,40 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$\hat{D}\hat{E}M(P)_{\text{resíduos}} = \frac{1.753 \times 3,08 + 3.234 \times 2,60 + 983 \times 2,23}{1.000}$$

$$\hat{D}\hat{E}M(P)_{\text{resíduos}} = 16,00 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$\hat{D}\hat{E}M(K)_{\text{resíduos}} = \frac{1.753 \times 19,41 + 3.234 \times 17,50 + 983 \times 10,14}{1.000}$$

$$\hat{D}\hat{E}M(K)_{\text{resíduos}} = 100,59 \text{ kg ha}^{-1}$$

Somando-se os dados de nutrientes exportados e retornados têm-se as quantidades de nutrientes imobilizados pela cultura para sustentar definida produtividade desejada, ou seja, a demanda da planta (Eq.23).

$$\hat{D}\hat{E}M(N)_{\text{planta}} = 102,45 + 135,40$$

$$\hat{D}\hat{E}M(N)_{\text{planta}} = 237,85 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$\hat{D}\hat{E}M(P)_{\text{planta}} = 19,34 + 16,00$$

$$\hat{D}\hat{E}M(P)_{\text{planta}} = 35,34 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$\hat{D}\hat{E}M(K)_{\text{planta}} = 43,66 + 100,59$$

$$\hat{D}\hat{E}M(K)_{\text{planta}} = 144,25 \text{ kg ha}^{-1}$$

3.3.1.2. Eficiência na recuperação de nutrientes pela planta

Como a planta não absorve a totalidade dos nutrientes aplicados, é necessário a estimativa da eficiência de recuperação (Quadro 12), calculada a partir da demanda do nutriente pela planta.

Para o nitrogênio serão efetuadas três aplicações em cobertura (Eq.45), a aplicação de P será no sulco de plantio (Eq.47) e a aplicação de K não será parcelada (Eq.48).

$$\hat{E}R_{\text{planta}}(N) = 90,419674 e^{-0,003114 \times 237,85} + 7,6 \times 3$$

$$\hat{E}R_{\text{planta}}(N) = 65,91 \%$$

$$\hat{E}R_{\text{planta}}(P_{\text{sulco}}) = 53,55016791 e^{-0,01373936 \times 35,34}$$

$$\hat{E}R_{\text{planta}}(P) = 32,95 \%$$

$$\hat{E}R_{\text{planta}}(K) = 90,69547627 e^{-0,00265657 \times 144,25}$$

$$\hat{E}R_{\text{planta}}(K) = 61,82 \%$$

A relação entre a demanda pela planta ($\hat{D}\hat{E}M(X)_{\text{planta}}$) e a eficiência de recuperação ($\hat{E}R_{\text{planta}}(X)$) fornece o requerimento pela planta para uma definida produtividade

$(\hat{R}EQ(X)_{planta})$, que representa a quantidade de nutriente necessária por hectare, para atender a demanda da planta (Eq.22).

$$\hat{R}EQ(N)_{planta} = 237,85 \times \frac{100}{65,91}$$

$$\hat{R}EQ(N)_{planta} = 360,9 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$\hat{R}EQ(P)_{planta} = 35,34 \times \frac{100}{32,95}$$

$$\hat{R}EQ(P)_{planta} = 107,3 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$\hat{R}EQ(K)_{planta} = 144,25 \times \frac{100}{61,82}$$

$$\hat{R}EQ(K)_{planta} = 233,3 \text{ kg ha}^{-1}$$

3.3.2. Dose de segurança

Será considerada uma dose de segurança de 3 % para N e K, e não será considerada dose de segurança para P (Eq.50).

$$\hat{R}EQ(N)_{d.s.} = 360,9 \times \frac{3}{100}$$

$$\hat{R}EQ(N)_{d.s.} = 10,8 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$\hat{R}EQ(P)_{d.s.} = 107,3 \times \frac{0}{100}$$

$$\hat{R}EQ(P)_{d.s.} = 0,0 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$\hat{R}EQ(K)_{d.s.} = 233,3 \times \frac{3}{100}$$

$$\hat{R}EQ(K)_{d.s.} = 7,0 \text{ kg ha}^{-1}$$

Com os dados de nutrientes requeridos pela cultura e requerimento para dose de segurança, calcula-se o requerimento para o cultivo, ou seja, o subsistema requerimento (Eq.21).

$$\hat{R}EQ(N)_{total} = 360,9 + 10,8 = 371,7 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$\hat{R}EQ(P)_{total} = 107,3 + 0,0 = 107,3 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$\hat{R}EQ(K)_{total} = 233,3 + 7,0 = 240,3 \text{ kg ha}^{-1}$$

3.4. Balanço Nutricional

O balanço nutricional é a diferença entre o requerimento total e o suprimento total de nutrientes (Eq.51), cabendo ressaltar que, quando o balanço nutricional for positivo, indica deficiência do elemento e, conseqüentemente, necessidade de adubação.

$$\hat{B}N_N = 371,7 - 149,1 = 222,6 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$\hat{B}N_P = 107,3 - 19,14 = 88,2 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$\hat{B}N_K = 240,3 - 131,2 = 109,1 \text{ kg ha}^{-1}$$

3.5. Dose recomendada

Quando o balanço nutricional for positivo, a dose recomendada será igual ao balanço, portanto, têm-se:

$$\hat{D}R_N = \hat{B}N_N = 222,6 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$\hat{D}R_P = \hat{B}N_P = 88,2 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$\hat{D}R_K = \hat{B}N_K = 109,1 \text{ kg ha}^{-1}$$

Como todos os dados são fornecidos na forma elementar do nutriente, os resultados também o são. No entanto, para efeito prático, as doses de P e K serão convertidas para a forma de óxidos (Eq.52, 53).

$$\hat{D}R_{P_2O_5} = 2,2913 \times 88,2 = 202,1 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$\hat{D}R_{K_2O} = 1,2046 \times 109,1 = 131,4 \text{ kg ha}^{-1}$$

A dose elevada de P_2O_5 deve-se à sua baixa disponibilidade no solo, que além de arenoso apresentava apenas $1,8 \text{ mg dm}^{-3}$ de P por Mehlich-1.

3.6. Nível crítico do nutriente

Para determinar o nível crítico no solo ($N_i C_{rit}$) suficiente para sustentar a produtividade de 300 @ ha⁻¹ (Eq.56), utiliza-se a equação, ou o valor médio da taxa de recuperação pelo extrator do nutriente aplicado ao solo (Quadro 1). Para P e K foi calculado o $N_i C_{rit}$ para o extrator Mehlich-1.

$$N_i C_{rit}(P) = \frac{107,3}{2} \times (0,0672821 + 0,0121615 \times 24)$$

$$N_i C_{rit}(P) = 19,3 \text{ mg dm}^{-3}$$

$$N_i C_{rit}(K) = \frac{233,3}{2} \times (0,6555 + 0,0068 \times 24)$$

$$N_i C_{rit}(K) = 95,5 \text{ mg dm}^{-3}$$

3.7. Cálculo para os demais nutrientes

Os resultados para determinação dos demais nutrientes (Quadro 15) foram obtidos de modo análogo aos utilizados para N, P e K, diferindo-se, apenas, para Ca e Mg, em que foi incluído o fornecimento desses nutrientes pela calagem, que geralmente é uma prática essencial ao cultivo do algodão em solos, geralmente ácidos e pobres em Ca e Mg.

Quadro 15. Valores de níveis críticos ($N_i C_{rit}$), suprimento de nutrientes pela calagem, solo e resíduos orgânicos, requerimento pela planta e para dose de segurança, balanço nutricional e dose recomendada

Nutriente	$N_i C_{rit}$	Suprimento			Requerimento		Balanço nutricional	Dose ⁽¹⁾ recomendada
		Calagem	Solo	Res. org.	Planta	D. seg.		
	⁽²⁾	----- kg ha ⁻¹ -----						
N	⁽³⁾	-	71,6	77,5	360,9	10,8	222,6	222,6
P ⁽⁴⁾	19,3	-	10,0	9,1	107,3	-	88,2	88,2
K ⁽⁵⁾	95,5	-	61,1	70,1	233,3	7,0	109,1	109,1
Ca	0,34	909,8	417,7	40,7	179,3	-	- 1.190,0	0,0
Mg	0,17	242,4	60,8	20,5	51,8	-	- 272,2	0,0
S	6,4	-	36,2	8,6	72,6	-	27,8	27,8
Cu	1,0	-	2,3	0,084	2,6	-	0,2	0,2
Fe	5,9	-	121,2	0,772	23,4	-	- 98,6	0,0
Zn	1,9	-	218,1	0,257	10,4	-	- 208,0	0,0
Mn	2,9	-	142,4	0,133	11,6	-	- 130,9	0,0
B	0,8	-	0,8	0,105	4,0	-	3,1	3,1

⁽¹⁾ Dose de nutriente recomendada para uma produtividade de 300 @ ha⁻¹ (4.500 kg ha⁻¹).

⁽²⁾ Para P, K, S, Cu, Fe, Zn, Mn e B, mg dm⁻³ e para Ca e Mg, cmol_c dm⁻³.

⁽³⁾ Para o N não foi possível o estabelecimento de nível crítico, uma vez que não está sendo considerada análise de N do solo.

⁽⁴⁾ Dose recomendada de P.

⁽⁵⁾ Dose recomendada de K.

3.8. Comparação entre recomendações do FERTICALC[®] Algodoeiro e outros métodos

Para comparar os resultados gerados pelo FERTICALC[®] Algodoeiro e os de algumas publicações de grande circulação no Brasil, foi desconsiderada a contribuição dos resíduos orgânicos e adotada a dose de segurança como zero, a fim de evitar confundimento durante as comparações, uma vez que os outros métodos de recomendação não contemplam essas variáveis.

O resultado de análise de solo utilizada pelo sistema é de um solo do cerrado brasileiro, parcialmente corrigido e cultivado durante sete anos com lavouras de arroz, soja e sorgo (Quadro 16), sendo esta, empregada para obtenção das recomendações pelo FERTICALC[®] Algodoeiro e pelos outros métodos de recomendação (Quadro 17).

Quadro 16. Resultado da análise química e física de um solo do cerrado brasileiro parcialmente corrigido

pH	P ⁽¹⁾	K ⁽¹⁾	Al ³⁺ ⁽²⁾	Ca ²⁺ ⁽²⁾	Mg ²⁺ ⁽²⁾	H+Al	SB	t	T	V	m
H ₂ O	-- mg dm ⁻³ --		----- cmol _c dm ⁻³ -----			-----			----- % -----		
5,1	15	66	0,3	1,3	0,5	3,6	1,97	2,27	5,57	35,4	13,2
S ⁽³⁾	Zn ⁽¹⁾	Fe ⁽¹⁾	Mn ⁽¹⁾	Cu ⁽¹⁾	B ⁽⁴⁾	P _{rem-60}	C.O.	M.O.	Areia	Silte	Argila
----- mg dm ⁻³ -----		-----			mg L ⁻¹		-- dag kg ⁻¹ --		----- % -----		
2,3	1,5	25,3	2,4	0,2	0,2	22	1,3	1,8	70,5	6,0	23,5

⁽¹⁾ Extrator Mehlich-1.

⁽²⁾ Extrator KCl 1 mol L⁻¹.

⁽³⁾ Extrator Ca(H₂PO₄)₂ em HOAc (1:2,5).

⁽⁴⁾ Extrator água quente.

