

NUTRIÇÃO, CALAGEM E ADUBAÇÃO DO ALGODOEIRO

Maria da Conceição Santana Carvalho¹

Gilvan Barbosa Ferreira²

Luiz Alberto Staut³

19.1 - INTRODUÇÃO

Na maioria dos solos da região do Cerrado, a reserva de nutrientes não é suficiente para suprir a quantidade extraída pelas culturas e exportada nas colheitas por longos períodos; portanto, é essencial que o seu suprimento às plantas seja feito por meio da adubação.

A correção da acidez do solo e a adubação mineral têm custo elevado no cultivo do algodoeiro no Cerrado, atingindo valores da ordem de 20 a 30% do custo total de manejo da cultura. Nesse contexto, o manejo eficiente da adubação é essencial para alta produtividade, redução de custo por arroba de algodão produzido e viabilização dos sistemas de produção vigentes.

No Cerrado, as condições favoráveis para o desenvolvimento da cultura e o alto nível tecnológico adotado nas lavouras (cultivares com maior potencial produtivo, aliadas às modernas técnicas de cultivo e à mecanização total das lavouras em empreendimentos empresariais) proporcionam a obtenção de altas produtividades, chegando, em alguns casos, a 6.000 kg/ha. Nessas condições, a extrapolação das recomendações de adubação desenvolvidas para os estados até então tradicionais na produção de algodão, basicamente no sistema de agricultura familiar, se tornou inviável para o Cerrado. Em função disso, verificou-se, inicialmente, a aplicação de doses exageradas de fertilizantes, incluindo uma grande diversidade de fertilizantes foliares, cujas reais necessidades e respostas da cultura são questionáveis.

¹ Eng. Agr., D.Sc., Pesquisadora da Embrapa Arroz e Feijão Embrapa Arroz e Feijão, GO-462, Km 12, Caixa Postal 179, CEP 75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO. E-mail: gconceicao@enpaf.embrapa.br

² Eng. Agr., D.Sc., Pesquisador da Embrapa Algodão, Avenida Osvaldo Cruz, 1143, Caixa Postal 174, Centenário, CEP. 58428-095, Campina Grande, PB. E-mail: gilvan.ferreir@empa.embrapa.br

³ Eng. Agr., M.Sc., Pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste, Rodovia BR-163, Km 253,6, Trecho Dourados-Caaporó, C.P. 661, 79804-970, MS. E-mail: staut@epao.embrapa.br

Nos últimos dez anos, houve uma grande evolução da pesquisa em nutrição e adubação do algodoeiro na região do Cerrado, especialmente nos estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e Oeste da Bahia. Os resultados acumulados já permitem aperfeiçoar o manejo da adubação da cultura, visando ao uso racional dos fertilizantes e a manutenção dos níveis de produtividade alcançados com sustentabilidade e responsabilidade ambiental.

Neste capítulo são apresentadas informações e sugestões sobre nutrição, calagem e adubação do algodoeiro, baseadas em resultados de pesquisas recentes realizadas nas condições de clima, solos e manejo dos principais estados produtores da região do Cerrado.

19.2 - EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS

19.2.1 - FUNÇÕES E SINTOMAS DE DEFICIÊNCIAS DOS NUTRIENTES NO ALGODOEIRO

19.2.1.1 – Macronutrientes

O nitrogênio (N) faz parte da composição de todos os aminoácidos e proteínas, estando presente também na molécula de clorofila e outros pigmentos. O seu fornecimento em quantidades adequadas estimula o crescimento, o florescimento, regulariza o ciclo da planta, aumenta a produtividade e melhora o comprimento, a resistência da fibra e o índice micronaire. Sua deficiência promove atraso no crescimento e perda de intensidade de cor verde em toda a planta, devido à redução da clorofila (Figura 1 A, B, C). Por ser um elemento móvel dentro da planta, os primeiros sintomas de amarelecimento surgem nas folhas mais velhas do “baixeiro” (Figura 1D, E). À medida que a deficiência vai se tornando mais severa, as folhas adquirem coloração bronzeada, secam e caem precocemente, prejudicando a produtividade e a qualidade da fibra. Também ocorre queda anormal de botões florais, flores e frutos novos.

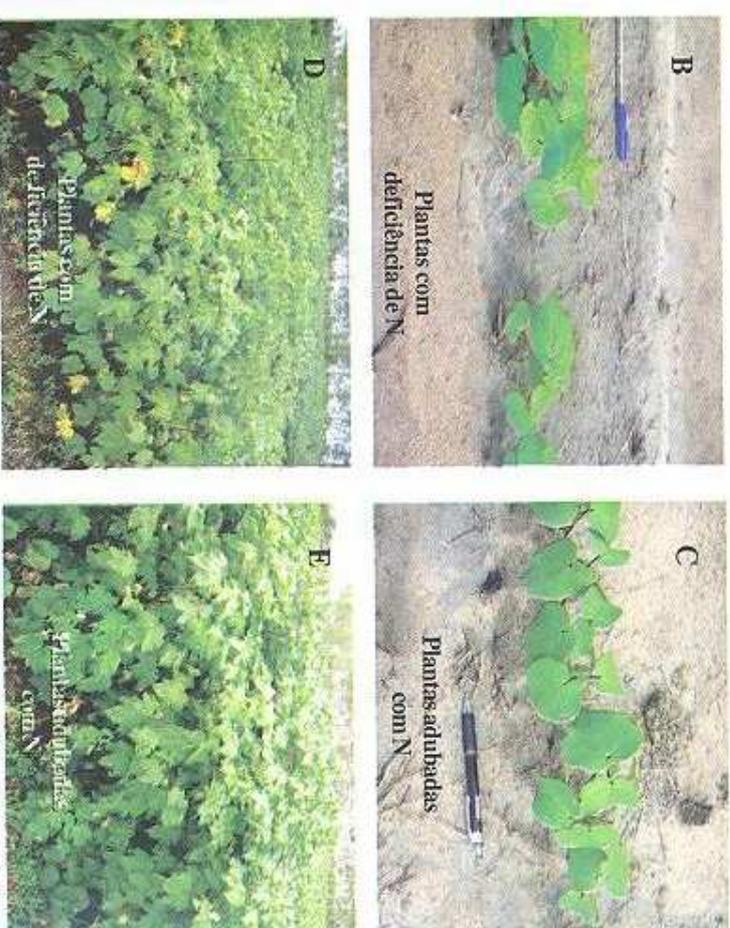
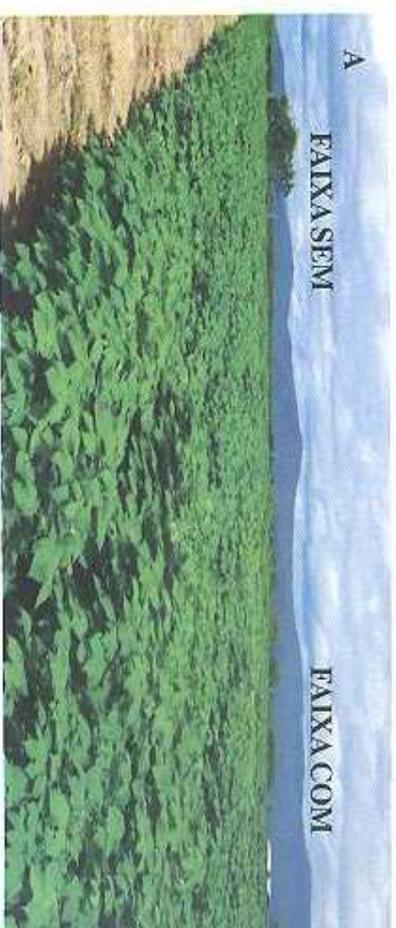


Figura 1. Deficiência crônica de nitrogênio no algodoeiro BRS Ceira. Redução no crescimento e amarelecimento geral da parte aérea, num gradiente de cima para baixo. A – faixas com e sem nitrogênio, este com perda da cor verde intenso; B – Amarelecimento geral na planta; C – Plantas normais; D – Perda de folhas e amadurecimento precoce; E – Amadurecimento normal. Fotos: Gilvan Barbosa Ferreira.

O fósforo (P) é o nutriente envolvido em todas as transferências de energia na planta, sendo de vital importância para a síntese de proteínas, fotossíntese e transformação de açúcares, dentre outros processos metabólicos. No algodoeiro, estimula o crescimento radicular e é importante para o florescimento e

desenvolvimento dos frutos. Ao contrário do nitrogênio, que prolonga a fase vegetativa, o fósforo favorece a maturação dos capulhos, acelerando a abertura dos mesmos. Sua deficiência na planta reduz a fotossíntese, o acúmulo e translocação dos carboidratos para os frutos. Como resultado, as plantas se desenvolvem muito lentamente (Figura 2A), apresentando bronzeamento e amarellecimento das folhas mais velhas, seguida de queda, enquanto as folhas novas permanecem com coloração verde-escura (Figura 2B). Em situação de deficiência muito severa, pode ocorrer avermelhamento das nervuras e do caule, queda de botões florais, redução do tamanho das maçãs e baixa retenção das mesmas. Independentemente da forma como os sintomas são expressos durante o ciclo da cultura, o resultado final é a redução da produtividade.

O potássio (K) é um nutriente absorvido em grandes quantidades pelo algodoeiro e desempenha papel fundamental no desenvolvimento da planta, produção e qualidade da fibra. Esse elemento catalisa a atividade de mais de 60 enzimas na planta, sendo importante também para a eficiência no uso da água, aumento da fotossíntese e translocação dos carboidratos formados para os frutos. Por outro lado, sua deficiência provoca clorose intermarginal nas folhas do baixeiro, seguida de necrose nas margens e queda das folhas (Figura 3 A e B); a consequência é o encurtamento do ciclo, redução da produtividade e da qualidade das fibras. Em cultivares modernas de algodoeiro, com alta capacidade produtiva e período curto de maturação das maçãs, a intensidade de distribuição de K para os frutos é tal que os sintomas de deficiência característicos de potássio se manifestam nas folhas maduras mais novas do terço médio e superior da planta.

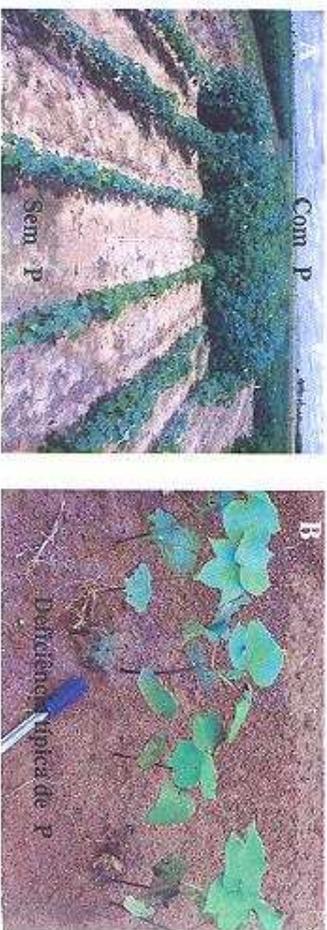


Figura 2. Deficiência de fósforo no algodoeiro BRS Cedro. A – Em condição extrema, as plantas ficam anãs e não florescem; B – Em deficiência aguda, as folhas tem verde intenso, ficam bronzeadas, necrosam as margens e caem.

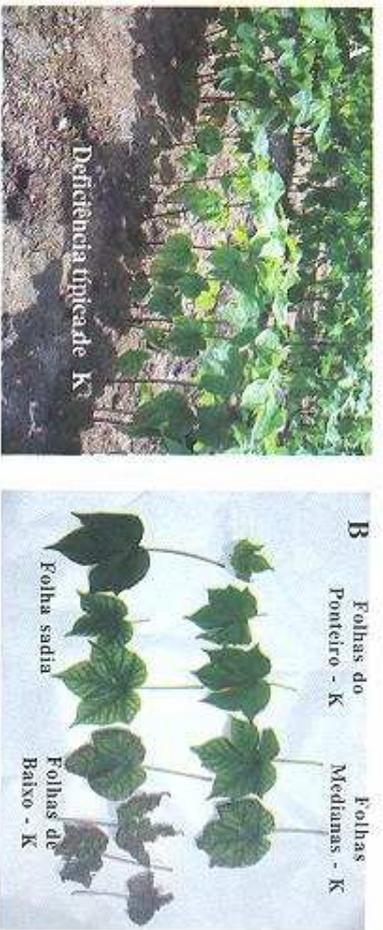


Figura 3. Deficiência de potássio no algodoeiro BRS Cedro. A – Aspecto das plantas no campo; B – evolução rápida da deficiência de baixo para cima. Fotos: Gilvan Barbosa Ferreira.

As deficiências de cálcio não são comuns no campo. O nutriente dá estabilidade à membrana plasmática e à parede celular e a sua presença na solução do solo é essencial para o desenvolvimento das raízes. Em geral, os efeitos da acidez do solo e da pobreza dos demais nutrientes superam ou se expressam mais rápido do que o de deficiência desse nutriente nas lavouras.

O magnésio (Mg) faz parte da molécula da clorofila e é necessário para a fotossíntese. A sua deficiência no algodoeiro tem sido observada nas seguintes condições: (i) em solos ácidos, que não foram corrigidos com calcário contendo Mg; (ii) solos de textura arenosa, intensamente lixiviados; (iii) solos corrigidos continuamente com calcário calcítico, sobretudo quando se aplicam altas doses de potássio. As deficiências de magnésio se manifestam em áreas grandes ou setores do campo (Figura 4A). As plantas se desenvolvem lentamente, surgindo nas folhas do "baixeiro" um amarellecimento entre as nervuras (4,C) que, de modo rápido, pode evoluir para avermelhamento, estabelecendo-se um contraste nítido com o verde normal das nervuras (Figura 4B, C). O avermelhamento das folhas do algodoeiro também pode ser causado por alongamento na área, camada de solo compactada ou pela doença do "vermelhão", que apresentam sintomas semelhantes; porém estes ocorrem em pontos isolados da lavoura.

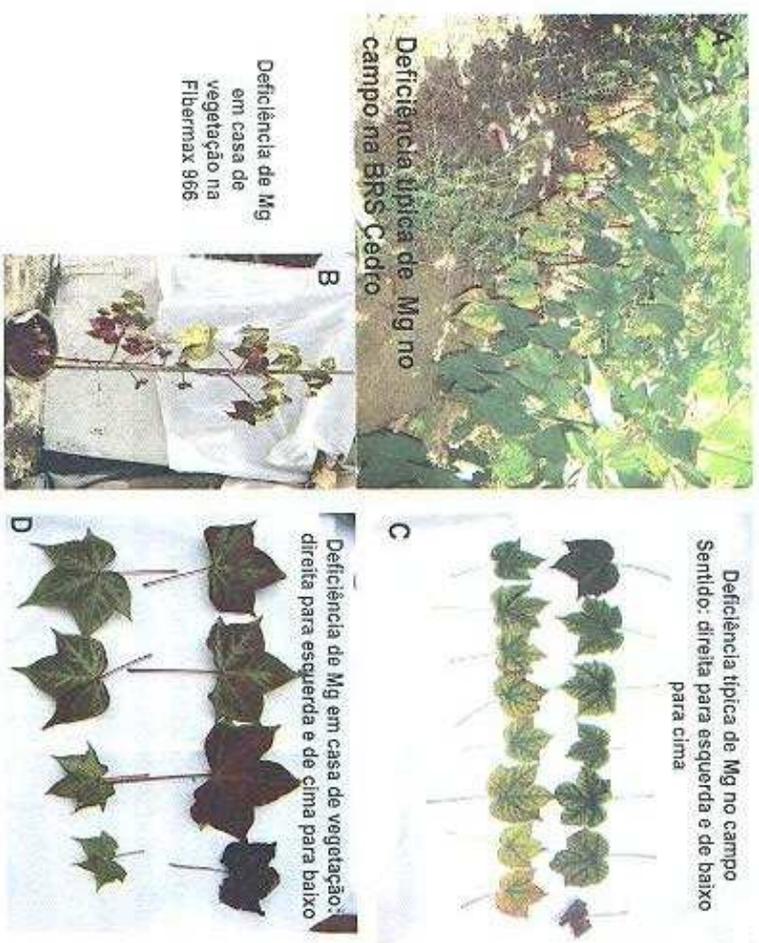


Figura 4. Deficiência de magnésio no campo, no algodoeiro BRS Cedro, e em casa-de-vegetação, no Fibermax 966. A e B – Clorose marginal e intermarginal, com áreas avermelhadas, nas folhas do “baixeiro”, que progride em direção ao ponteiro. C e D – Clorose intermarginal, avermelhamento e secamento das folhas mais velhas do “baixeiro” que lentamente progride para o terço-médio e ponteiro das plantas. Fotos: Gilvan Barbosa Ferreira.

O enxofre faz parte da clorofila e de todas as proteínas da planta. Com a deficiência, a fotossíntese é reduzida, afetando a produtividade e a qualidade da fibra. As plantas deficientes em enxofre têm crescimento reduzido (Figura 5A), emitem poucos ramos vegetativos e apresentam folhas no ponteiro de cor verde-claro brilhante, semelhante ao verde-limão dos citros (Figura 5B).



Figura 5 – Deficiência de enxofre no algodoeiro BRS Cedro. A – Clorose verde-limão típica em parcela que não recebeu gesso ou adubação com enxofre. B – Intensidade cor verde-limão de cima para baixo, típica de nutriente de baixa mobilidade. Fotos: Gilvan Barbosa Ferreira.

19.2.1.2 - Micronutrientes

Embora absorvidos em menores quantidades que os macronutrientes, os micronutrientes desempenham diversas funções essenciais na planta, participando de várias reações metabólicas responsáveis por processos bioquímicos dentro da planta. Desse modo, a deficiência de um deles afeta, direta ou indiretamente, o crescimento, o desenvolvimento e produção do algodoeiro.

As funções do boro na planta estão associadas com as do cálcio na regulação do funcionamento da membrana e parede celular, divisão e aumento das células, sendo essencial à formação dos tecidos meristemáticos; tem influência no desenvolvimento de raízes, absorção de nutrientes e germinação do grão de pólen; participa, também, do transporte de carboidratos por meio da formação de complexos açúcar-borato, sendo importante na síntese de proteínas. Sua deficiência, quando severa, provoca a morte da gema apical e superbotamento da planta; baixos teores no tecido durante o florescimento podem inviabilizar a germinação do grão de pólen tomando os óvulos estéreis e impedindo a formação das sementes e, por consequência, das fibras ainda delas. Os sintomas de deficiência mais comuns no campo são: amarelhecimento das folhas do ponteiro; aparecimento de anéis concêntricos verde-escuros nos pecíolos e nas hastes, com respectivo escurecimento interno; queda de botões florais e dos frutos, os quais apresentam escurecimento interno na sua base; flores deflorescidas e brácteas cloróticas. Seu fornecimento regular favorece o florescimento e frutificação, com reflexos positivos no aumento da produtividade e da qualidade das fibras. A aplicação em excesso no sulco de plantio

pode causar toxicidade nas plantas novas, cujo sintoma típico é um crestamento das folhas mais velhas, entre as nervuras, com manchas amareladas.

Os demais micronutrientes têm influenciado muito pouco o crescimento e a produção do algodoeiro em condições brasileiras, sendo comprovado por diversos pesquisadores que o fornecimento no plantio é suficiente para assegurar a produtividade.

O cobre e o zinco são necessários para os processos de síntese de proteína e de detoxicação de íons superóxidos formados no metabolismo celular, dentre outras funções. Alguns autores têm mostrado que os teores no tecido foliar, observados em condições de Cerrado, são reduzidos pela calagem e pela adubação com fósforo, porém sem provocar deficiência que comprometa a produção da cultura.

O molibdênio favorece o metabolismo de nitrogênio na planta; sua disponibilidade no solo é aumentada com a calagem. Os teores de Fe são naturalmente altos o suficiente nos solos do Cerrado para não apresentar problemas de deficiência que comprometam sua importante função na fotossíntese e nas reações de transferência de elétrons na planta.

Dentre outras funções, o manganês é necessário para quebrar da molécula de água, evolução do O_2 e permitir o começo do fluxo de elétrons na fotossíntese. Sua deficiência tem sido constatada em solos arenosos supercalcareados na Bahia, nos quais o pH tenha atingido valores superiores a 6,3. A deficiência de manganês provoca desestruturação dos cloroplastos, evidenciados por clorose intermerval nas folhas do ponteiro, formando uma malha grossa que contrasta com a cor verde das nervuras e regiões circunvizinhas.

19.2.1.2 - Micronutrientes

Embora absorvidos em menores quantidades que os macronutrientes, os micronutrientes desempenham diversas funções essenciais na planta, participando de várias reações metabólicas responsáveis por processos bioquímicos dentro da planta. Desse modo, a deficiência de um deles afeta, direta ou indiretamente, o crescimento, o desenvolvimento e produção do algodoeiro.

As funções do boro na planta estão associadas com as do cálcio na regulação do funcionamento da membrana e parede celular, divisão e aumento das células, sendo essencial à formação dos tecidos meristemáticos; tem influência no

desenvolvimento de raízes, absorção de nutrientes e germinação do grão de pólen; participa, também, do transporte de carboidratos por meio da formação de complexos açúcar-borato, sendo importante na síntese de proteínas. Sua deficiência, quando severa, provoca a morte da gema apical e supertratoramento da planta; baixos teores no tecido durante o florescimento podem inviabilizar a germinação do grão de pólen tornando os óvulos estéreis e impedindo a formação das sementes e, por consequência, das fibras advindas delas. Os sintomas de deficiência mais comuns no campo são: amarelecimento das folhas do ponteiro; aparecimento de anéis concêntricos verde-escuros nos pecíolos e nas hastas, com respectivo escurecimento interno; queda de botões florais e dos frutos, os quais apresentam escurecimento interno na sua base; flores defitosas e brácteas cloróticas. Seu fornecimento regular favorece o florescimento e frutificação, com reflexos positivos no aumento da produtividade e da qualidade das fibras. A aplicação em excesso no sulco de plantio pode causar toxicidade nas plantas novas, cujo sintoma típico é um crestamento das folhas mais velhas, entre as nervuras, com manchas amareladas.

Os demais micronutrientes têm influenciado muito pouco o crescimento e a produção do algodoeiro em condições brasileiras, sendo comprovado por diversos pesquisadores que o fornecimento no plantio é suficiente para assegurar a produtividade.