Uma das vantagens do FERTICALC[®] Algodoeiro é o resultado mais pontual e com especificidade para cada situação simulada que, contrariamente às tabelas, contempla situações com maior número de variáveis relativas ao solo, cultivar e produtividade, e, além de tudo, permite ao usuário inserir dados específicos de sua lavoura, cultivar ou região, tornando a dose a ser recomendada mais exata. Além disso, existem situações em que a quantidade de nutrientes no solo e, ou, nos resíduos orgânicos é suficiente para o suprimento de nutrientes necessários à produtividade desejada. Isso torna a utilização do fertilizante mais racional e econômica. Fato não contemplado pelas tabelas ou manuais de recomendações de fertilizantes.

Além da diminuição dos custos com a redução da dose, evitando gastos desnecessários, evita também a possível ocorrência de toxidez causada por alguns elementos, principalmente micronutrientes, e, em especial, o boro; sendo as doses recomendadas pela Fundação MT (2001) elevadas (Quadro 17) e, apesar da mobilidade do B no solo, doses elevadas podem aumentar perigosamente seu teor na região das raízes, sendo que doses superiores a 1,6 kg ha⁻¹ de B por ano durante um período de nove anos proporcionaram decréscimo na produtividade do algodoeiro de até 13 % (Silva et al., 1995c, citado por Silva, 1999). Neste caso, a dose recomendada de 2,9 kg ha⁻¹ pelo FERTICALC[®] Algodoeiro deve-se ao baixo teor do elemento no solo e à elevada produtividade desejada. Com a adição de boro, elevando-se o teor no solo para os próximos cultivos, a dose recomendada pelo FERTICALC[®] Algodoeiro será menor, podendo chegar a ser nula.

Contudo, para produtividades elevadas as doses de nutrientes recomendadas pelo FERTICALC[®] Algodoeiro (Quadro 17) aumentam consideravelmente, principalmente em função do aumento da demanda pela planta. No entanto, as doses recomendadas pelas tabelas não aumentam na mesma proporção, evidenciando um descompasso entre as recomendações das tabelas e as produtividades desejadas, podendo ser uma das razões para a baixa produtividade média do País.

No entanto, as doses aparentemente elevadas de N, na realidade, não o são, pois, segundo Carvalho (1996) o N é um dos nutrientes mais importantes para o algodoeiro, contribuindo para o crescimento da planta, formação de ramos, floração, frutificação, de semente e qualidade de fibra, estando o seu fornecimento atrelado em grande parte ao aumento de produtividade. Segundo Berger (1969), citado por Carvalho (1996), aplicações de 400 kg ha⁻¹ de N em solos franco-arenosos no estado do Alabama permitiram atingir uma produtividade de 5.982 kg ha⁻¹ (399 @ ha⁻¹), recomendação semelhante do FERTICALC[®] Algodoeiro.

Quadro 17. Recomendações de adubação para cultura do algodoeiro de alguns autores, empresas, boletins e do FERTICALC[®] Algodoeiro

Prod. ⁽¹⁾ @ ha ⁻¹	N ⁽²⁾	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Zn	Mn	Cu	B	V _d ⁽³⁾ %	Fonte
----- kg ha ⁻¹ -----										
100	40 - 50	40 - 70	30 - 50	(5)	(5)	(5)	(5)	0,6	(5)	Carvalho (1996)
147 ⁽⁴⁾	30 - 60	80	40	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	Silva & Raij (1996)
150	50 - 80	70	70 - 100	30	(5)	(5)	(5)	1,0	60	Pedroso Neto et al. (1999)
160	40 - 80	100	60	20 - 40	0	(5)	(5)	1,0	60	Raij et al. (1996)
160	45 - 90	20	50	20 - 30	(5)	(5)	(5)	0,9	55	EMBRAPA (2001)
300	110 - 150	90 - 130	160 - 220	70 - 80	2 - 3	2 - 3	0,7 - 1,2	4 - 6	50	Fundação MT (2001)
100	33	20	0	1	0	0	0,4	0,3	50	FERTICALC [®] Algodoeiro
150	78	20	0	11	0	0	0,8	0,8	50	FERTICALC [®] Algodoeiro
200	140	20	0	22	0	0	1,2	1,5	55	FERTICALC [®] Algodoeiro
250	222	20	23	34	0,6	0,4	1,7	2,2	55	FERTICALC [®] Algodoeiro
300	309	40	83	45	2,2	2,0	2,1	2,9	60	FERTICALC [®] Algodoeiro
350	384	93	139	54	3,7	3,4	2,5	3,6	60	FERTICALC [®] Algodoeiro
400	452	144	189	61	5,1	4,6	2,9	4,1	60	FERTICALC [®] Algodoeiro

⁽¹⁾ Produtividade de algodão em caroço.

⁽²⁾ Nitrogênio recomendado para todo o ciclo da cultura, ou seja, (N_{plântio} + N_{cobertura}).

⁽³⁾ V_d – Saturação por bases desejada para recomendação de calagem pelo método de saturação por bases.

⁽⁴⁾ Valor médio da faixa de produtividade esperada.

⁽⁵⁾ Valor não disponível ou não recomendado.

3.9. Análise de sensibilidade do sistema

A análise de sensibilidade tem o objetivo de verificar qual(is) variável(is) está(ão) influenciando de forma mais expressiva a dose final recomendada pelo FERTICALC[®] Algodoeiro, para cada nutriente. Deste modo, para avaliar o sistema fixou-se os valores de todas as variáveis que interferem na dose do nutriente, com exceção de uma, a variável de interesse, à qual foram atribuídos diversos valores, em ordem crescente (Quadro 18), observando-se a variação ocasionada na dose.

Nota-se que, de modo geral, a produtividade e o teor do elemento no solo são as variáveis que mais interferem na dose final apresentando as maiores inclinações, sendo que o aumento da produtividade propicia grande aumento na dose recomendada e o aumento teor do elemento no solo grande redução na recomendação (Figuras 2 a 12), levando a maiores produtividades quando os cultivos são efetuados em solos já corrigidos.

Quadro 18. Magnitude de variação das variáveis utilizadas na análise de sensibilidade do FERTICALC[®] Algodoeiro

Variável		Magnitude de variação								
		0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Produtividade	@ ha ⁻¹	-	-	100	150	200	250	300	350	400
Resíduos orgânicos	kg ha ⁻¹	0	750	1.500	2.250	3.000	3.750	4.500	5.250	6.000
Dose de segurança	%	0	2	4	6	8	10	12	14	16
P _{rem-60}	mg L ⁻¹	-	5	10	15	20	25	30	35	40
Matéria orgânica	dag kg ⁻¹	0	0,75	1,50	2,25	3,00	3,75	4,50	5,25	6,00
P (Mehlich-1)	mg dm ⁻³	0	5	10	15	20	25	30	35	40
K (Mehlich-1)	mg dm ⁻³	0	10	20	30	40	50	60	70	80
Ca (KCl)	cmol _c dm ⁻³	0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
Mg (KCl)	cmol _c dm ⁻³	0	0,025	0,050	0,075	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200
S (Ca(H ₂ PO ₄))	mg dm ⁻³	0	0,75	1,50	2,25	3,00	3,75	4,50	5,25	6,00
Cu (Mehlich-1)	mg dm ⁻³	0	0,125	0,250	0,375	0,500	0,625	0,750	0,875	1,000
Fe (Mehlich-1)	mg dm ⁻³	0	0,75	1,50	2,25	3,00	3,75	4,50	5,25	6,00
Zn (Mehlich-1)	mg dm ⁻³	0	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
Mn (Mehlich-1)	mg dm ⁻³	0	0,3125	0,6250	0,9375	1,2500	1,5625	1,8750	2,1875	2,5000
B (Água quente)	mg dm ⁻³	0	0,125	0,250	0,375	0,500	0,625	0,750	0,875	1,000

A dose de segurança tem pouca influência na dose final.

Para o N, K, Ca, Mg e S, o aumento da quantidade de resíduos orgânicos apresenta grande contribuição para redução da dose final desses nutrientes, enquanto que para os micronutrientes e para fósforo a influência dos resíduos orgânicos é pouco expressiva.

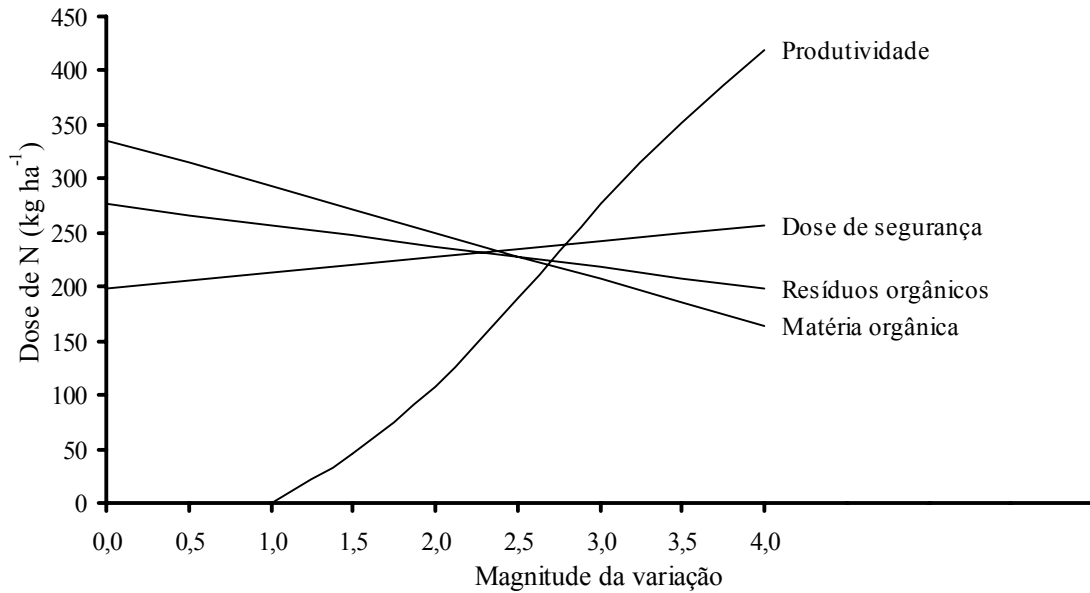


Figura 2. Análise de sensibilidade da dose de nitrogênio estimada em função da variação dos valores das variáveis que a influenciam.

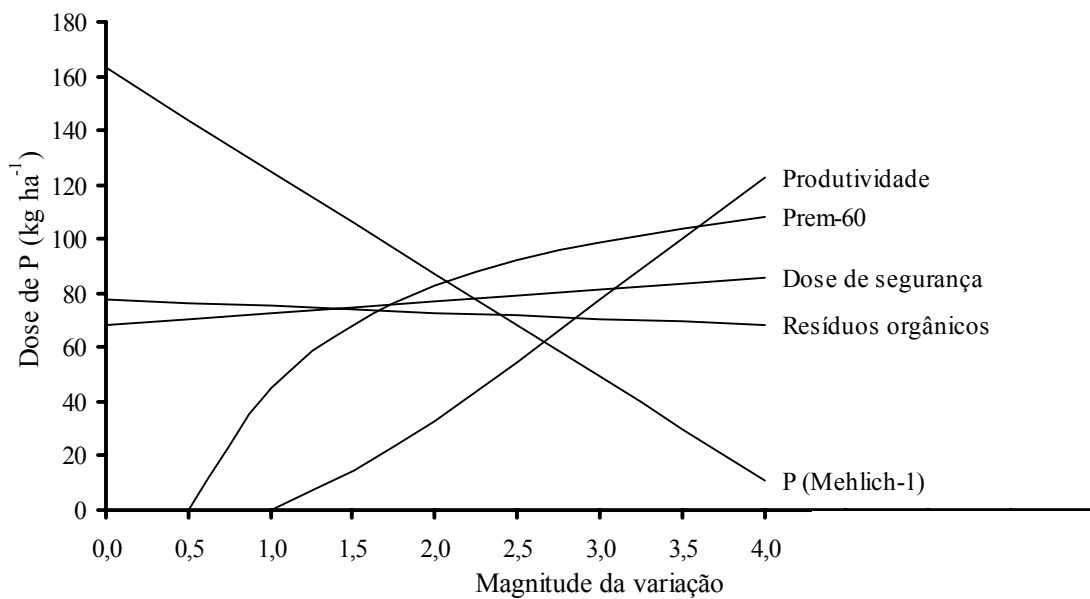


Figura 3. Análise de sensibilidade da dose de fósforo estimada em função da variação dos valores das variáveis que a influenciam.