O cobre e o zinco são necessários para os processos de síntese de proteína e de detoxicação de íons superóxidos formados no metabolismo celular, dentre outras funções. Alguns autores têm mostrado que os teores no tecido foliar, observados em condições de Cerrado, são reduzidos pela calagem e pela adubação com fósforo, porém sem provocar deficiência que comprometa a produção da cultura.

O molibdênio favorece o metabolismo de nitrogênio na planta; sua disponibilidade no solo é aumentada com a calagem. Os teores de Fe são naturalmente altos o suficiente nos solos do Cerrado para não apresentar problemas de deficiência que comprometam sua importante função na fotossíntese e nas reações de transferência de elétrons na planta.

Dentre outras funções, o manganês é necessário para quebrar da molécula de água, evolução do O_2 e permitir o começo do fluxo de elétrons na fotossíntese. Sua deficiência tem sido constatada em solos arenosos supercalcareados na Bahia, nos quais o pH tenha atingido valores superiores a 6,3. A deficiência de manganês provoca desestruturação dos cloroplastos, evidenciados por clorose intermerval nas

folhas do ponteiro, formando uma malha grossa que contrasta com a cor verde das nervuras e regiões circunvizinhas.

19.2.2 - ACCUMULAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES

O algodoeiro é uma planta que evoluiu sobre solos ricos em nutrientes, tendo necessidade de solos férteis para produzir adequadamente e, assim, extrai grandes quantidades de nutrientes do solo durante o seu ciclo (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Extração e exportação (kg/t de algodão em caroço) de macronutrientes por diferentes cultivares de algodoeiro, cultivado em Latossolo vermelho amarelo de textura arenosa no Cerrado da Bahia, São Desidério - BA, safra 2003/2004.

Cultivar	Produtividade kg/ha	kg/t de algodão em caroço					
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S
Extração total							
BRS Canagari	3.223	78,8	26,0	83,7	42,3	31,7	6,0
BRS Ipê	3.603	61,1	23,3	64,0	31,6	21,7	4,5
BRS Sucupira	3.197	82,8	30,3	88,8	46,9	34,5	7,4
BRS Arcoíra	3.539	77,8	27,5	78,0	39,2	28,1	5,8
Delta Opal	3.855	61,8	22,7	64,8	33,4	22,6	5,2
Fibrenax 966	4.037	58,7	24,4	64,4	30,0	22,9	5,3
Suregrow	3.470	68,2	26,4	73,8	33,1	25,7	5,9
Média	3.561	69,3	25,6	73,3	36,3	26,5	5,7
Exportação total ¹							
BRS Canagari	3.223	38,6	12,5	25,1	4,6	16,8	3,6
BRS Ipê	3.603	30,0	11,2	19,2	3,5	11,5	2,7
BRS Sucupira	3.197	40,6	14,5	26,6	5,2	18,3	4,4
BRS Arcoíra	3.539	38,1	13,2	23,4	4,3	14,9	3,5
Delta Opal	3.855	30,3	10,9	19,4	3,7	12,0	3,1
Fibrenax 966	4.037	28,7	11,7	19,3	3,3	12,1	3,2
Suregrow	3.470	33,4	12,7	22,1	3,6	13,6	3,5
Média	3.561	33,9	12,3	22,0	4,0	14,0	3,4

¹ Quantidades estimadas a partir dos seguintes coeficientes de exportação: N=49%, P₂O₅=48%, K₂O=30%, CaO=10%, MgO=53% e S=60% (FUNDAÇÃO MET. 1997; STATI e KURUHARA, 2001). A extração para maior nível de produtividade tende a superestimar a exportação, pois as cultivares mais produtivas produzem relativamente mais algodão por unidade de nutriente exportado. Fonte: Adaptado de Ferreira et al. (2004)

Com relação aos macronutrientes, observa-se que a cultura é mais exigente em nitrogênio e potássio, seguido de cálcio, magnésio, fósforo e enxofre. As quantidades totais de nitrogênio, fósforo e potássio extraídas pelo algodoeiro para produzir uma tonelada de algodão em caroço, encontradas na literatura, estão na faixa de 50 a 85 kg de N, 12 a 26 kg de P₂O₅ e 43 a 88 de K₂O. As taxas de exportação de nutrientes pelo algodoeiro, encontradas na literatura, também são muito variáveis. As variações encontradas podem ser explicadas pela diferença entre as condições climáticas, as cultivares utilizadas, produtividade alcançada, nível de fertilidade dos solos cultivados e doses de fertilizantes aplicados. Por isso, para realizar uma adubação com base no balanço nutricional, além da análise de solo e folhas, é muito importante determinar a extração e exportação de nutrientes pela cultura, considerando as condições locais.

Os resultados apresentados na Tabela 1 são valores médios medidos num experimento onde as doses de potássio aplicadas variaram 0 a 210 kg/ha de K₂O. Por isso, é possível que a aplicação de altas quantidades de potássio tenha promovido consumo de luxo, na maioria das cultivares testadas.

Mesmo com as diferenças nos valores, os dados indicam que menos de 50% do total absorvido da maioria dos nutrientes são exportados nas sementes e na fibra (Tabelas 1 e 2). Assim, a maior parte dos nutrientes extraídos retorna ao solo nos resíduos da cultura, principalmente potássio, cuja taxa de exportação não ultrapassa 35% do total acumulado. As quantidades retornadas para o solo dependem dos tecores de nutrientes acumulados em cada

órgão da planta e da produção de biomassa vegetal, que foi estimada em cerca de 4 a 7 t/ha de matéria seca (somente da parte aérea) para as condições da Bahia (FERREIRA et al., 2004).

Com relação aos micronutrientes, as quantidades requeridas pelas plantas de algodão são muito pequenas. Os dados encontrados na literatura indicam que, para cada 1.000 kg de algodão em caroço produzidos, são acumulados cerca de 120 g de boro, 43 g de cobre, 60 a 1.200 g de ferro, 52 a 92 g de Mn, 1 g de molibdênio, e 43 a 62 g de zinco. Em geral, a exportação de micronutrientes, para cada 1.000 kg de algodão em caroço produzidos, se situa na faixa de 16 a 27 g de boro, 6 a 9 g de cobre, 7 a 200 g de ferro, 10 a 15 g de manganês e 11 a 44 g de zinco.

19.2.3 - MARCHA DE ABSORÇÃO DE NUTRIENTES

O conhecimento das quantidades de nutrientes absorvidos e exportados pelo algodoeiro, associado com os resultados de análise de solo e o histórico de calagem e adubações da área, permite estimar as doses de fertilizantes a serem aplicadas. Pela marcha de absorção e acumulação dos nutrientes, nas diferentes fases de desenvolvimento da planta, são obtidas informações do período de maior exigência durante o ciclo da cultura. O conjunto dessas informações, juntamente com o conhecimento da dinâmica dos nutrientes no solo, do potencial de perdas (lixiviação, precipitação, "fixação") e da eficiência de extração pela cultura, condiciona as melhores alternativas de modos e épocas de aplicação, visando à máxima eficiência do uso de fertilizantes.

Tabela 2. Extração total e exportação (kg/t de algodão em caroço) de macronutrientes pelo algodoeiro, em diversas regiões produtoras do Brasil

Fonte	Cultivar	Estado	Produtividade	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S
kg/ha									
EXTRAÇÃO TOTAL OU ACUMULO (PLANTA INTEIRA)									
STATUT (1996)	ITA 90	MS	2.500	85,0	12,8	47,2	17,6	7,6	4,0
SILVA e RAIJ (1996)	?	SP	?	99,0	22,9	60,2	-	-	-
PURIANI JÚNIOR (2001)	IAC 22	SP	?	69,0	25,0	60,0	-	-	-
SODSA e LOBATO (2004)	?	?	?	50 a 70	14 a 23	48 a 60	-	-	4 a 8
CARVALHO (s.d.) ¹⁾	Fibermas 977	GO	5.300	56,8	16,1	62,1	39,2	9,4	6,9
				66,0	19,1	58,1	28,4	8,5	5,6

EXPORTAÇÃO (SEMENTE + FIBRA)									
Fonte	Cultivar	Estado	Produtividade	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S
STATUT (1996)	ITA 90	MS	2.500	60,8	8,4	14,0	2,0	4,0	2,4
SILVA e RAIJ (1996)	?	SP	?	23,0	9,2	19,3	-	-	-
YAMADA e LOPES (1999)	?	?	?	22,3	6,9	22,2	8,4	3,7	7,7
SODSA e LOBATO (2004)	?	?	?	22 a 25	4 a 9	18 a 22	-	-	3 a 6
ALTMANN (2006) ²⁾	Diversas	GO/MS	4.500	27,0	8,7	11,5	1,7	2,6	1,7
Média				28,4	7,4	18,4	4,0	3,4	4,1

¹⁾ CARVALHO, M.C.S. Empresa Algodão (dados não publicados)

²⁾ ALTMANN, N. Adubação em sistemas de produção. Palestra apresentada em 26/05/2006 no Dia de Campo Nacional da Fundação GO, em Santa Helena de Goiás, Goiás. Disponível em: www.fundacaogo.com.br/publicacao/index.php. Acessado em: 21/03/2007.

O algodoeiro se caracteriza como uma planta de crescimento inicial lento, passando a se desenvolver rapidamente partir dos 25-30 dias após a emergência. A marcha de absorção dos nutrientes pela planta segue o padrão de crescimento, aumentando significativamente a partir dos 30 dias do plantio (Figuras 6 e 7), coincidindo com a emissão dos primeiros botões florais (Figura 8), e alcançando uma absorção máxima diária entre 60 a 90 dias após a germinação. Neste período as taxas de absorção de N, P e K são altas: cerca de 2,5 a 3,6 kg/ha/dia de absorção de N podem ocorrer no enchimento dos frutos e de 3,6 a 4,8 kg/ha/dia de K₂O pode ocorrer próximo ao pico do florescimento. Para o potássio, 60% do total acumulado ocorrem entre o aparecimento da primeira flor e a maturidade do capulho e, na proximidade do máximo florescimento, 1/3 do total acumulado é absorvido em um período de 12 a 14 dias. Uma deficiência de K nesta fase pode comprometer a produtividade.

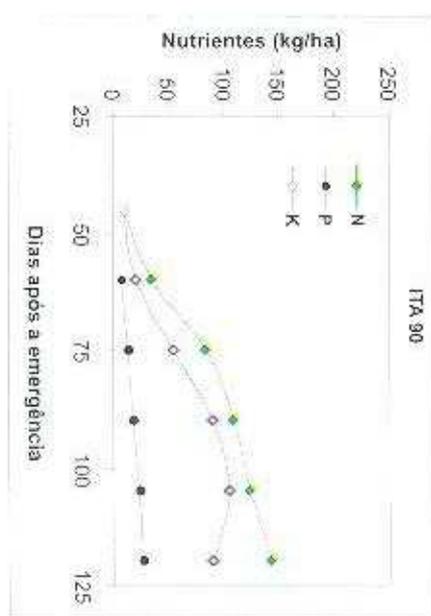
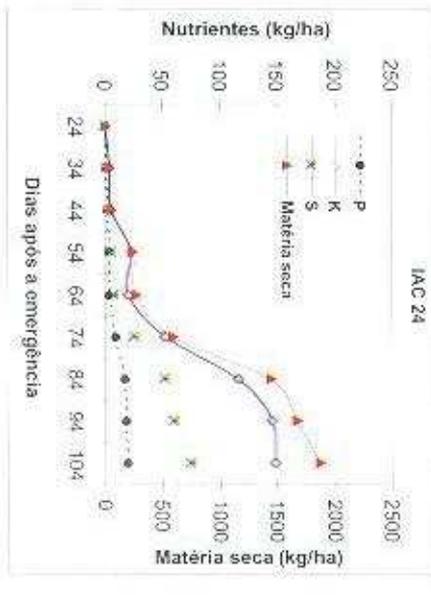


Figura 6. Acúmulo de N, P e K pela cultivar de algodoeiro ITA 90 cultivada no campo em Mato Grosso, em função de dias após a emergência. Cálculos efetuados, considerando-se uma produtividade de 3.000 kg/ha de algodão em caroço. Fonte: Adaptado de Fundação MT (1997).



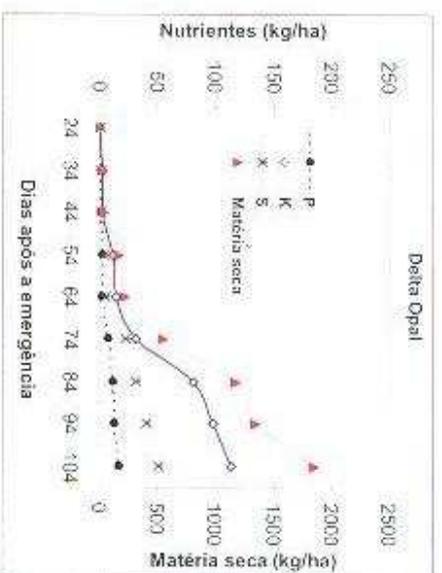


Figura 7. Acúmulo de N, P e K pelas cultivares de algodoeiro IAC 24 e Delta Opal cultivadas no campo em Selvíria, Mato Grosso do Sul, em função de dias após a emergência. Cálculos elementares, considerando-se produtividade de 3.000 kg/ha de algodão em casca. Fonte: Adaptado de Ferrari et al. (2004) e Persegili et al. (2004).

Mais de 50% da maioria dos nutrientes são absorvidos após o início do florescimento. O padrão de absorção dos micronutrientes é semelhante ao dos macronutrientes.

Resultados de estudos recentes realizados em condições de campo, na região do Cerrado do Brasil (Figuras 6, 7 e 8), indicam que algumas variações na velocidade de absorção de nutrientes pelo algodoeiro podem ocorrer, em função do ciclo das cultivares (precoce, médio e tardio) e das condições climáticas locais, que influenciam o seu crescimento. Em locais com maior altitude (acima de 800 m) e temperaturas mais baixas, o ciclo do algodoeiro fica mais longo, assim como naqueles de altas precipitações e baixa luminosidade. Assim, do ponto de vista do manejo da adubação, a interpretação da marcha de absorção de nutrientes é mais segura quando é associada com os estádios de desenvolvimento fisiológico da planta.

Nesse sentido, um estudo de campo foi realizado pela Embrapa, em Mato Grosso do Sul, utilizando as cultivares BRS Araçá e BRS Cedro (Figura 8). Observou-se que a absorção de N, P e K se intensifica na fase de aparecimento do primeiro botão floral visível (B1), para a cultivar BRS Araçá, e na fase de primeiro botão floral no quarto ramo frutífero (B4), para a cultivar BRS Cedro. Em ambas as cultivares, a absorção ocorre até a abertura da primeira flor do sexto ramo frutífero (F6). Verifica-se que a cultivar BRS Araçá, por ser mais precoce, apresenta maior velocidade de absorção de N, P e K, quando comparada com a BRS Cedro.

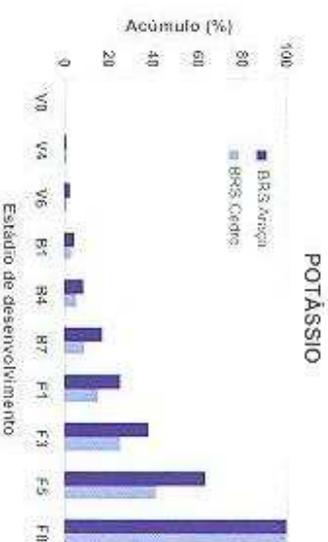
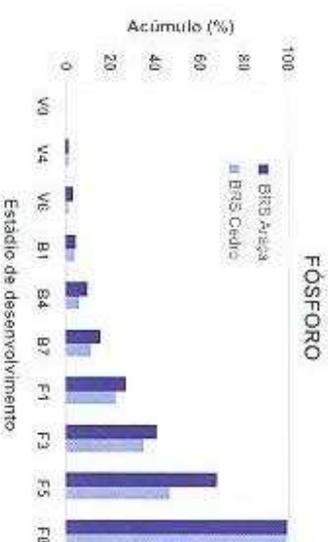
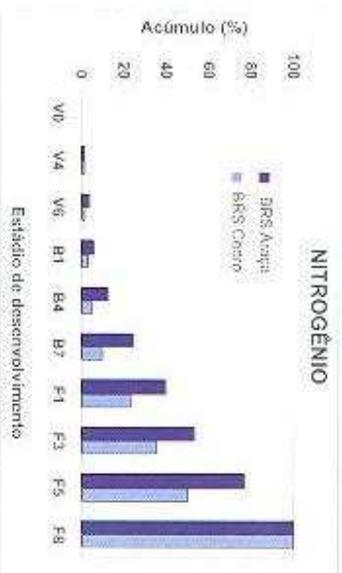


Figura 8. Marcha de absorção de nitrogênio, fósforo e potássio pelas cultivares BRS Araçá e BRS Cedro cultivadas no campo, em Dourados, MS. Fonte: Staul, L.A.—Embrapa Agropecuária Oeste (dados não publicados).

No estágio F5 (primeira flor do quinto ramo frutífero) a cultivar BRS Araçá já apresentava 80% e 63% do total de N e K, respectivamente, absorvidos pela planta, enquanto na BRS Cedro estes valores foram de 50% e 40% para N e K, respectivamente. Tais resultados indicam que o manejo da adubação com esses nutrientes, no que se refere à época de aplicação, deve ser diferenciado, sobretudo em solos arenosos. Nas cultivares de ciclo precoce, a velocidade de absorção é maior e as adubações de cobertura devem ser realizadas mais cedo, entre as fases B1 até B7. Já nas cultivares de ciclo tardio, cuja velocidade de absorção é mais

lenta, as adubações de cobertura com N e K podem ser postergadas, sendo a primeira até a fase B4 e a segunda até a fase F1.

Os resultados de marcha de absorção apresentados demonstram que a planta do algodoeiro continua absorvendo nutrientes por um longo período do ciclo. Isso significa que, no caso de cultivo irrigado, quando for conveniente, os nutrientes podem ser fornecidos parceladamente em diversas aplicações, desde que as doses totais sejam aplicadas até o florescimento pleno.

O importante é que na fase de florescimento todos os nutrientes, principalmente o potássio, estejam disponíveis para permitir a absorção pela planta. Depois dos 90-95 dias após a emergência, a velocidade de absorção de potássio cai bruscamente. Nesta fase, a planta está em processo de enchimento dos frutos e maturação de fibras, exigindo consideráveis quantidades de potássio, o qual é redistribuído para os frutos (ROSOLEM, 2001).

O algodoeiro necessita acumular altas concentrações de K em suas folhas antes da fase de enchimento das maçãs, sobretudo as cultivares mais precoces e cultivadas em locais com possibilidade de períodos de déficit hídrico. Isso porque a partir da formação das maçãs, o desenvolvimento de novas raízes, as quais são as responsáveis pela absorção da maior proporção de água e nutrientes, diminui significativamente, de modo que a capacidade de absorção de nutrientes é inferior à demanda da planta.

19.2.4 - DIAGNOSE FOLIAR

Os teores de nutrientes presentes nas folhas são reflexos das condições de fertilidade dos solos e da adubação realizada na cultura. Assim, existe uma relação direta entre os teores no solo e aqueles presentes nas folhas e desles com a produtividade, até um determinado limite.

A diagnose foliar consiste, basicamente, em se determinar o conteúdo dos nutrientes nas folhas e comparar os resultados, usando as tabelas de interpretação geradas pela pesquisa. Trata-se de uma ferramenta essencial para a avaliação do estado nutricional do algodoeiro e da disponibilidade de nutrientes no solo, sobretudo para os micronutrientes, devendo ser usada em conjunto com a análise do solo e o histórico de uso da área, visando a uma recomendação de adubação que proporcione a máxima eficiência econômica.

Em geral, recomenda-se a coleta de, pelo menos, 25 folhas por área homogênea, colhidas de 25 plantas diferentes, sendo a folha retirada da 4ª ou 5ª posição do caule principal contada a partir do ápice, durante o período de máximo florescimento. Esta folha é a mais adequada para avaliar o estado nutricional da cultura porque está recém-madura completamente expandida, fisiologicamente a mais ativa e se encontra em equilíbrio fisiológico.

É importante destacar que a concentração de K na folha é fortemente influenciada pela idade da folha amostrada e pelo estágio fisiológico da planta. As concentrações de K na folha do algodoeiro, cultivado em condições de campo, tendem a aumentar com a idade da planta até a terceira semana após o início do florescimento. Após essa fase, o requerimento de potássio é superior à capacidade de absorção pelas raízes, de modo que o teor foliar desse nutriente tende a diminuir devido à translocação das folhas para a formação das maçãs. Períodos prolongados de estagem antes da amostragem, como os veranicos que ocorrem no Cerrado, também podem provocar redução na concentração de K na folha, dificultando a interpretação dos resultados de análise.

Os teores de nutrientes considerados adequados para o algodoeiro são apresentados na Tabela 3, cujos valores são consistentes com o que vem sendo observado no campo, em parcelas experimentais e lavouras comerciais. Na Tabela 4 são apresentadas os teores medidos em lavouras de alta produtividade, em alguns locais do Cerrado.

Tabela 3. Teores adequados de nutrientes usados na interpretação dos resultados de análise da 5ª folha do algodoeiro, no estágio de máximo florescimento

N	P	K	Ca	Mg	S
35 a 43	2,5 a 4,0	1,5 a 2,5	20 a 35	3 a 8	4 a 8
----- g/kg -----					
B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
30 a 50	5 a 25	40 a 250	25 a 300	0,5 a 1,0	25-200
----- mg/kg -----					

Fonte: Silva e Rajj (1996) e Malavolta (1987)

Tabella 4. Teores foliares de nutrientes medidos em algumas lavouras de alta produtividade no Cerrado

	N	P	K	Ca	Mg	S
	g/kg					
40 a 45	3 a 4	20 a 25	25 a 35	4 a 8	4 a 6	
B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn	
ng/kg						
40 a 80	8 a 15	70 a 250	35 a 80	1 a 3	30 a 65	

Fonte: Yamada et al. (1999); Malavolta (2002)

19.3 - CALAGEM E GESSAGEM

A correção da acidez do solo é feita com produtos alcalinos que tenham capacidade de neutralizar o pH da solução do solo e precipitar elementos tóxicos às plantas, como o Al trocável e o Mn em alta concentração. Em geral, esses elementos estão em equilíbrio químico com o pH do solo e a elevação deste provoca a sua redução. Além desses fatos importantes, os corretivos, em geral, adicionam elementos importantes à nutrição mineral da planta e ao desenvolvimento do sistema radicular, dos quais o principal é o Ca, seguido de Mg.