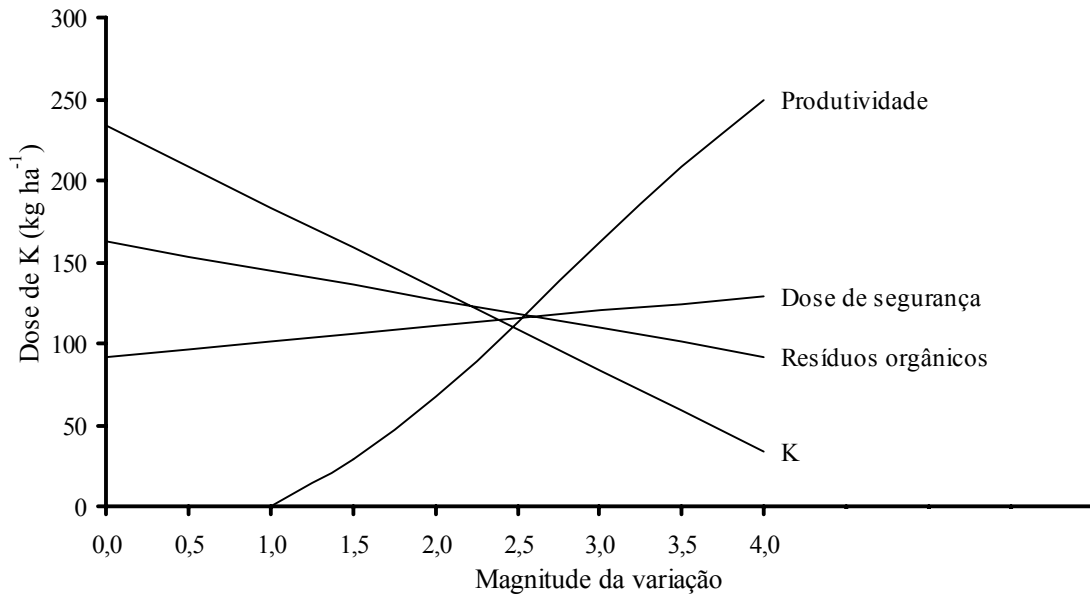


Figura 4. Análise de sensibilidade da dose de potássio estimada em função da variação dos valores das variáveis que a influenciam.

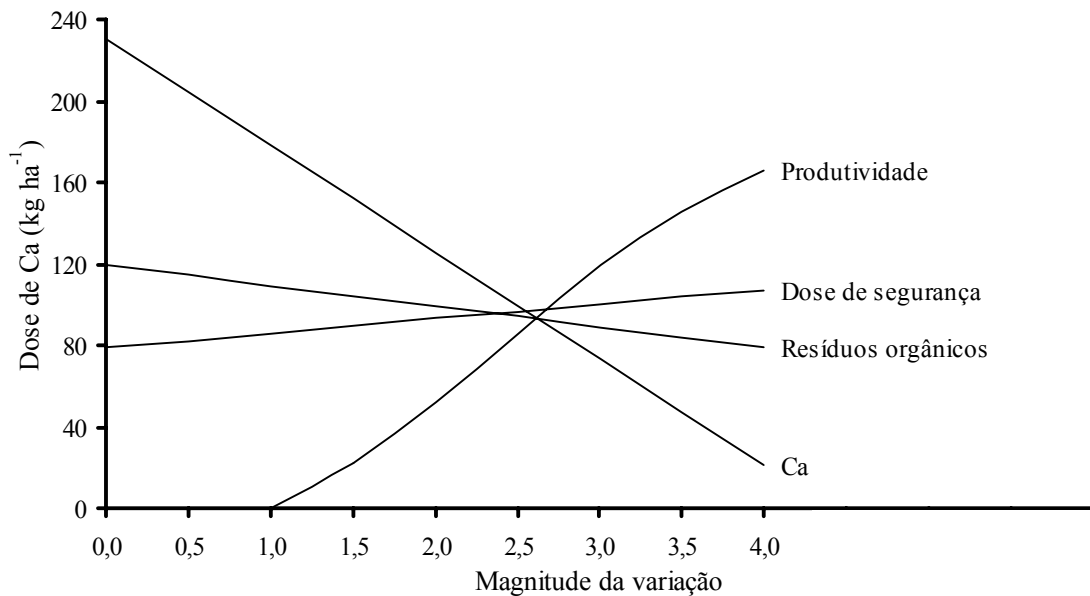


Figura 5. Análise de sensibilidade da dose de cálcio estimada em função da variação dos valores das variáveis que a influenciam.

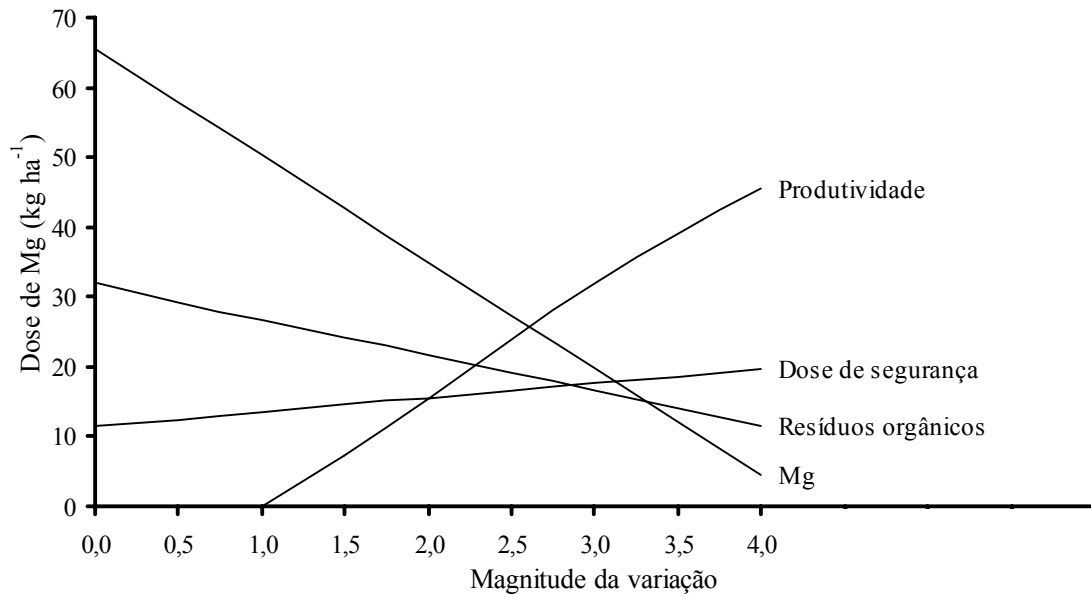


Figura 6. Análise de sensibilidade da dose de magnésio estimada em função da variação dos valores das variáveis que a influenciam.

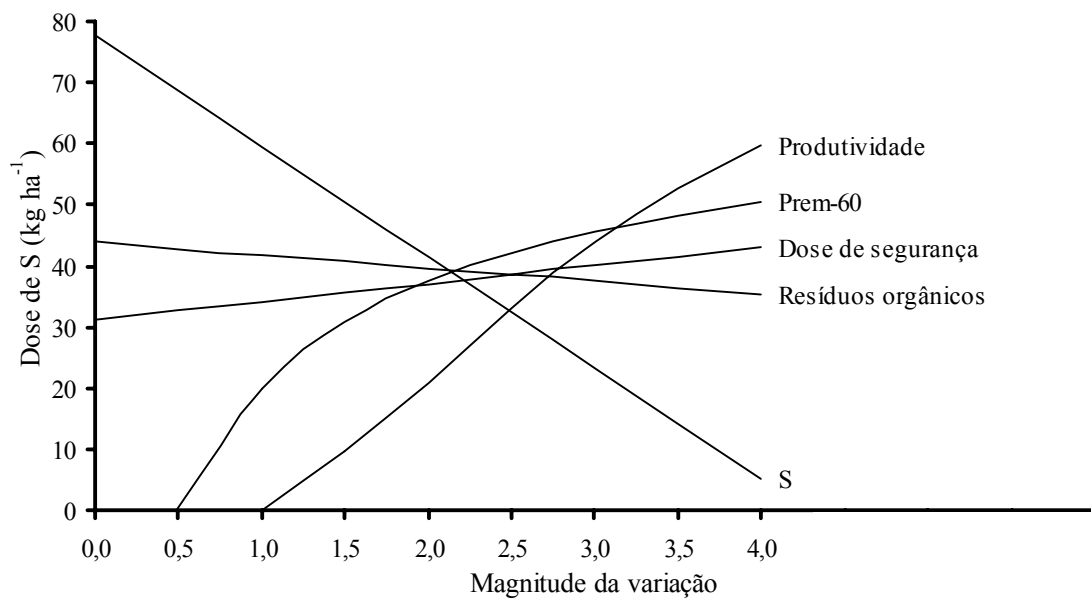


Figura 7. Análise de sensibilidade da dose de enxofre estimada em função da variação dos valores das variáveis que a influenciam.

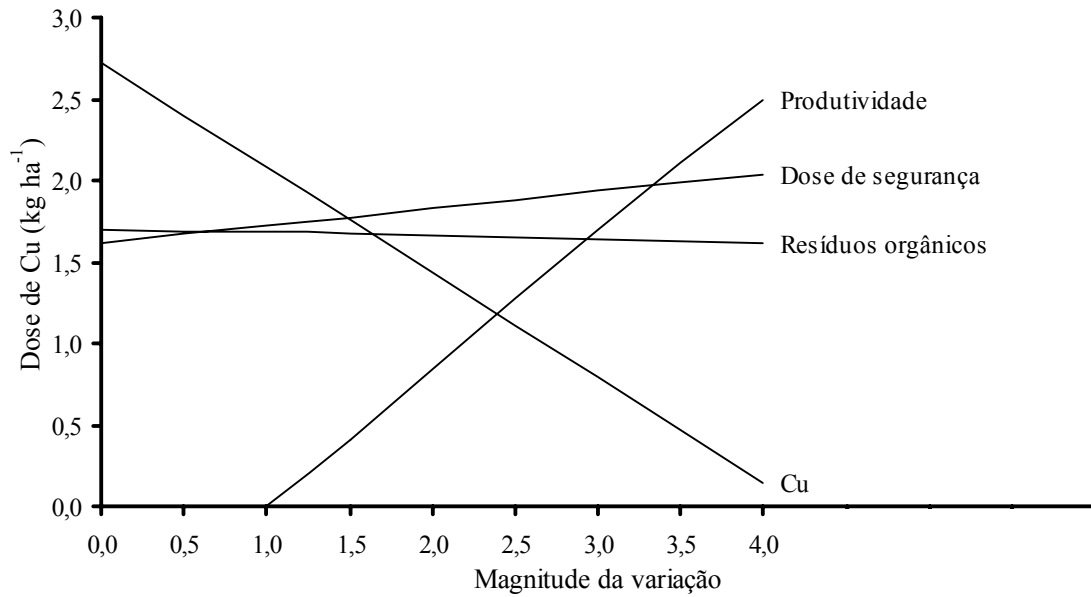


Figura 8. Análise de sensibilidade da dose de cobre estimada em função da variação dos valores das variáveis que a influenciam.

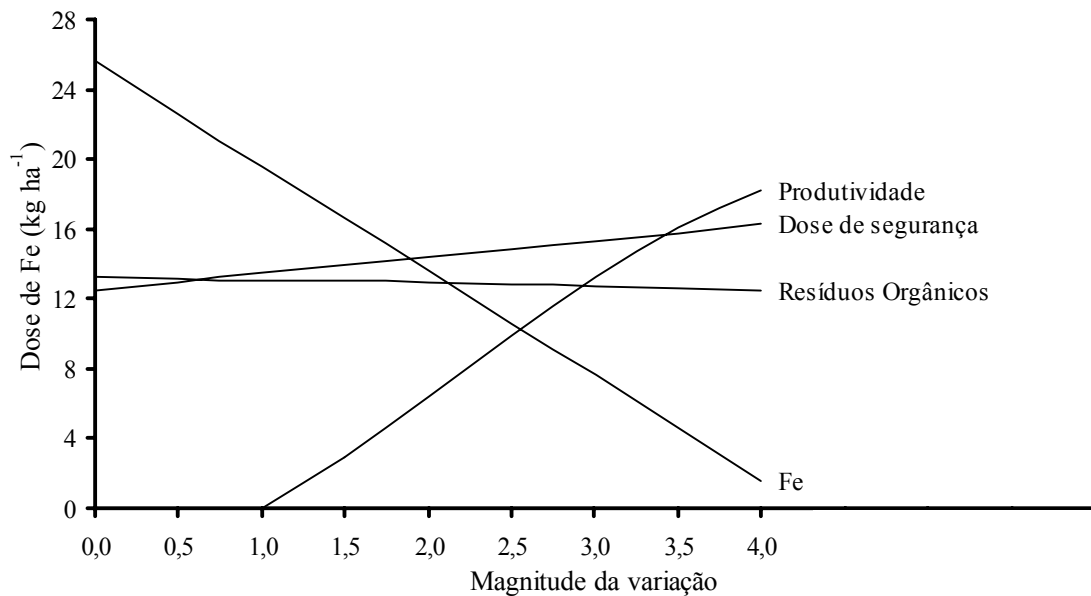


Figura 9. Análise de sensibilidade da dose de ferro estimada em função da variação dos valores das variáveis que a influenciam.

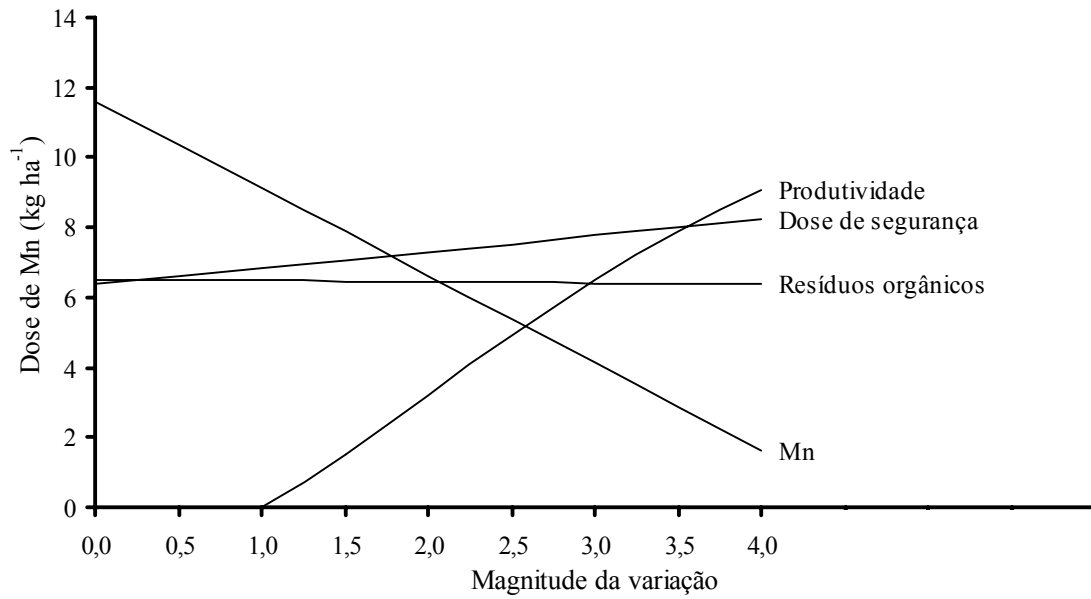


Figura 10. Análise de sensibilidade da dose de manganês estimada em função da variação dos valores das variáveis que a influenciam.

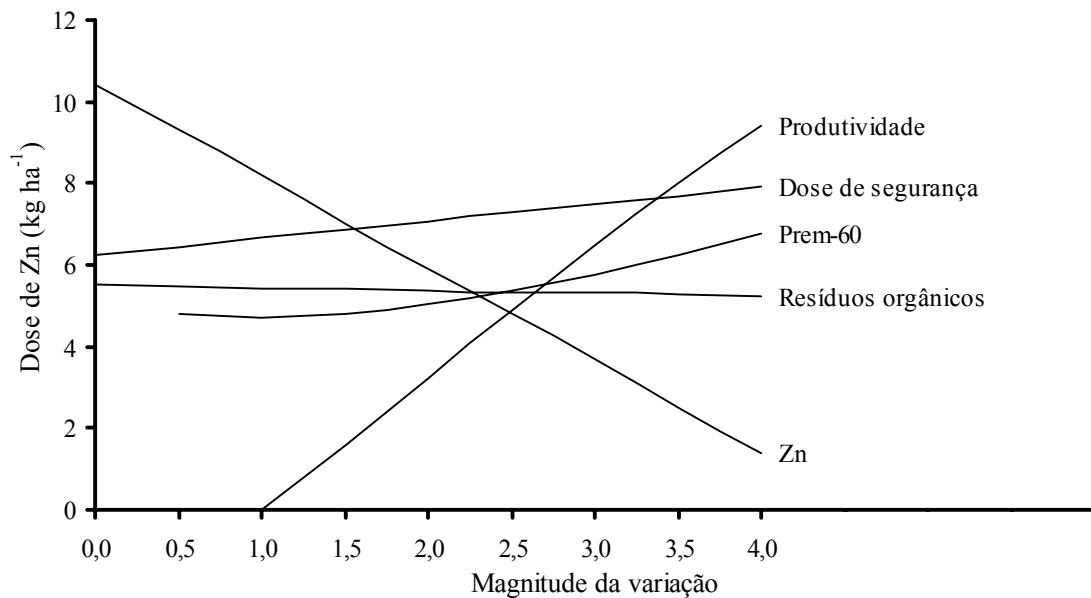


Figura 11. Análise de sensibilidade da dose de zinco estimada em função da variação dos valores das variáveis que a influenciam.

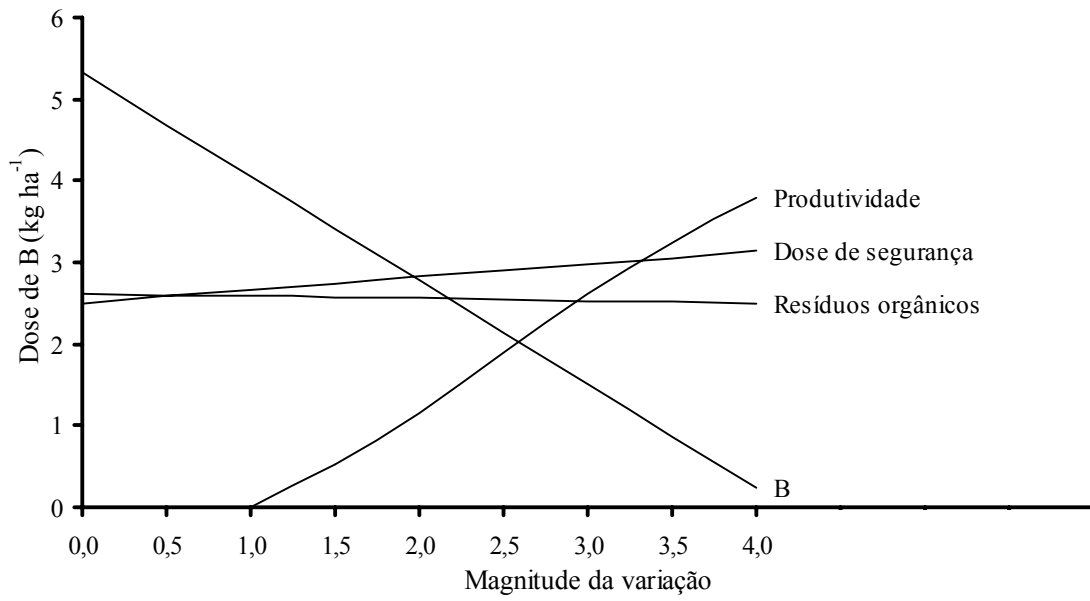


Figura 12. Análise de sensibilidade da dose de boro estimada em função da variação dos valores das variáveis que a influenciam.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Na atualidade, as recomendações de adubação para o cultivo do algodoeiro são baseadas em tabelas, em alguns *softwares* que fazem a interpolação dos dados provenientes destas tabelas, e na experiência prática de técnicos, produtores e pesquisadores, sendo evidente o empirismo na definição de doses de nutrientes, além de não considerar algumas características do solo e planta.

O sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para o cultivo do algodoeiro (FERTICALC[®] Algodoeiro) baseia-se no balanço nutricional entre a demanda da planta e o suprimento de nutrientes pelo solo e pelos resíduos orgânicos, quando presentes na área. A demanda da planta pode ser acrescida de uma dose de segurança, visando cobrir variações ou erros não contemplados pelo sistema.

As recomendações estimadas pelo FERTICALC[®] Algodoeiro para o N apresentaram-se semelhantes às recomendadas pelas tabelas para produtividades inferiores a 200 @ ha⁻¹, sendo que para produtividades superiores a esta, as recomendações são consideravelmente maiores, porém em concordância com resultados de experimentos que demonstraram que doses elevadas de N propiciaram produtividades também elevadas. Para fósforo, o FERTICALC[®] Algodoeiro recomenda doses ligeiramente menores que as tabelas para produtividades baixas e doses similares às recomendadas pela Fundação MT (2001) para produtividades elevadas (300 @ ha⁻¹). As recomendações de K pelo FERTICALC[®] Algodoeiro foram inferiores àquelas indicadas

por todos os métodos, para solos com teor de K elevado, e superiores para solos deficientes em K.

Pela análise de sensibilidade do sistema FERTICALC[®] Algodoeiro, observou-se que a produtividade e o teor do elemento no solo são os fatores que mais alteram a dose recomendada, sendo que o aumento da produtividade propicia grande aumento da dose e, o contrário, para o teor do elemento no solo. Estas observações estão em concordância com as tendências propostas pelas tabelas, no entanto, com diferentes magnitudes.