A elevação da acidez, a diminuição ou eliminação do Al trocável e o A elevação da acidez, a diminuição ou eliminação do Al trocável e o fornecimento de Ca e Mg à solução do solo, permitem surgir um novo equilíbrio químico e uma dinâmica de nutrientes tal que favorecem a atividade da microbiota do solo, especialmente das bactérias, que aumentam a mineralização da matéria orgânica e os teores de N, S, P B e Mo. Adicionalmente, ocorre redução da adsorção de P pelas argilas do solo e até mesmo as membranas das células radiculares aumentam a capacidade de absorção de nutrientes. Como consequência, a produtividade das culturas aumenta e cresce a entrada de carbono no solo.

Um solo produtivo deve ter essa dinâmica favorável (índices adequados de fertilidade, associados com boa estrutura do solo e microbiota atuante) na maior profundidade possível ou, ao menos, em toda extensão do sistema radicular efetivo da cultura. No caso do algodoeiro, o sistema radicular é pivoteante e a raiz principal cresce cerca de 3 vezes mais rápido do que a parte aérea, alcançando 25 cm na

abertura dos cotilédones e 90 cm de profundidade quando a planta alcança 25 cm de altura, em solos quimicamente corrigidos e fisicamente bem estruturados (McMICHAEL, 1990, citado por ROSOLEM, 2001b). Numerosas raízes laterais surgem, formando tapetes com densidade variável e decrescente da superfície até camadas mais profundas que 2,5 m (McMICHAEL et al., 1996). O crescimento radicular termina e começa a regredir com o amadurecimento dos frutos aos cerca de 130 dias do plantio. Nesse ponto, McMichael et al. (1996) mostrou que se forma uma rede tridimensional no perfil do solo com densidade média de até 2 a 1 cm/cm² de solo nos primeiros 30 cm de profundidade, 1,0 a 0,5 cm/cm² a até 130 cm de profundidade, quando a densidade diminui para <0,5 cm/cm². Entretanto, a raiz pivoteante pode ir além dos 2,5 m de profundidade.

Em estudos conduzidos em solo fértil, siltoso, do Alabama/EUA, o algodoeiro produziu 1.698 kg/ha de fibra, com as plantas tendo crescimento médio radicular de 427 m/planta, mas cerca de 70% das raízes se concentravam na camada de 0 a 30 cm (Schwab et al., 2000). Em São Paulo, foram encontradas raízes com 1,5 a 2,0 m de profundidade, com crescimento lateral de até 1,5 m, mas 80% das raízes localizadas no primeiros 20 cm de profundidade e 70% delas concentradas de 0-30 cm de distância do tronco das plantas (Malavolta, 1987).

Na Bahia, encontraram-se raízes do algodoeiro a até 2,54 cm de profundidade (Figuras 9 A e B) (JCO Assessoria Agronômica, 2005)¹, em área com produtividade de até 360 @/ha. Como o solo da região, das classes dos Latossolos Amarelos, Amarelos-Vermelhos e Neossolos Quartzarênicos, têm textura arenosas a médias, sendo naturalmente ácidos e pobres em nutrientes, tanto na superfície como em profundidade, esse forte desenvolvimento radicular só é possível devido ao uso de altas quantidades e frequência de aplicação de corretivos da acidez, como calcário e gesso, e de adubação corretiva com fósforo. Desse modo não é surpreendente que até a cultura da soja e do milho na região tem desenvolvido raízes a grandes profundidades, tendo sido encontradas a até 140 cm (Figuras 10 A, B e C). Produtividades médias superiores a 70 sc de soja e de 180 sc de milho são comuns na região na sucessão com o algodoeiro.

Para garantir o crescimento radicular em grandes profundidades tem sido usadas grades aradoras de 10 discos, com diâmetros de 106,68 cm (42 polegadas), para incorporar fertilizantes e corretivos a até 40cm de profundidade (Figura 11 A e B). Na sequência, planta-se culturas de cobertura de solo para produzir o máximo

¹ JCO Assessoria Agronômica. Necessidade de correção do perfil do solo: experiência do Oeste da Bahia. Disponível em: <http://www>. Acessado em: 22/04/2011.

de palhada possível. A partir do segundo ano, faz-se o manejo da palhada e inicia-se o uso do Sistema Plantio Direto. Também tem sido usado arado escarificador, com hastes cortando abaixo de 40 cm de solo, seguido de arado de aiveca para tombor a leiva ou inversão das camadas de solo 0 a 20 e 20 a 40 cm – esse processo é chamado pelos técnicos de “aivecação”.

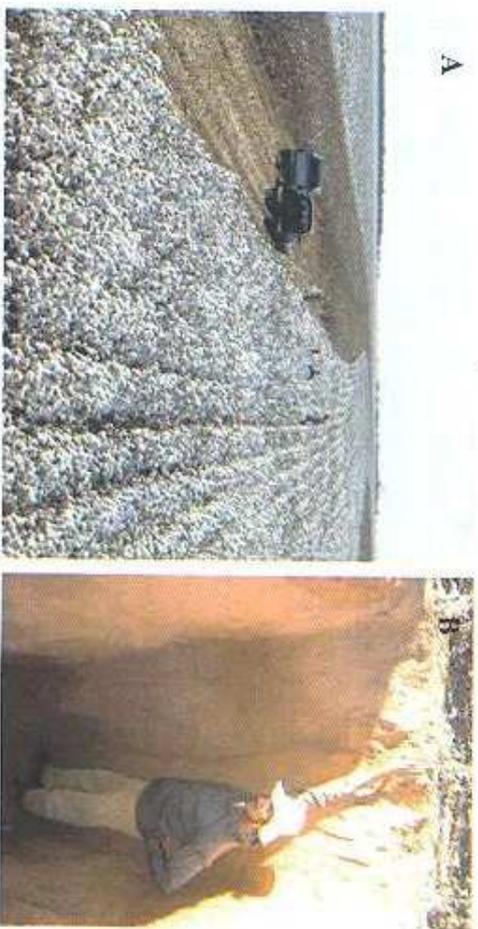


Figura 9. Área de algodão Delta Opal, produzindo 360 @/ha (A). Pivô central do algodoeiro a 2,54 m de profundidade (B). Fazenda Vitória, bloco 4, São Desidério/BA, Fonte: JCO Assessoria Agronômica (2005). Fotos: José Cláudio Oliveira.



Figura 10. Crescimento radicular profundo da soja e do milho em áreas do cerrado da Bahia. A – Visão de campo de soja com produtividade de 70 saca. B e C – Raízes da soja e do milho encontradas a até 140 cm de profundidade. Fonte: Candioti (2011) e Circuito Verde Assessoria e Pesquisa (2010).



Figura 11. Grade aradora de arrastro (A) com 20 discos de corte de lâminas recortadas e 42 polegadas (B), puxada por trator de 400 HP. Ela é usada para incorporar calcário, gesso, fósforo e micronutrientes a até 40 cm de profundidade. Fonte: Valmor dos Santos, 2009. Fotos: Valmor dos Santos.

Apesar da pesquisa científica na região ainda não ter demonstrado a efetividade desta prática na sustentabilidade do uso do solo e haver o risco de adensamento natural do solo, devido à menor estabilidade de agregados, baixo teor de carbono e menor CTC do solo da camada B1, que é invertida ou misturada com o horizonte A, os produtores têm conseguido obter altas produtividades. Testes feitos com arado comum e arado de aiveca a 40 cm de profundidade têm mostrado produtividades de 255 e 291 @/ha, respectivamente (ALTMANN, s/d)¹.

Como mostrado na seção abaixo, as informações de pesquisas na área de cerrado foram efetuadas para correção com calcário e fósforo da camada de 0 a 20 cm de profundidade, onde esses insunhos são incorporados com aração e gradagem. De fato, nesse sistema o calcário corrige o pH e eleva rapidamente os teores de Ca e Mg, além dos teores de P disponível serem elevados pelo fertilizante aplicado em adubação corretiva.

A gessagem, por outro lado, prescinde de incorporação profunda. O gesso é muito solúvel e facilmente se dissolve e lixiviado para as camadas mais internas do solo, onde deverá eliminar a toxidez ou reduzi-la pela diminuição da atividade de Al trocável e enriquecimento de bases trocáveis.

Como no cerrado os veranicos são frequentes, toda prática que melhore o perfil do solo é bem vinda e deve ser objeto de intensa pesquisa para estabelecer sua efetividade. Esta é a fase, portanto, em que se encontra a técnica da incorporação ultraprofunda de corretivos e fertilizantes com “gradão” ou arado de aiveca.

¹ ALTMANN, N. Manejo da Fertilidade do Solo e a Sustentabilidade do Sistema Plantio Direto. Palestra. Disponível em: < <http://www.sigmac.com.br/sites/1200/1280/00000139.pdf> > Acessado em 22/04/2011.

A acidez dos solos, acompanhada da presença de alumínio trocável e/ou baixos teores de cálcio, afeta negativamente o desenvolvimento radicular e o crescimento do algodoeiro, refletindo diretamente na produtividade. Há relatos de perspectivas de redução de produtividade em solos com pH em água inferior a 5,5.

A calagem é a prática adequada para solucionar este problema e tem o objetivo de corrigir a acidez, neutralizar o alumínio trocável, elevar a saturação por bases e fornecer cálcio e magnésio para a cultura. Além desses efeitos diretos, as culturas são beneficiadas indiretamente pelo aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) e da disponibilidade de nutrientes, especialmente nitrogênio, enxofre, fósforo e molibdênio.

No Cerrado, o critério mais utilizado para determinar a quantidade de calcário a ser aplicada no solo é o método da saturação por bases. Esse método se baseia na relação estreita que existe entre a saturação de bases e o pH do solo, medido em solução de CaCl_2 0,01M.

Em solos arenosos (teor de argila menor que 150 g/kg), o método de saturação por bases pode subestimar a necessidade de calagem. Assim, pode-se utilizar o método de neutralização do alumínio ou do aumento dos teores de Ca e Mg trocáveis, considerando o maior valor encontrado em uma das duas seguintes equações:

$$NC \text{ (t/ha)} = (2 \times \text{Al}) \times f \quad \text{ou} \quad NC \text{ (t/ha)} = 2 - (\text{Ca} + \text{Mg}) \times f$$

Todas as fórmulas de cálculo da necessidade de calagem citadas acima são feitas com base na área de um hectare, na profundidade padrão de 20 cm, que é a camada de solo que pode ser alcançada com os arados de disco ou grades aradoras comuns entre os agricultores, e uso de calcário com PRNT igual a 100%. Para condições diferentes da prevista é necessário corrigir o cálculo da quantidade de calcário (QC) a ser usada com a fórmula:

$$QC \text{ (em t)} = NC \text{ (t/ha)} \times \text{área a ser corrigida} / 10.000 \text{ m}^2 \times \text{profundidade do arado} / 20 \text{ cm} \times \text{PRNT} / 100$$

Assim, se a recomendação é de aplicar 2,5 t/ha de calcário PRNT 100, mas no mercado o mais econômico tiver 70% de PRNT e sua incorporação for a 40 cm de profundidade, será necessário aplicar 7,1 t/ha deste produto na área. Em geral, para dar maior homogeneidade de distribuição na área, deve-se dividir em duas partes iguais,

aplicar e arar, quanto a quantidade de calcário a ser aplicada é superior a 5 t/ha.