Ao contrário da produtividade, ou do teor do elemento no solo, a dose de segurança tem pouca influência sobre a dose final do nutriente. Por outro lado, a quantidade de resíduos orgânicos apresenta grande influência na redução da dose de N, K, Ca, Mg e S e muito pouca influência na redução da dose de P, Cu, Fe, Zn, Mn e B, dados os baixos teores destes nutrientes nos resíduos.

Os resultados obtidos pelo FERTICALC[®] Algodoeiro permitem a otimização do uso de corretivos e fertilizantes, considerando as variações das condições de solo, planta e metas de produtividade, de forma contínua. Contudo, o FERTICALC[®] Algodoeiro pode ser melhorado pela inclusão de novos dados, buscando tornar o sistema mais específico para cada situação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAYE, A.O. Potassium fertilization of cotton. Virginia Tech. Virginia Cooperative Extension. 1996. Disponível em: <<http://www.ext.vt.edu/pubs/rowcrop/418-025/418-025.html>>. Acessado em: 15 jun. 2002.
- ALVAREZ V., V.H. & RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação. Viçosa, CFSEMG, 1999. p.43-60.
- ARANA, M; DEPETERS, E; FADEL, J; PAREAS, J; PEREZ-MONTI, H; OHANESIAN, N; ETCHEBARNE, M; HAMILTON, C; HINDERS, R; MALONEY, M. OLD, C & RIORDAN, T. Comparing cotton by-products for dairy feed rations. Dairy Business Communications. 2000. Disponível em: <<http://www.dairybusiness.com/western/oct00/byproducts3.htm>>. Acesso em: 15 jun. 2002.
- ARANTES, N.E.; PENNA, J.C.V. & SILVA, C.M. Guia técnico de campo: algodão e soja. Belo Horizonte, APSEMG, 1998. 174p.
- AZEVEDO, D.M.P.; NÓBREGA, L.B.; VIEIRA, D.J. BEZERRA, J.R.C.; ALVES, I. & PEREIRA, J.R. Efeito do parcelamento do cloreto de mepiquat no crescimento e na produção do algodoeiro irrigado no sertão do estado da Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 1:491-493.

- BAHIA FILHO, A.F.C. Índices de disponibilidade de fósforo em solos Latossolos do planalto central com diferentes características texturais e mineralógicas. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1982. 179p. (Tese de Doutorado)
- BAKER, R.D.; BALL, S.T. & FLYNN, R. Soil analysis: a key to soil nutrient management. Guide A-137. 1997. Disponível em: <<http://www.cahe.nmsu.edu/>>. Acesso em: 15 jun. 2002.
- BELTRÃO, N.E.M.; BENASSI, A.C.; COSTA, J.N. & PEREIRA, J.R. Algodão no estado do Espírito Santo, comportamento de cultivares e linhagens quanto a produtividade e qualidade da fibra. I. Condição de Sequeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 2:693-696.
- BELTRÃO, N.E.M.; PEREIRA, J.R. & OLIVEIRA, J.N. Comportamento de cultivares precoces de algodão, com resistência ao bicudo em várias densidades de plantio no Cariri do Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 1:612-614.
- BELTRÃO, N.E.M.; SILVA, O.R.R.F.; RIBEIRO, V.G.; VASCONCELOS, O.; AZEVÊDO, D.M.P.; VIEIRA, D.J.; NÓBREGA, L.B.; SANTOS, J.W.; QUEIROZ, J.C. & PAULA, D.F. Agroecologia da adubação mineral NP na cotonicultura herbácea no sudoeste da Bahia. In: REUNIÃO NACIONAL DO ALGODÃO, 8., Londrina, 1995. Anais. Londrina, IAPAR, 1995. p.117.
- BELTRÃO, N.E.M.; VASCONCELOS, O.L.; RIBEIRO, V.G. & PEREIRA, J.R. Regulador de crescimento (dosagens e fracionamento) em algodoeiro de elevada tecnologia, irrigado via pivô central. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 1:510-513.
- BENASSI, A.C.; BELTRÃO, N.E.M.; COSTA, J.N. & PEREIRA, J.R. Algodão no estado do Espírito Santo, comportamento de cultivares e linhagens quanto a produtividade e qualidade da fibra. II. Condição de Irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 2:697-699.

- BISSANI, C.A. & TEDESCO, M.J. O enxofre no solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 17., Londrina, 1988. Anais. Londrina, EMBRAPA-CNPSO/IAPAR/SBCS, 1988. p.11-29.
- BOQUET, D.J. & BREITENBECK, G.A. Nitrogen rate effect on partitioning of nitrogen and dry matter by cotton. *Crop Science Crop Ecology, Production & Management*. Disponível em: <http://crop.scijournals.org/cgi/content/full/40/6/1685?maxtoshow=&HITS=150&hits=150&RESULTFORMAT=&titleabstract=cotton&searchid=1041163639505_28&stored_search=&FIRSTINDEX=0>. Acesso em: 29 dez. 2002.
- BORKERT, C.M.; GAUDÊNIO, C.A.; PEREIRA, J.E. & OLIVEIRA Jr., A. Nutrientes minerais da biomassa da parte aérea de culturas de cobertura de solo para semeadura direta com rotação de culturas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., Brasília, 1999. Anais. Brasília, SBCS/EMBRAPA-CPAC, 1999. (CD-ROM)
- BOWMAN, D.T. Variety selection. *North Carolina Cotton Production Guide*, 2002. Disponível em: <http://ipm.ncsu.edu/production_guides/cotton>. Acesso em: 02 jun. 2002.
- BRASIL. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. Secretaria de política agrícola. Estatísticas agrícolas: Agricultura brasileira em números – Anário 2000. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/spa/indice03.htm>>. Acesso em: 30 abr. 2002.
- BRASIL. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. Secretaria de política agrícola. Estatísticas agrícolas: Agricultura - Produção, Área, Rendimento, Importações, Exportações, Principais Estados Produtores - Brasil - 1992 a 2001. 2001. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 18 dez. 2002.
- BRUNO, R.L.A.; LOPES, K.P.; LIMA, A.A.; QUEIROGA, V.P. & SOUZA, A.A. Qualidade de sementes do algodoeiro colorido e tradicional da cv. CNPA 7H. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 2:934-937.
- BUREAU, M.F.; MEDERSKI, J. & EVANS, C.E. The effects of phosphatic fertilizer materials and soil phosphorus level on the yield and phosphorus uptake of soybeans. *Agron. J.*, 45:150-154, 1953.

- CAMPELLO, M.R. Avaliação da reversibilidade de fósforo não-lábil para lábil em solos com diferentes características químicas, físicas e mineralógicas. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1993. 63p. (Tese de Mestrado)
- CAMPOS, T.G.; OLIVEIRA, F.A.; SILVA, O.R.R.F. & SANTOS, J.W. Efeito de doses e época de aplicação de nitrogênio-sulfato de amônio sobre o algodoeiro irrigado. In: REUNIÃO NACIONAL DO ALGODÃO, 8., Londrina, 1995. Anais. Londrina, IAPAR, 1995. p.119.
- CARVALHO, F.T. Sistema de interpretação de análise de solo para recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura do milho. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2000. 96p. (Tese de Mestrado)
- CARVALHO, L.H. & CHIAVEGATO, E.J. A cultura do algodão no Brasil: fatores que afetam a produtividade. In: CIA, E.; FREIRE, E.C. & SANTOS, W.J., eds. Cultura do algodoeiro. Piracicaba, Potafos, 1999. p.1-8.
- CARVALHO, L.H. & FURLANI Jr, E. Sistema de produção do algodão mecanizado. In: SEMINÁRIO ESTADUAL COM A CULTURA DO ALGODÃO EM MATO GROSSO, 3., Cuiabá, 1996. Anais. Cuiabá, EMPAER-MT, 1996. p.105-113.
- CARVALHO, L.H.; SILVA, N.M.; CHIAVEGATO, E.J.; CIA, E.; SABINO, N.P.; KONDO, J.I.; FURLANI Jr., E.; GALLO, P.B. & PETTINELLI Jr., A. Efeito do cloreto de mepiquat e do espaçamento em cultivares de algodoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 1:484-487.
- CARVALHO, M.A.C.; PAULINO, H.B., FURLANI Jr., E. BUZETTI, S.; SÁ, M.E. & ATHAYDE, M.L.F. Uso da adubação foliar nitrogenada e potássica no algodoeiro. *Bragantia*, 60:239-244, 2001.
- CARVALHO, P.P. Manual do algodoeiro. Lisboa, Instituto de Investigação Científica Tropical, 1996. 282p.
- CERRETA, C.A.; AITA, C.; BRAIDA, J.A.; PAVINATO, A. & SALET, R.L. Fornecimento de nitrogênio por leguminosas na primavera para o milho em sucessão nos sistemas de cultivo mínimo e convencional. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:215-220, 1994.

- CIA, E.; FREIRE, E.C. & SANTOS, W.J. Cultura do algodoeiro. Piracicaba, Potafos, 1999. 286p.
- CIA, E.; FUZATTO, M.G.; KONDO, J.I.; SABINO, N.P.; CHIAVEGATO, E.J.; ERISMANN, N.M.; CARVALHO, L.H.; MARTINS, A.L.M.; PETTINELLI Jr., A.; BOLONHEZI, D.; KASAI, F.S.; SILVA, M.A.; BORTOLETTO, N. & GALLO, P.B. Comportamento de cultivares e linhagens de algodoeiro em regiões produtoras do estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 2:792-794.
- COELHO, A.M. & FRANÇA, G.E. Seja o doutor do seu milho. Nutrição e adubação. In: ARQUIVO DO AGRÔNOMO, 2., Potafos, 1995. p.1-9.
- COELHO, F.S. & VERLENGIA, F. Fertilidade do solo. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973. p.12-200.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação. Viçosa, CFSEMG, 1999. 359p.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Algodão: Comparativo de área, produção e produtividade: safras 2001/02 e 2002/03. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/politica_agricola/Safra/Quadro3.xls>. Acesso em: 10 jan. 2003.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Terceiro levantamento safra 2001/02. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/politica_agricola/Safra/avalia.html>. Acesso em: 26 mai. 2002.
- COOPER, J. The growth and yield of cotton following seven different rotations. In: AUSTRALIAN AGRONOMY CONFERENCE, 9., Wagga wagga, 1998. Disponível em: <<http://www.regional.org.au/au/asa/1998/4/257cooper.htm>> Acesso em: 15 jun. 2002.
- COSTA, A & PIRES, J.R. Avaliação de problemas nutricionais na cultura do algodoeiro em diferentes tipos de solo do estado do Paraná. In: REUNIÃO NACIONAL DO ALGODÃO, 8., Londrina, 1995. Anais. Londrina, IAPAR, 1995. p.113.

- COSTA, A; ZOCOLLER, D.C. & COSTA, M.A.T. Adsorção de boro em oito solos do Paraná e resposta do algodoeiro à adubação boratada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 2:1005-1007.
- COSTA, C.A.S. Mineralização de enxofre orgânico e adsorção de sulfato em solos. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1980. 65p. (Tese de Mestrado)
- COSTA, J.N.; FREIRE, E.C.; ANDRADE, F.P. & ARAÚJO, G.P. Ensaio internacional de variedades de algodoeiro herbáceo conduzido no município de Barbalha, CE, 1999/2000. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 2:847-848.
- COSTA, J.N.; FREIRE, E.C.; ANDRADE, F.P.; SANTANA, J.C.F. & ASSUNÇÃO, J.H. Comportamento de cultivares de algodoeiro herbáceo obtidas em várias instituições de pesquisa do Cone-Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 2:786-788.
- DAVIS Jr., G.V. Composition of Some Beef Cattle Feeds. Disponível em: <<http://www.uaex.edu/publications/pub/fsa3043.htm>>. Acesso em: 29 jun. 2002.
- DONOHUE, S.J. Soil testing and plant analysis. Agronomy Handbook, Virginia Cooperative Extension. 2002. p.75-85.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Algodão: tecnologia de produção / Embrapa Agropecuária Oeste. Embrapa Algodão. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 296p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. O agronegócio do algodão no Brasil / Embrapa Algodão. Brasília, Embrapa Comunicação para transferência de tecnologia, 1999. 489p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Recomendações técnicas para o cultivo do algodoeiro herbáceo de sequeiro (norte de Minas e Nordeste): zonas 11, 17, 43, 49, 55 e 63 / Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasília: EMBRAPA-SPI, 1993. 32p.