Valores de saturação por bases na faixa de 45% a 50% são suficientes para neutralizar o alumínio tóxico. Porém, o nível de exigência do algodoeiro em saturação por bases está relacionado, também, com a tolerância das culturas à disponibilidade de manganês no solo. Rosolem e Ferrelli (2000) observaram que a cultivar IAC 22 foi mais sensível à toxicidade de Mn e as cultivares CNPA-ITA 90 e COODETEC 401, por outro lado, foram mais sensíveis à deficiência de Mn. Num experimento de campo, conduzido por três anos, em solo argiloso do Cerrado do Mato Grosso, a cultivar Fibernax 966 foi mais responsiva à calagem que a cultivar ITA 90, embora o aumento de produtividade só tenha ocorrido até a saturação por bases de 45% (ZANCANARO et al., 2004b). Dados de Ferreira et al. (2010), com calagem do algodoeiro no Cerrado do Estado de Roraima, também mostram que a produtividade tende a estabilizar em saturação por bases superiores a 40% na BRS Cedro, com máximo em V igual 53%. Nesse ponto, o pH 5,7 no solo argiloso e 6,2, no de textura média (Figura 12 A e B).

Os dados obtidos em diversos experimentos, conduzidos pela Embrapa Cerrados indicam que a produtividade de grãos das culturas de soja, milho, trigo e feijão, cultivadas em sequeiro, aumenta com a saturação por bases até 40%, estabiliza entre os valores de 40 e 60% e tende a diminuir quando a saturação por bases é maior que 60%. Para valores de saturação por bases maiores que 60% o pH em água do solo será maior que 6,3, podendo ocorrer deficiência induzida de micronutrientes catiônicos, especialmente de manganês. Em função desses dados, Sousa e Lobato (2004c) recomendam, para o Cerrado, calagem para atingir saturação por bases de 50%, em sistema de sequeiro, e 60% em sistemas irrigados.

Por outro lado, há evidências que a cultura do algodoeiro responde positivamente à calagem no Cerrado até a saturação por bases de 60%, mesmo em condições de sequeiro. Um exemplo disso é mostrado na Figura 13, com resultados de experimentos de longa duração conduzidos pela SLC Agrícola, em áreas de Cerrado dos Estados do Mato Grosso do Sul e Maranhão. No estado de Goiás, em cinco experimentos, conduzidos durante três safras em solos argilosos, as maiores produtividades de algodão foram obtidas com saturação por bases entre 50% e 60% na camada 0-20 cm, dependendo da cultivar plantada. Quando a saturação por bases passou de 70% houve redução da produtividade e dos teores de Mn na folha para níveis considerados deficientes pela literatura.

Na prática, no sistema de rotação de culturas, a calagem deve atender à cultura mais exigente em saturação por bases. Assim, considerando que a maioria

das cultivares de algodoeiro plantadas no Cerrado atinge seu máximo potencial produtivo na faixa de saturação por bases do solo de 50 a 60%, é recomendável que, quando o algodoeiro estiver incluído no sistema de rotação de culturas, a calagem seja realizada para que a saturação por bases do solo fique efetivamente dentro dessa faixa, devendo-se fazer reaplicação quando esse valor cair para níveis abaixo de 50%.

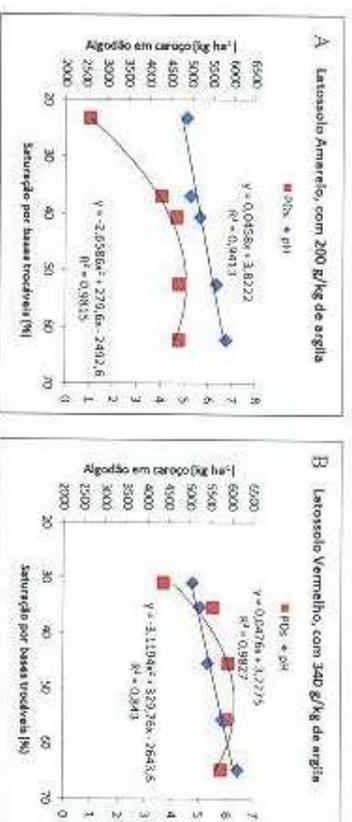


Figura 12. Produtividade do algodoeiro BRS Cadore, na abertura de cerrado nativo do Estado de Roraima, em função de volume de saturação por bases trocáveis. A – Campo Experimental Água Boa, dose máxima de calcário aplicado de 3,5 t/ha; CTC a pH 7,0 inicial = 3,3 cmol/dm³; valor V inicial = 26%; B – Campo Experimental Monte Cristo, dose máxima de calcário aplicado de 4,9 t/ha; CTC a pH 7,0 inicial = 4,5 cmol/dm³; valor V inicial = 32%. Calcário dolomítico, PRNT 95%, incorporado na camada 0-20 cm. Observou-se a soma das produtividades obtidas nas satras (2007 e 2008) conduzidas para abertura da área. Fonte: Ferreira et al. (2010).

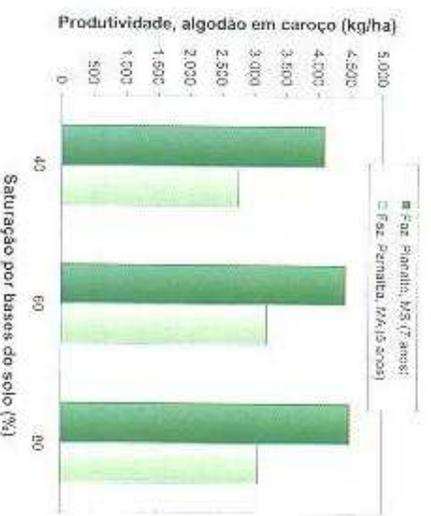


Figura 13. Produtividade de algodão em caroço, em função da saturação por bases do solo, em duas Fazendas da SIC Agrícola, localizadas em Costa Rica, MS (média de 7 anos) e Tasso Fragoso, MA (média de 5 anos). Fonte: Adaptado de Altmann (2006)¹.

¹ ALTMANN, N. Adubação em sistemas de produção. Palestra apresentada em 26/05/2006 no Dia de Campo da Fundação CO, em Santa Helena de Goiás, Goiás. Disponível em: www.fundajoggo.com.br/publicacoes/index.php. Acessado em: 21/03/2007.

É importante ressaltar que a alteração da saturação por bases é lenta no tempo e o uso deste critério de calagem, visando ao alvo de 60%, pode não ser alcançado no mesmo ano devido à acidificação anual do solo pela mineralização da matéria orgânica, adição de fertilizantes nitrogenados, perdas por lixiviação e absorção e acidificação do solo pelas raízes das plantas. Assim, caso o calcário seja aplicado superficialmente, sem incorporação, é conveniente que a sua aplicação seja antecipada um ano antes do cultivo do algodoeiro.

19.3.1.1 - Tipo de Calcário

O tipo de calcário (calcítico, dolomítico ou magnesiano) não influencia a eficiência da calagem, com relação à correção da acidez. Entretanto, como o algodoeiro é exigente em magnésio e, também, devido às elevadas quantidades de potássio que são aplicadas na adubação da cultura, indica-se o uso de calcário dolomítico (MgO > 12%) ou magnesiano (MgO = 6 a 12%) quando o teor de magnésio no solo for inferior a 0,7 a 1,0 cmol/dm³ (dependendo do teor de argila) e/ou a saturação de Mg na CTC for inferior a 13%.

No caso de serem observados sintomas de deficiência de magnésio em solos com acidez corrigida por aplicação contínua de calcário calcítico, o nutriente deve ser fornecido na adubação com fórmulas que o contenha. Opcionalmente, pode-se corrigir a deficiência aplicando 300 a 500 kg/ha de calcário dolomítico no sulco de plantio (3ª caixa) ou a lanço.

19.3.2 - GESSAGEM

Para o algodoeiro, mais importante que elevar a saturação por bases da camada superficial do solo para valores acima de 50-60% é favorecer o aprofundamento do sistema radicular nas camadas sub-superficiais, buscando-se aumentar a saturação por bases nas camadas de 20-40 a 40-60 cm de profundidade. O calcário tem efeito limitado abaixo da camada de incorporação, que normalmente é até 20 a 30 cm de profundidade.

Vários trabalhos de pesquisa, sobretudo na região do Cerrado, têm demonstrado que o gesso por ser mais solúvel e mais móvel no solo que o calcário, apresenta a capacidade de aumentar os teores de cálcio e enxofre e diminuir a saturação por alumínio trocável nas camadas sub-superficiais do solo. Com isso, criam-se condições químicas mais favoráveis para o aprofundamento do sistema radicular, permitindo a exploração de maior volume de solo e maior absorção de água e nutrientes pelas plantas. Nessas condições, as plantas superam com maior

facilidade a deficiência de água durante a ocorrência de “veranicos”, como os que freqüentemente ocorrem no Cerrado.

Em experimento conduzido na área experimental da Fundação GO/Embrapa, em Santa Helena de Goiás, em solo argiloso cuja saturação por bases na camada de 20-40 cm foi inferior a 30%, a aplicação de 1.500 kg/ha de gesso aumentou os teores de cálcio, magnésio e enxofre nas camadas abaixo de 20 cm de profundidade, proporcionando maior distribuição de raízes do algodoeiro e aumentando a produtividade no primeiro ano de aplicação (FERREIRA e CARVALHO, 2005).

Tem sido observado que, com a aplicação de gesso o Ca trocável aumenta de modo praticamente uniforme em profundidade, enquanto que Mg e K são deslocados da camada superficial para o subsolo. O movimento de Mg e K para as camadas sub-superficiais do solo é devido à substituição destes cátions pelo Ca nos sítios de troca, sendo o SO_4^{2-} o ânion acompanhante nessa movimentação. Contudo, deve-se considerar que a aplicação de gesso cria condições favoráveis para que as raízes penetrem no subsolo e absorvam esses elementos nas camadas mais profundas, não constituindo, necessariamente, em perdas.

Entretanto, maiores cuidados são necessários quando se trata de solos arenosos, nos quais a velocidade de movimentação de Mg e K é maior que nos solos argilosos. No Oeste da Bahia, fez-se um estudo de longo prazo, por cinco anos, para verificar a resposta do algodoeiro à aplicação de gesso em dois experimentos de campo, sendo um deles conduzido em solo de textura franco-arenosa, no município de São Desidério, e o outro em solo de textura franco-argilosa, no município de Barreiras. Tanto primeiro quanto no quarto ano do ensaio, não houve aumento de produtividade com a aplicação de gesso e ocorreu forte lixiviação de K e Mg. Na Figura 14 são mostrados os resultados da distribuição de K e Mg no perfil do solo até 100 cm de profundidade, indicando que houve perdas significativas de potássio mesmo com a menor dose aplicada (0,5 t/ha). Apesar das perdas terem se repetidos a cada ano, a sua intensidade não foi tão grave como observado no primeiro ano do estudo, como medido na safra 2006/2007 (Figura 15 A, B e C). Nos anos, entretanto, como não houve aumento na produção, a aplicação de gesso teve um custo indireto em potássio, reduzindo a renda líquida. Na safra 2005/2006, a produtividade média foi baixa nas áreas estudadas de 222 e 255 @/ha, respectivamente, nas Fazendas Mineira e Marechal Cândido Rondon. Assim, provavelmente, outros fatores interferiram na resposta. Na safra 2008/2009, a produtividade foi baixa na Fazenda Marechal Rondon (258 @/ha) e elevada (295 @/ha) na Fazenda Mineira, provavelmente a regularidade climática não permitiu a expressão

da resposta ao gesso. Mas na safra 2006/2007, o algodoeiro respondeu a até 4 t/ha de gesso, produzindo 360 @/ha (Figura 15D).