- FAGERIA, N.K. Maximizing crop yields. New York, Marcel Dekker, 1992. 271p.
- FARIAS, F.J.C.; FREIRE, E.C. & ARANTES, E.M. BRS Itaúba: Nova Cultivar de algodão para uso na agricultura familiar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 2:762-764.
- FARIAS, F.J.C.; FREIRE, E.C. ARAUJO, A.E. & KLUCK C. Avaliação do ensaio internacional de cultivares do algodoeiro herbáceo nas condições de cerrado do estado do Mato Grosso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 2:744-746.
- FARIAS, F.J.C.; FREIRE, E.C.; LAMAS, F.; ANDRADE, D.F.A. & CIA, E. Avaliação do ensaio nacional de cultivares do algodoeiro herbáceo nas condições do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 2:747-750.
- FARIAS, F.J.C.; FREIRE, E.C.; MARTINS, S.E.; MENDES, E. & VASCONCELOS, M.R.B. Desempenho de cultivares e linhagens de algodoeiro herbáceo no cerrado do Mato Grosso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 2:819-821.
- FARIAS, J.R.B. Modelos de simulação do desenvolvimento da soja. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 21., Dourados, 1999. Ata. Londrina, Empresa brasileira de pesquisa agropecuária, 1999. 6:133-162.
- FERNÁNDEZ ROJAS, I.E.J. Reversibilidade de fósforo não-lábil em diferentes solos, em condições naturais e quando submetidos à redução microbiológica ou química. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 94. (Tese de Doutorado)
- FONTES, P.C.R. Diagnóstico do estado nutricional das plantas. Viçosa, UFV, 2001. 122p.
- FOY, C.D. & BROWN, J.C. Toxic factors on acid soils. I. Characterization of Al toxicity on cotton. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 27:403-405, 1963.

- FREEMAN, D.W. Use of by-product and nontraditional feeds for horses. Oklahoma Cooperative. Disponível em: <<http://www.ansi.okstate.edu/exten/horses/>>. Acesso em: 15 jun. 2002.
- FREIRE, E.C.; FARIAS, F.J.C. & AGUIAR, P.H. Algodão de alta tecnologia no cerrado. In: CIA, E.; FREIRE, E.C. & SANTOS, W.J., eds. Cultura do algodoeiro. Piracicaba, Potafos, 1999. p.181-198.
- FREIRE, E.C.; FARIAS, F.J.C.; ANDRADE, F.P.; SANTANA, J.C.F. & ALENDAR, A. BRS Sucupira: Nova cultivar para o cerrado da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 2:768-769.
- FREIRE, F.J. Sistema para cálculo do balanço nutricional e recomendação de corretivos e fertilizantes para cana-de-açúcar. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 144p. (Tese de Doutorado)
- FREIRE, R.M.M.; ALMEIDA, E.C.; FIGUEIREDO, S.M.; COSTA, J.N. & SANTOS, J.W. Caracterização química de genótipos de algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* H.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 2:778-780.
- FREIRE, R.M.M.; FIGUEIREDO, S.M.; ALMEIDA, E.C.; COSTA, J.N. & SANTOS, J.W. Avaliação química de linhagens e cultivares de algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* H.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 2:757-758.
- FRENEY, J.R.; PEOPLES, M.B. & MOSIER, A.R. Efficient use of fertilizer nitrogen by crops. 1995. Disponível em: <<http://www.agnet.org/library/article/eb414.html>>. Acesso em: 04 jan. 2003.
- FRYXELL, P.A. Taxonomy and Germplasm Resources. In: KOHEL, R.J. & LEWIS, C.F., eds. Cotton. Madison, Soil Science Society of America, 1984. p.27-57.
- FUNDAÇÃO MATO GROSSO – FUNDAÇÃO MT. Anuário brasileiro do algodão: Brazilian cotton yearbook 2001. Rondonópolis, Fundação MT, 2001. 145p.

- FUNDAÇÃO MATO GROSSO – FUNDAÇÃO MT. Boletim de pesquisa de algodão, Rondonópolis, Fundação MT, 2001. 238p. (Boletim de pesquisa, 4)
- FUNDAÇÃO MATO GROSSO – FUNDAÇÃO MT. O algodão no caminho do sucesso. Rondonópolis, Fundação MT, 1997. 107p. (Boletim de pesquisa, 1)
- FURLANI Jr., E; ZANQUETA, R; SILVA, N.M.; CARVALHO, L.H.; KONDO, J.I.; SABINO, N.P. & BARBOSA, M.R. Características da fibra em função de doses e momentos de aplicação de adubo nitrogenado para a cultura do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) IAC 22. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 2:1016-18.
- FUZATTO, M.G. Melhoramento genético do algodoeiro. In: CIA, E.; FREIRE, E.C. & SANTOS, W.J., eds. Cultura do algodoeiro. Piracicaba, Potafos, 1999. p.15-34.
- GRANT, R & KUBIK, D. Supplemental Fat For High Producing Dairy Cows. University of Nebraska-Lincoln. 1996. Disponível em: <<http://www.ianr.unl.edu/pubs/dairy/g961.htm>>. Acesso em: 15 jun. 2002.
- GRIDI-PAPP, I.L. Botânica e genética. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE POTASSA. Cultura e adubação do algodoeiro. São Paulo, 1965. p.117-160.
- HAAS, F.D. Plantio direto, fatores que interferem na eficiência da adubação. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, Passo Fundo, RS, 1997. Resumo de Palestras. 64p.
- HARRIS, G. & BAKER, S. Nitrogen management for cotton following cotton on coastal plain soils. 1997. Disponível em: <<http://hubcap.clemson.edu/~blpprt/>>. Acesso em: 25 mai. 2002.
- HERNANI, L.C.; ENDRES, V.C.; PITOL, C. & SALTON, J.C. Adubos verdes de outono/inverno no Mato Grosso do Sul. Dourados, EMBRAPA-CPAO, 1995. 93p. (Documentos, 4)
- HODGES, S.C. Cotton Fertilization. North Carolina Cooperative Extension Service. 1995. Disponível em: <<http://hubcap.clemson.edu/~blpprt/>>. Acesso em: 25 mai. 2002.

- HODGES, S.C. Fertilization. North Carolina Cotton Production Guide, 2002. Disponível em: <http://ipm.ncsu.edu/production_guides/cotton>. Acesso em: 02 jun. 2002.
- HOWARD, D.D.; ESSINGTON, M.E.; GWATHMEY, C.O. & PERCELL, W.M. Buffering of foliar potassium and boron solutions for no-tillage cotton production. The Journal of Cotton Science, The Cotton Foundation, 4:237-244, 2000. Disponível em: <<http://www.jcotsci.org>>. Acesso em: 30 mai. 2002.
- HOWARD, D.D.; ESSINGTON, M.E.; HAYES, R.M. & PERCELL, W.M. Potassium fertilization of conventional and no-till cotton. The Journal of Cotton Science, The Cotton Foundation, 5:197-205, 2001a. Disponível em: <<http://www.jcotsci.org>>. Acesso em: 30 mai. 2002.
- HOWARD, D.D.; ESSINGTON, M.E.; LOGAN, J.; ROBERTS, R.K. & PERCELL, W.M. Phosphorus and potassium fertilization of disk-till and no-till cotton. The Journal of Cotton Science, The Cotton Foundation, 5:144-155, 2001b. Disponível em: <<http://www.jcotsci.org>>. Acesso em: 28 abr. 2002.
- ICASA - International Consortium for Agricultural Systems Applications. DSSAT: Decision Support System for Agrotechnology Transfer. Disponível em: <<http://icasanet.org/dssat/index.html>>. Acesso em: 29 abr. 2002.
- INSTITUTO DA POTASSA & FOSFATO. Manual internacional de fertilidade do solo / Trad. e adapt: Alfredo Scheid Lopes., ver. ampl. Piracicaba, Potafos, 1998. 177p.
- JACOB, A. & COYLE. The use of fertilizers in tropical and sub-tropical agriculture. London, Ernest Benn, 1931. 127p.
- JACOB, A. & UEXKÜLL, H.V. Fertilización: Nutrición y abonado de los cultivos tropicales y subtropicales. Trad. L. Lopes Martinez de Alva. Internationale Handelmaatschappij voor Meststoffen N.V. Amsterdam C, 1961.
- JENKINSON, D.S.; FOX, R.H. & RAYNER, J.H. Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen – the so-called ‘priming’ effect. J. Soil Sci., 36:425-444, 1985.

- LALMAN, D. Alternative Feeds for Beef Cows and Stockers. University of Missouri-Columbia. Disponível em: <<http://www.missouri.edu/~anscbeef>>. Acesso em: 15 jun. 2002.
- LAMAS, F.M. & STAUT, L.A. Adubação nitrogenada e regulador de crescimento no algodoeiro em sistema plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 2:934-937.
- LAMAS, F.M. Reguladores de crescimento na cultura do algodoeiro: comparação entre produtos e formas de fracionamento de doses. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 1:514-518.
- LOPES, A.S. & CARVALHO, J.G.de. Micronutrientes: critérios de diagnose para solo e planta, correção de deficiências e excessos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 17., Londrina, 1988. Anais. Londrina, EMBRAPA-CNPSO/IAPAR/SBCS, 1988. p.133-178.
- LOPES, A.S. Manual de Fertilidade do solo. São Paulo, ANDA/Potafos, 1989. 155p.
- LOPES, A.S. Manual internacional de fertilidade do solo. Piracicaba, Potafos, 1998. 177p.
- MAGALHÃES, R.T. Evolução das propriedades físicas e químicas de solos submetidos ao manejo pelo Sistema Barreirão. Goiânia, Universidade Federal de Goiás, 1997. 86p. (Tese de Mestrado)
- MAITLAND, J.C.; HERBERT, D.A.; PHIPPS, P.; SWANN, C. & ROBERTS, M. Virginia Cotton Production Guide. Virginia Cooperative Extension, 424:200. 2002. Disponível em: <<http://www.ext.vt.edu/pubs/cotton/424-200-02/424-200-02.html>>. Acesso em: 15 jun. 2002.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E. Exigências nutricionais das plantas e necessidades de fertilizantes e corretivos. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Brasília, 1984. Anais. Brasília, EMBRAPA/Potafos, 1984. p.159-78.