Apesar da lixiviação de bases trocáveis no perfil, o algodoeiro e o milho no cerrado na Bahia têm mostrado que, em condição de alto potencial produtivo, respondem fortemente a aplicação anual de gesso, apresentando resposta em produtividade até mesmo a re-aplicação de doses tão alta como 4 t ha⁻¹ ano⁻¹. Entretanto, mesmo nesta situação, se provou ser possível manter níveis de enxofre disponível no perfil do solo, suficientes para produções superiores a 300 @ ha⁻¹ ano⁻¹ de algodão em caroço ou 150 se ha⁻¹ ano⁻¹ de milho, com a reaplicação anual

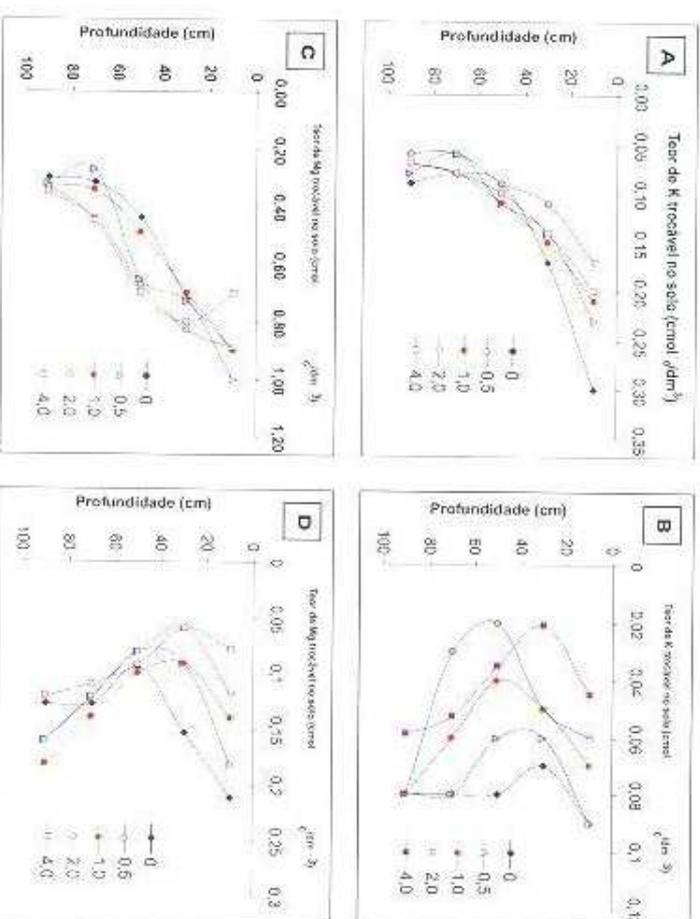


Figura 14. Distribuição de K e Mg até 100 cm de profundidade em solos de textura média (A e B) e arenosa (C e D) do Oeste da Bahia, em função de doses de gesso. Para o solo de textura média (A e B), nas camadas de 20 a 40 e 40 a 60 cm, respectivamente, os teores de Ca foram 1,31 e 0,77 cmol/dm³ e a os valores de saturação por Al foram 7,2% e 19,5% (A e B). No solo de textura arenosa (C e D), camadas de 20 a 40 e 40 a 60 cm, respectivamente, os teores de Ca foram 0,58 e 0,28 cmol/dm³ e a os valores de saturação por Al foram 11,4% e 28%. Fonte: Ferreira, G.B. – Embrapa (dados não publicados).

de 0,5 a 1,0 t ha⁻¹ ano⁻¹ de gesso (Figuras 15, 16 e 17). Nessas doses, são compatibilizadas a necessidade de alto nível de produtividade, menor custo e risco financeiro pelo uso do enxofre e menor perda de potássio e magnésio da camada arável do solo. Os teores máximos de S disponível encontrados no perfil do solo se encontram nas camadas de 40 a 80 cm naqueles de textura argilosa e de 60 a 100 cm, nos de textura arenosa.

De acordo com Sousa e Lobato (2004c), as maiores possibilidades de resposta ao uso de gesso, como melhorador do subsolo, ocorrem quando o teor de cálcio nas profundidades de 20 a 40 cm e de 40 a 60 cm for inferior a 0,5 cmol/dm³ e a saturação de alumínio na CTC efetiva desta mesma camada [Al ÷ (Ca+Mg+K+Na) x 100] for superior a 20%. Segundo esses autores, observando-se uma dessas condições, indica-se a aplicação de gesso ao solo. Essa previsão foi recentemente confirmada por Ferreira et al. (2010), na incorporação de solos nativos de cerrado de Roraima.

Já Alvarez V. et al. (1999) recomendam a aplicação de gesso quando as camadas subsuperficiais do solo (20 a 40 cm ou 30 a 60 cm) apresentem uma ou mais das seguintes características: Ca trocável inferior a 0,4 cmol/dm³; Al trocável maior que 0,5 cmol/dm³; e saturação por alumínio na CTC efetiva maior que 30%.

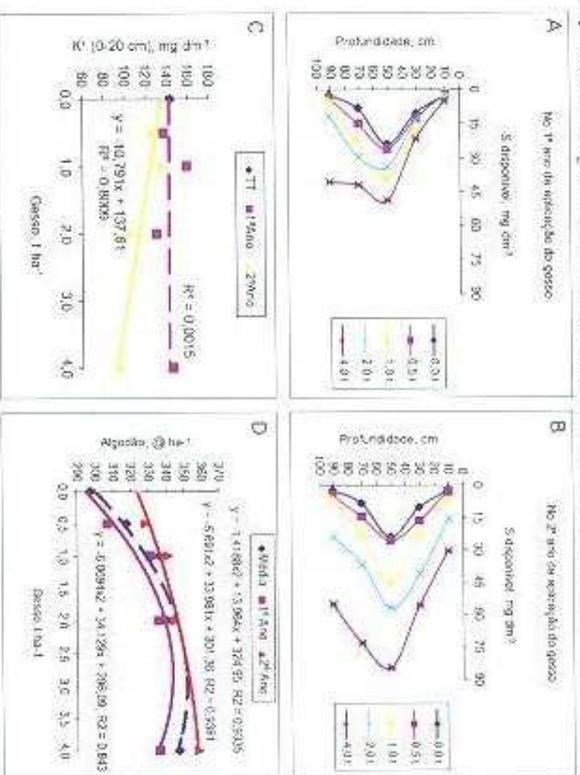


Figura 15. Variação nos teores de S disponível (A e B), nas perdas de potássio (C) e na produtividade de algodão em caroço em parcelas com gesso e sem gesso apenas no primeiro ano (safa 2005/2006) e em parcelas com reaplicação de gesso (safa 2006/2007). Fazenda Mineira, Safa 2006/2007. Barretos, BA. Fonte: Ferreira et al. (2007).

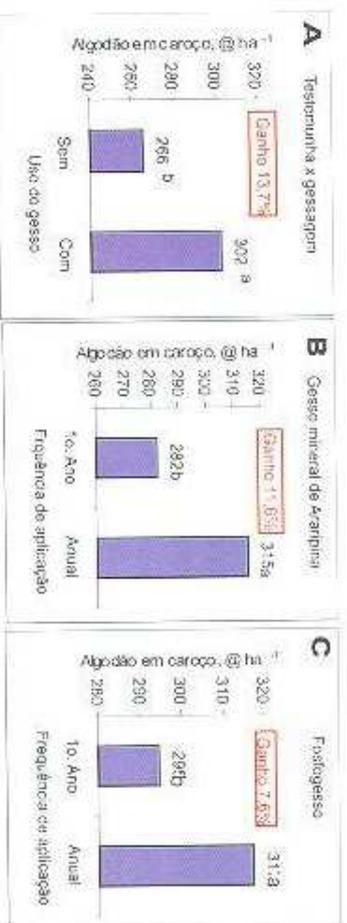


Figura 16. Variação na produtividade de algodão em caroço pelo uso da gessagem (A), do gesso mineral (B) e do fostogesso (C), em duas frequências de aplicação no cerrado da Bahia. Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade. Fazenda Marçal Rondon, safra 2007/08, São Desidério, BA. Fonte: Ferreira et al. (2008).

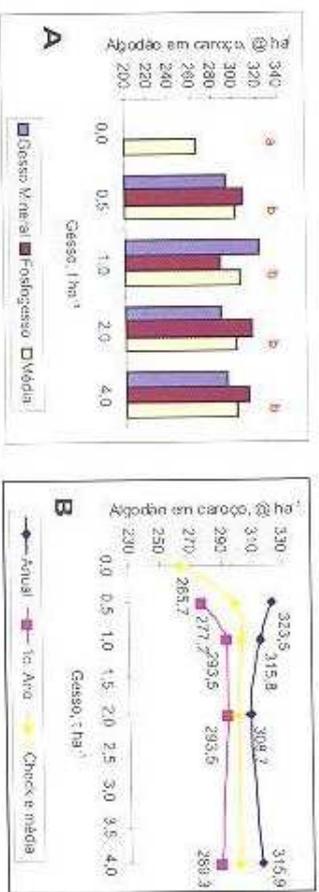


Figura 17. Variação na produtividade de algodão em caroço (A e B) em função da aplicação de doses crescentes de gesso de duas fontes distintas: fostogesso e fosfato natural, e duas frequências de aplicação. Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade; ns, *, **, *** e ****. Não significativo e significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade pelo teste F. Fazenda Marçal Rondon, safra 2007/08, São Desidério, BA. Fonte: Ferreira et al. (2008).

Existem vários métodos de recomendação de gesso sendo utilizados no Brasil, quase todos considerando o teor de argila do solo. Os leitores interessados em mais detalhes podem consultar a revisão efetuada por LOPES et al. (2004). De modo geral, a necessidade de gesso (quantidade a aplicar) calculada por esses métodos varia de 400 kg/ha (solos com teor de argila menor que 150 g/kg) até 3.000 kg/ha (solos com teor de argila maior que 600 g/kg).

Visto que a cultura do algodão extrai apenas 6 kg/ha de S para cada tonelada produzida de algodão em caroço, o uso de apenas 40 kg/ha do nutriente abastece

com sobras toda a demanda cultura para alcançar até 400 @/ha. Porém, doses de gesso (16% de S) superiores a 250 kg/ha já supre a totalidade da demanda de nutrientes. A resposta em produtividade ao uso do gesso, em geral, dificilmente ocorre devido ao seu efeito no suprimento de S apenas, mas sim ao enriquecimento do perfil do solo em diversos nutrientes e à ocorrência de veranico que impede a adequada nutrição da cultura pela absorção dos nutrientes presentes nas camadas superficiais do solo. Nesse contexto, o uso do gesso nutre a planta com nutrientes essenciais a obtenção de altas produtividade e, principalmente, possibilita pouca perda de produtividade nos estresses hídricos recorrentes no cerrado.