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba, Potafos, 1997. 319p.
- MARTIN, J.H. & LEONARD, W.H. Principles of field crop production. New York, The McMillan Comp., 1950. 335p.
- MARTINS, O.C. Normas DRIS para cultura de algodão. In: Monitoramento Nutricional para a Recomendação de Adubação de Culturas. Piracicaba, Potafos. 1999.
- MARTINS, O.C.; LIMA, R.O.; VIVIANE, C.A.; BORGES, F.G.; FRANCO, D. & ALOVISI, A.A. PIDAP (Programa integrado de diagnósticos para o aumento da produtividade) no monitoramento nutricional do algodoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Palestras. Campina Grande, Embrapa Algodão / UFMS, 2001. p.172-178.
- McCANN, M.A. & STEWART, R. Use of alternate feeds for beef cattle. University of Georgia. Disponível em: <<http://www.ces.uga.edu/pubcd/l406-w.htm>>. Acesso em: 15 jun. 2002.
- MEDEIROS, J.C.; MENDONÇA, F.A.; ORDONEZ, G.A.P.; QUEIROZ, J.C.; CARVALHO, O.S.; DEL'ACQUA, J.M. & PEREIRA, J.R. Efeito da adubação nitrogenada e de regulador de crescimento em algodoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 1:475-477.
- MELLO, M.S. Sistema de interpretação de análise de solo e de recomendação de calagem e fertilizante para a cultura de tomate. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2000. 91p. (Tese de Mestrado)
- MENDES, H.C. Nutrição do algodoeiro. II - Absorção mineral por plantas cultivadas em soluções nutritivas. *Bragantia*, 19:435-58, 1960.
- MITCHELL, C.C. Broiler litter as a source of N for cotton. Agronomy series: Timely Information. Ala. Coop. Ext. Serv., Auburn University, Al. Disponível em: <<http://hubcap.clemson.edu/~blpprt/cotton.html>>. Acesso em: 15 jun. 2002.
- MORAIS, E.R.C. Formas de potássio em solos do estado de Minas Gerais e sua disponibilidade para plantas de milho. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 85p. (Tese de Mestrado)

- MORANDINI, C. Atlas de botânica. São Paulo, Nobel, 1962. 113p.
- MOTTA, A.C. Dinâmica de micronutrientes no sistema Plantio Direto. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 5., Cruz Alta, 1994. 309p.
- MUNIZ, A.S. Disponibilidade de fósforo avaliada por extratores químicos e pelo crescimento de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em amostras de solos com diferentes valores do fator capacidade. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1983. 79p. (Tese de Mestrado)
- NCPA: NATIONAL COTTONSEED PRODUCTS ASSOCIATION. Cottonseed feed products guide. 1998. Disponível em: <<http://www.cottonseed.com/feedprod.htm>>. Acesso em: 28 dez. 2002.
- NORTON, E.R. & SILVERTOOTH, J.C. Evaluation of the effects of added nitrogen interaction on nitrogen recovery efficiency calculations. Arizona Cotton Report, The University of Arizona College of Agriculture, 1999. p.221-231. Disponível em: <<http://ag.arizona.edu/pubs/crops/as1123/>>. Acesso em: 03 jan. 2003.
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, UFV / DPS, 1999. 399p.
- NRCS: natural resources conservation service. United States Department of Agriculture. Disponível em: <<http://www.nrcs.usda.gov/technical/ECS/nutrient/tbb1.html>>. Acesso em: 15 jun. 2002.
- OLIVEIRA, F.H.T. Sistema para recomendação de calagem e adubação para a cultura da bananeira. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2002. 78p. (Tese de Doutorado)
- OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; PENATTI, C.P. & PICCOLO, M.C. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar em campo. Pesq. Agropec. Bras., 24:2359-2362, 1999.
- OOSTERHUIS, D.M. Physiology and nutrition of high yielding cotton in the USA. Encarte técnico, Potafos, 95:18-24, 2001. (Informações Agrônômicas, 95)

- PARENTONI, S.N.; FRANÇA, G.E. & BAHIA FILHO, A.F.C. Avaliação dos conceitos de quantidade e intensidade de mineralização de nitrogênio para trinta solos do Rio Grande do Sul. R. Bras. Ci. Solo, 12:225-229, 1988.
- PASSOS, S.M.C. Algodão. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1977. 424p.
- PAULETTI, V. Nutrientes: Teores e Interpretações. Campinas, Fundação ABC/Fundação Cargil, 1998. 59p.
- PAZZETTI, G.A.; MENDONÇA, F. & MEDEIROS, J.C. Produtividade da cultivar Antares sob diferentes doses de cloreto de mepiquat e níveis de nitrogênio em cobertura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 1:507-509.
- PEDROSO NETO, J.C.; FALLIERI, J.; LANZA, M.; SILVA, N.M. & LACA, J.B. Algodão. In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS -CFSEMG., eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação. Viçosa, CFSEMG, 1999. p.278-279.
- PEREIRA, J.R.; BELTRÃO, N.E.B. & D'ANGIERI FILHO, C. Adubação NPK em algodoeiro herbáceo no cerrado da região de Barra do Corda, estado do Maranhão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 2:1008-1010.
- PROSOFTWARE SISTEMAS. Artigos: Conheça o Algodão... Disponível em: <<http://www.prosoftware.com.br/artigos.php>>. Acesso em: 28 dez. 2002.
- RAIJ, B. van. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba, Franciscana (LAFRAME) / Instituto da Potassa & Fosfato, 1981. 142p.
- RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba, Potafos/Agrônômica Ceres, 1991. 343p.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônômico de Campinas, 1996. 285p. (Boletim técnico, 100)

- RAIJ, B.van; CAMARGO, A.P.; CANTARELLA, H. & SILVA, N.M. Alumínio trocável e saturação em bases como critérios para recomendação de calagem. *Bragantia*, 42:149-156, 1983.
- RAIJ, V.van & QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solos para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1983. 31p. (Boletim técnico, 81)
- RAO, A.C.S; SMITH, J.L.; PAPENDICK, R.I. & FARR, J.F. Influence of added nitrogen interactions in estimating recovery efficiency of labeled nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55:1616-1621, 1991.
- REIS Jr., R.A.; LAMAS, F.M. & STAUT, L.A. Concepção de *software* para sugestão de adubação para a cultura do algodoeiro sob sistema plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 2:1116-1120.
- ROSOLEM, C.A. & BASTOS, G.B. Deficiências minerais no cultivar de algodão IAC 22. *Bragantia*, 56:377-387, 1997.
- ROSOLEM, C.A. & FERELLI, L. Resposta diferencial de cultivares de algodão ao manganês em solução nutritiva. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:355-361, 2000.
- ROSOLEM, C.A. Adubação potássica em semeadura direta. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, Dourados, 1997. Anais. Dourados, EMBRAPA-CPAO, 1998, p.61.
- ROSOLEM, C.A. Ecofisiologia e manejo da cultura do algodoeiro. Encarte técnico, Potafos, 95:1-9, 2001a. (Informações Agronômicas, 95)
- ROSOLEM, C.A. Problemas em nutrição mineral, calagem e adubação do algodoeiro. Encarte técnico, Potafos, 95:9-17, 2001b. (Informações Agronômicas, 95)
- ROSOLEM, C.A.; GIOMMO, G.S. & LAURENTI, R.L.B. Crescimento radicular e nutrição de cultivares de algodoeiro em resposta à calagem. *Pesq. Agropec. Bras.*, 4:827-833, 2000.
- SABINO, J.C.; SILVA, N.M.; CARVALHO, L.H.; SABINO, N.P.; KONDO, J.I. & NEPTUNE, A.M.L. Efeitos da aplicação de uréia em pulverizações na cultura do algodoeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, 17:61-66, 1993.

- SABINO, J.C; SILVA, N.M.; CARVALHO, L.H. & CANTARELLA, H. Aplicação de uréia via foliar, no esquema de controle do bicudo. In: REUNIÃO NACIONAL DO ALGODÃO, 8., Londrina, 1995. Anais. Londrina, IAPAR, 1995. p.115.
- SAMPAIO, E.V.S.B. & SALCEDO, L.H. Mineralização e absorção por milho do nitrogênio do solo, da palha de milho-(¹⁵N) e da uréia-(¹⁵N). R. Bras. Ci. Solo, 17:423-429, 1993.
- SANTOS, F.C. Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2002. 64p. (Tese de Mestrado)
- SCALEA, M.I. A cultura do milho e seu uso no plantio direto no cerrado. In: LANDERS, J.N., ed. Associação de plantio direto no cerrado. Goiânia, 1995. 261p.
- SÉGUY, L. & BOUZINAC, S. O plantio direto no cerrado úmido. Potafos, 1995. p.1-4. (Informações Agronômicas, 69)
- SÉGUY, L.; BOUZINAC, S.; MAEDA, N.; MAEDA, E.; OISHI, W.K.; IKEDA, A.M. & IDE, M.A. Construção dos sistemas de cultura à base de algodão, preservadores do meio ambiente do Brasil central: Dossiê em imagens. In: CIA, E.; FREIRE, E.C. & SANTOS, W.J., eds. Cultura do algodoeiro. Piracicaba, Potafos, 1999. p.200-278.
- SHAVER, R.D. Typical nutrient composition of common feed ingredients. Disponível em: <<http://www.wisc.edu/dysci/uwex/nutritn/pubs/ByProducts/ByproductFeeds/tuffs.html>>. Acesso em: 15 jun. 2002.
- SILVA, A.V.; MIGLIORANZA, É.; YAMAOKA, R.S.; ALMEIDA, W.P. & MARUR, C.J. Efeito dos espaçamentos super adensado, adensado e convencional e densidade de semeadura na linha sobre as características agronômicas do algodoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 1:644-646.
- SILVA, J.E.; LEMAINSKI, J. & RESCK, D.V.S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiano. R. Bras. Ci. Solo, 18:541-547, 1994.

- SILVA, M.N.B.; PITOMBEIRA, J.B.; SILVA, F.P. & BELTRÃO, N.E.M. População de planta e adubação nitrogenada em algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.) irrigado: rendimento e características tecnológicas de fibra. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 2:1084-1086.
- SILVA, N.M. & RAIJ, B. van. Fibras. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C., eds. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1996. p.107-111.
- SILVA, N.M. & RAIJ, B. van. Fibras: Algodão. In: RECOMENDAÇÕES DE ADUBAÇÃO E CALAGEM PARA O ESTADO DE SÃO PAULO. Campinas, Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1996. p.109-111. (Boletim técnico, 100)
- SILVA, N.M. Nutrição mineral e adubação do algodoeiro no Brasil. In: CIA, E.; FREIRE, E.C. & SANTOS, W.J., eds. Cultura do algodoeiro. Piracicaba, Potafos, 1999. p.57-92.
- SILVA, N.M.; CARVALHO, L.H.; CHIAVEGATO, E.J. & SABINO, N.P. Estudo do parcelamento da adubação potássica do algodoeiro. *Bragantia*, 43:111-124, 1984.
- SILVA, N.M.; CARVALHO, L.H.; CHIAVEGATO, E.J.; SABINO, N.P. & HIROCE, R. Efeito de doses de boro aplicadas no sulco de plantio do algodoeiro, em solo deficiente. *Bragantia*, 41:181-191, 1982.
- SILVA, N.M.; CARVALHO, L.H.; CIA, E.; FUZZATTO, M.G.; CHIAVEGATO, E.J. & ALLEONI, L.R.F. Seja o doutor do seu algodoeiro. Nutrição e adubação do algodoeiro (*Gossypium hirsutum*). In: ARQUIVO DO AGRÔNOMO, 8., Potafos, 1995. p.1-5.
- SILVA, N.M.; DUARTE, A.P. & RAIJ, B. van. Efeitos da Potassagem e da gessagem no algodoeiro. In: REUNIÃO NACIONAL DO ALGODÃO, 8., Londrina, 1995. Anais. Londrina, IAPAR, 1995. p.116.
- SILVERTOOTH, J.C. & GALADIMA, A. Evaluation of Manganese fertility of Upland cotton in the lower Colorado Valley. Arizona Cotton Report, The University of Arizona College of Agriculture and Life Sciences, 2002. Disponível em: <<http://ag.arizona.edu/pubs/crops/az1283>>. Acesso em: 29 dez. 2002.

- STANFORD, G.S. & SMITH, S.J. Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 36:465-472, 1972.
- STAUT, L.A. & KURIHARA, C.H. Calagem e adubação. In: ALGODÃO: TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. p.103-123.
- STAUT, L.A. Fertilização fosfatada e potássica nas características agronômicas e tecnológicas do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.), na região de Dourados, MS. Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, 1996. 124p. (Tese de Mestrado)
- STOCK, R.; GRANT, R. & KLOPFENSTEIN, T. Average composition of feeds used in Nebraska. *Feeding and Nutrition*, 1995.
- THOMPSON, W.R.B. Cotton production for high yields and quality. In: CIA, E.; FREIRE, E.C. & SANTOS, W.J., eds. *Cultura do algodoeiro*. Piracicaba, Potafos, 1999a. p.9-14.
- THOMPSON, W.R.B. Fertilization of cotton for yields and quality. In: CIA, E.; FREIRE, E.C. & SANTOS, W.J., eds. *Cultura do algodoeiro*. Piracicaba, Potafos, 1999b. p.93-100.
- TORBERT, H.A. & REEVES, D.W. Fertilizer nitrogen requirements for cotton production as affected by tillage and traffic. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:1416-1423, 1994.
- VASCONCELOS, O.L.; BELTRÃO, N.E.M.; RIBEIRO, V.G. & PEREIRA, J.R. Populações de plantas na cultura do algodão de elevada tecnologia, irrigado via pivô central. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 1:659-661.
- VERDADE, F.C. Influência da matéria orgânica na capacidade de troca de cátions do solo. *Bragantia*, 15:35-42, 1956.
- VIEIRA, R.M.; GUERRA, A.G.; BARRETO, M.F.P. SANTOS, F.C. & ALVES, H.C. Análise do ensaio internacional de algodão conduzido em Ipanguaçu-RN. 1999. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 2:710-712.

- VIEIRA, R.M.; GUERRA, A.G.; MEDEIROS, A.A.; SANTOS, F.C. & ALVES, H.C. Análise do desempenho agrônômico e das propriedades tecnológicas da fibra do ensaio nacional de variedades de algodão. Ipanguaçu-RN. 2000. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 2:707-709.
- VIEIRA, R.M.; GUERRA, A.G.; MEDEIROS, A.A.; SANTOS, F.C. & ALVES, H.C. Análise do ensaio internacional de cultivares de algodão. Ipanguaçu-RN. 2000. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 2:713-715.
- VIEIRA, R.M.; GUERRA, A.G.; MEDEIROS, A.A.; SANTOS, F.C. & ALVES, H.C. Avaliação do rendimento e das propriedades tecnológicas da fibra dos genótipos do ensaio regional cerrados. Ipanguaçu-RN, 2000. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 2:754-756.
- VIEIRA, R.M.; MEDEIROS, A.A.; GUERRA, A.G.; SANTOS, F.C. & ALVES, H.C. Avaliação do ensaio regional de cultivares comerciais de algodão do cerrado. Ipanguaçu-RN, 1999. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 2:751-753.
- VIEIRA, R.M.; MEDEIROS, A.A.; GUERRA, A.G.; SANTOS, F.C. & BARRETO, M.F.P. Análise da produção e das propriedades tecnológicas da fibra do ensaio nacional de variedades de algodão. Ipanguaçu-RN. 1999. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 2:704-706.
- VIEIRA, R.M.; MEDEIROS, A.A.; SANTOS, F.C.; GURGEL, A.G. & ALVES, H.C. Avaliação de linhagens e cultivares comerciais de algodão para as condições do Rio Grande do Norte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 2:732-734.
- VIVANCOS, A.D. Tratado de fertilización. Madrid, Mundi-Prensa, 1989. 601p.
- WALDROUP, P.W. & KERSEY, J.H. Nutrient composition of cottonseed meal surveyed. Feedstuffs, 2002. Disponível em: <http://www.cottonseed.com/Whatsnew/csm_feed.pdf>. Acesso em: 28 dez. 2002.

- WELCH, C.D.; HALL, N.S. & NELSON, W.L. Utilization of fertilizer and soil phosphorus by soybeans. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 14:231-235, 1949.
- YADAY, D.V.; TODI, S. & SRIVASTAVA, A.K. Recycling of nutrients in trash with N higher cane yield. *Biological Wasters*, 20:133-141, 1987.
- YAMAOKA, R.S.; ALMEIDA, W.P.; PIRES, J.R. MARUR, C.J.; NAGASHIMA, G. & SILVA, A.V. Comportamento de cultivares IPR 95 e Coodetec 401 ao adensamento de plantio do algodoeiro no estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Resumos. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 1:609-611.
- ZAGO, C.P. Forragens conservadas para o período da seca (silagem com pré-secagem). In: ENCONTRO REGIONAL DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 4., Uberlândia, 1999. Universidade Federal de Uberlândia, 282p. 2000.

APÊNDICE

Quadro 1A. Percentagem de fibra para as cultivares comumente utilizadas no Brasil

Variedade	Média	CV	Variedade	Média	CV
	%	%		%	%
BRS 187 8H	38,40	-	CNPA TB 15	40,10	-
BRS 197	37,07	1,2	CNPA TB 80	42,70	4,0
BRS 201	40,19	1,3	CNPA TB 90	41,43	3,1
BRS 268	36,00	-	CNPA/ITA 90	42,16	2,8
BRS 95-124	39,20	-	CNPA/ITA 96	37,60	6,0
BRS 96-148	39,20	-	Delta Opal	41,14	6,0
BRS 96-212	39,80	-	DP ACALA 90	38,88	3,1
BRS 96-227	38,70	-	DPS 4025	38,25	-
BRS 96-283	39,60	-	DPS 4049	36,93	-
BRS Antares	38,61	3,9	EPAMIG ALVA	39,17	3,6
BRS Aroeira	39,77	5,2	EPAMIG precoce I	36,53	-
BRS FACUAL	36,96	3,7	FMT 1067	45,40	2,5
BRS Ipê	40,10	-	FMT 199	40,30	1,8
BRS ITA 96	36,10	0,4	FMT 743 FETAGRI	40,75	2,7
BRS Itaúba	37,86	3,3	FMT 95-122	40,32	2,9
BRS precoce III	37,76	1,2	FMT 97-650	41,27	0,8
BRS Sucupira	41,90	-	FMT Saturno	41,61	1,7
Cacique	43,37	2,9	IAC 22	36,63	2,0
CCA 331	42,40	2,6	IAC 96-280	39,37	7,1
CCA 347	45,30	-	IAC 96-319	38,35	2,1
CD 401	41,26	1,3	IAC 97-86	39,80	1,5
CD 402	40,26	0,6	IAC 98-86	40,00	-
CD 403	40,60	-	IAN 338	42,55	3,8
CD 404	40,25	2,1	IAN 93-64	43,34	1,3
Chaco 520	41,66	2,2	IAN 93-68	41,24	-
CNPA 6H	39,60	-	IAPAR 71	39,20	2,2
CNPA 7H	38,97	2,7	IAPAR 96-1734	39,47	3,7
CNPA 86-1190-5	38,95	2,4	IAPAR 97-141	40,03	4,3
CNPA 87-33	38,23	3,8	IPR 94	40,10	1,4
CNPA 93-15	37,00	-	IPR 95	40,65	1,9
CNPA 96-12	40,10	4,6	IPR 96	41,30	2,1
CNPA 96-36	39,95	3,4	OC 401	42,30	-
CNPA 96-39	38,95	2,7	OC 92-146	41,02	-
CNPA 96-40	41,05	0,9	OC 94-146	42,40	1,7
CNPA 97-650	41,88	1,8	OC 94-550	38,33	-
CNPA ACALA 1	36,60	-	OC 95-621	40,68	2,2
CNPA CO 96-122	35,95	-	OC 96-252	42,90	-
CNPA CO 96-148	36,58	-	OC 96-276	37,00	-
CNPA CO 96-1674	35,13	-	Oro Blanco	44,15	9,4
CNPA CO 96-227	39,50	-	PR 97-192	42,20	-
CNPA precoce I	35,00	-			
CNPA precoce II	41,90	3,5	Valor médio	40,31	5,5

OC = OCEPAR; FMT = Fundação Mato Grosso; CNPA = Centro Nacional de Pesquisa de Algodão; CD = COODETEC; DP = Deltapine e IAC = Instituto Agrônômico de Campinas.

Fonte: Adaptado de Azevedo et al. (2001), Beltrão et al. (2001), Benassi et al. (2001), Fundação MT (2001), Carvalho et al. (2001), Farias et al. (2001), Freire et al. (2001), Lamas (2001), Silva et al. (2001), Vasconcelos et al. (2001), Vieira et al. (2001) e Yamaoka et al. (2001).

Quadro 2A. Percentagem de fibra para as cultivares comumente utilizadas nos EUA

Variedade	Média	CV	Variedade	Média	CV
	%	%		%	%
Condor	42,20	-	Ligur	39,20	-
Deltapine 51	38,83	1,6	Paymaster PM 1218BG/RR	42,50	0,2
Deltapine DP 208	40,30	-	Paymaster PM 1560BG	41,77	1,0
Deltapine DP 388	40,47	1,2	Paymaster PM1560BG/RR	40,70	-
Deltapine DP 420RR	41,10	-	Phytogen GA 161	39,30	0,4
Deltapine DP 422 BRR	39,10	-	Phytogen GA 894	40,30	-
Deltapine DP 425RR	39,43	0,5	Phytogen HS12	38,45	0,2
Deltapine DP 428B	39,23	0,6	Phytogen PSC 355	41,47	1,1
Deltapine DP 436RR	38,30	1,0	Phytogen PSC 952	40,55	3,3
Deltapine DP 451B/RR	38,80	0,4	Seed Source SS 9901	39,70	-
Deltapine DP 458 BRR	39,67	1,0	Seed Source SS 9907	41,50	-
Deltapine DP 5415 RR	39,37	1,6	Seed Source SS9815	40,20	-
Deltapine DP 655 BRR	38,93	0,4	Stoneville BXN47	42,60	0,8
Deltapine DP 675	39,20	1,8	Stoneville ST 4691B	43,05	1,1
Deltapine DP NuCotn 33B	38,40	1,1	Stoneville ST 474	43,03	0,9
FiberMax 966	42,00	0,7	Stoneville ST 4793R	42,70	0,3
FiberMax FM958	42,70	0,7	Stoneville ST 4892BR	42,40	-
FiberMax FM989	41,27	0,8	Stoneville ST580	39,70	-
Garst/AgriPro 1500RR	40,30	-	Sure-Grow 105	40,60	1,1
Garst/AgriPro 4600RR	41,80	-	Sure-Grow 125 BR	39,70	0,4
Garst/AgriPro AP6101	38,80	-	Sure-Grow 125 R	40,60	0,3
Garst/AgriPro AP7115	41,43	0,8	Sure-Grow 501BR	40,15	0,2
Garst/AgriPro AP7126	40,60	-	Sure-Grow 747	41,57	1,0
Garst/AgriPro AP9257	41,00	-	Sure-Grow 821	40,13	0,8
Gavilan	43,40	-	Valor médio	40,51	3,6

Fonte: Adaptado de Maitland et al. (2002) e Bowman (2002).