Assim, apesar de seu efeito sobre a produtividade não ser necessariamente observado todo ano, seu uso é imprescindível.

Entretanto, considerando as evidências de excessiva lixiviação de Mg e K com a utilização de doses elevadas de gesso, principalmente em solos de textura média e arenosa, Lopes et al. (2004) sugerem considerar os seguintes pontos, visando minimizar os possíveis efeitos negativos da gessagem:

- a) Para solos com características de acidez na camada superficial, convém fazer calagem 60 a 90 dias antes da aplicação de gesso;
- b) Em solos com teores baixos de magnésio, a calagem prévia deve ser feita com calcário magnesiano ou dolomítico;
- c) Cada tonelada de gesso por hectare poderá elevar o teor de cálcio em até 0,5 cmol/dm³, com base nesse valor, deve-se limitar a dose de gesso à no máximo 20% da CTC a pH 7,0, ocupada por cálcio proveniente do gesso.

A tomada de decisão sobre a aplicação de gesso depende, também, do custo com o transporte, visto que nem sempre o uso de gesso resulta em aumento de produtividade, embora proporcione maior absorção de água e nutrientes e torna a cultura mais resistente ao estresse hídrico durante a ocorrência de períodos de estiagem. Caso haja dúvidas sobre as suas vantagens econômicas, cabe ao produtor fazer um teste prévio em uma pequena área de sua lavoura.

19.4 - ADUBAÇÃO COM MACRONUTRIENTES

19.4.1 - ADUBAÇÃO COM NITROGÊNIO

19.4.1.1 - Matéria Orgânica e Disponibilidade de Nitrogênio para o Algodoeiro

O nitrogênio é um nutriente absorvido em grande quantidade pelo algodoeiro que acumula, durante o seu ciclo, de 50 até 85 kg de N para produzir uma tonelada de algodão em caroço, dependendo das condições climáticas, das cultivares, produtividade alcançada, nível de fertilidade dos solos cultivados e doses de fertilizantes aplicados (Tabelas 3.4). Considerando uma extração média de 67 kg/t e produtividades de 2.500 kg/ha a 6.000 kg/ha de algodão em caroço, alcançada em muitas lavouras na região do Cerrado, a quantidade de nitrogênio extraída do solo é cerca de 170 a 400 kg/ha. Do total absorvido, menos de 50% são exportados na forma de fibra e sementes, de modo que pelo menos a metade do nitrogênio extraído retorna ao solo nos restos culturais, o que deve ser considerado no planejamento da adubação dentro de um sistema de rotação de culturas.

O nitrogênio é o elemento mais dinâmico dentre os nutrientes usados pelas culturas. Sua abundância e disponibilidade refletem a riqueza e o equilíbrio biológico mantidos sobre e dentro do solo pela comunidade ecológica existente (plantas, micro e mesofauna e flora do solo). Cerca de 5% da matéria orgânica existente é constituída de nitrogênio, cuja forma orgânica perfaz 94-96% do N total, ficando o restante para as formas inorgânicas (NO₃⁻ e NH₄⁺) que são absorvidas pelas plantas. Assim, a reserva de nitrogênio no solo é estreitamente relacionada com o conteúdo de matéria orgânica.

Para as condições do cerrado, estima-se que cada 1% de matéria orgânica, na camada 0-30 cm do solo, pode fornecer até 75 kg/ha/ano de nitrogênio disponível para as culturas. Considerando-se que o teor de matéria orgânica na maioria dos solos do Cerrado se situa entre 1,5 a 3%, estima-se que a quantidade de nitrogênio potencialmente mineralizável gira em torno de 113 a 225 kg/ha/ano. Mais nitrogênio entra no sistema solo-planta pela fixação biológica por organismos de vida livre, por bactérias associadas às raízes de leguminosas e pelas descargas elétricas na atmosfera, mas outras quantidades estão sendo perdidas por lixiviação, volatilização, desnitrificação e erosão natural, que tenderão a manter o sistema em equilíbrio.

O exercício de cálculo efetuado acima sugere que as quantidades de N disponibilizadas pelo ambiente são insuficientes para suprir a demanda média total de nitrogênio da cultura do algodão, sendo necessária a aplicação de adubos nitrogenados para complementar a oferta do sistema. Entretanto, pelos resultados obtidos em diversos experimentos com adubação nitrogenada do algodoeiro no

Cerrado, verifica-se que o sistema mantém estável no tempo uma quantidade do nutriente passível de ser manejada para uso do algodoeiro, com complementação por meio da adubação apenas para repor a exportação promovida pela colheita do algodão em caroço (cerca de 70 a 170 kg/ha/ano, considerando exportação de 28 kg/t e produtividade entre 2.500 a 6.000 kg/ha). Esse manejo permite suprir a demanda total do algodoeiro por nitrogênio, fornecer as quantidades mínimas exigidas para alcançar a produtividade máxima econômica e evitar improbecimento do sistema.

Em sistema de plantio convencional, no qual o solo é revolvido anualmente, os teores de matéria orgânica são reduzidos rapidamente, sobretudo em solos com baixo teor de argila. Com a redução do estoque de nitrogênio no solo, há necessidade de se aplicar maiores quantidades de fertilizantes para manter os níveis de produtividade. Neste caso, o risco de contaminação ambiental é muito mais alto, pois, não havendo estoque de carbono e atividade biológica significativa no solo, o nitrogênio aplicado e não absorvido pela cultura tende a ser lixiviado para o lençol freático.

19.4.1.2 - Resposta do Algodoeiro à Adubação Nitrogenada - Doses

O nitrogênio tem sido o elemento mais importante para a produção do algodão, já que, em quantidades baixas ou altas, a maioria dos solos necessita da adição de fertilizantes nitrogenados para a obtenção de rendimentos satisfatórios. Os resultados de experimentos de campo têm demonstrado que é possível relacionar a resposta do algodoeiro a nitrogênio com a intensidade do uso da área e o potencial de produtividade.

Vários autores relataram aumento na produtividade do algodoeiro com o uso do nitrogênio, embora em alguns casos a resposta seja pequena ou ausente. As variações encontradas na intensidade da resposta a esse nutriente são decorrentes de diferenças climáticas, que influenciam o potencial de produtividade, características do solo (textura, teor de matéria orgânica, presença de camada compactada), sistema de manejo do solo, culturas antecedentes e pragas do solo (nematóide).

Na região do Cerrado, em solos cultivados por vários anos e com a fertilidade corrigida, o nitrogênio é o macronutriente que o algodoeiro tem respondido com maior frequência à adubação, enquanto a resposta ao fósforo e ao potássio é pequena ou ausente (FERREIRA e CARVALHO, 2005; ZANCANARO e TESSARO, 2006).

No Estado de Goiás, foram conduzidos, entre as safras 2002/2003 a 2005/2006, nove experimentos em diversos municípios com doses de nitrogênio (isoladas ou combinadas com doses de K_2O e P_2O_5), todos em solos argilosos (teor de argila entre 350 e 600 g/kg). Os dados indicaram que a maior parte do nitrogênio acumulado na planta do algodoeiro durante o seu ciclo é originada da mineralização da matéria orgânica do solo e/ou dos resíduos vegetais de culturas antecedentes, visto que as produtividades de algodão em caroço obtidas sem a aplicação de fertilizantes nitrogenados variaram de 1.530 kg/ha a 4.774 kg/ha, correspondendo ao acúmulo de 103 a 320 kg/ha de N, considerando o acúmulo médio de N na planta de 67 kg/t de algodão em caroço. As áreas com longo período de sistema plantio direto e rotação de culturas, que incluem uma leguminosa (soja) e adotam a prática de adubação do sistema, possuem maior potencial de fornecimento de nitrogênio pelo solo. Em função disso, em alguns locais, não houve resposta à adubação nitrogenada ou a resposta foi muito pequena (CARVALHO et al., 2006d). Assim, as doses a serem aplicadas devem ser suficientes para repor as quantidades exportadas anualmente pela colheita e/ou perdidas por lixiviação e volatilização.

Na maioria dos experimentos realizados na região do Cerrado, em condições de sequeiro, respostas econômicas foram obtidas com a aplicação de 70 a 170 kg/ha de nitrogênio (dependendo da textura do solo, teor de matéria orgânica, cultura antecedente e sistema de produção), que possibilitaram produtividades médias de 3.000 até 5.500 kg/ha de algodão em caroço.

Os resultados obtidos no Cerrado de Goiás, as doses de nitrogênio aplicadas em cobertura que proporcionaram o máximo retorno econômico em produtividade de pluma, com os preços vigentes, variaram de 60 a 135 kg/ha de N, dependendo da produtividade alcançada e do manejo da cultura de cobertura ou da palha, quando é adotado o sistema plantio direto (FERREIRA e CARVALHO, 2005; CARVALHO et al., 2006d). Em áreas com poucos anos de plantio direto, cuja cultura antecedente na rotação com o algodoeiro é uma gramínea com palha de alta relação C:N, a resposta do algodoeiro ao nitrogênio é mais expressiva. Para todas as cultivares estudadas, observou-se que a aplicação de doses muito altas de nitrogênio proporciona excessivo crescimento de plantas e tende a reduzir a porcentagem de fibra, que resulta em menor rendimento de pluma. O excesso de nitrogênio também promove o prolongamento do ciclo do algodoeiro, podendo favorecer o apodrecimento de maçãs no baixeiro e terço médio das plantas e ataques tardios de pragas e/ou doenças.

19.4.1.3 - Resposta à Adubação Nitrogenada – Modos e Épocas de Aplicação

Convencionalmente, recomenda-se que a adubação nitrogenada do algodoeiro seja parcelada, parte da dose no plantio (10 a 25 kg/ha de N) e o restante em duas aplicações de cobertura, entre as fases de abotoamento (B1) e Florescimento (F1), de modo que o nutriente esteja disponível no período de máxima absorção pela planta.

Um estudo de campo, conduzido no Mato Grosso, em solo de textura argilosa, demonstrou ser desnecessário o parcelamento da adubação nitrogenada em mais de duas coberturas (FLUNDAÇÃO MT, 2001). As aplicações de N após os 80 ou 100 dias de emergência, além de não terem proporcionado aumento de produtividade, induziram o alongamento do ciclo vegetativo da planta.

No Oeste da Bahia, em solo de textura arenosa (153 g/kg de argila), em ano com boa distribuição de chuvas durante o ciclo da cultura, verificou-se que houve resposta à adubação nitrogenada, mas a produtividade não foi influenciada pelos modos de aplicação testados (Tabela 5). Por outro lado, a produtividade sem adubação nitrogenada foi relativamente alta, indicando que o suprimento de nitrogênio acumulado no solo de safras anteriores foi expressivo, o que pode ter mascarado os resultados. Mesmo assim, o teor de N nas folhas que já estava alto aumentou significativamente com a adubação, passando de 45 g/kg para 52,9 g/kg. Em solos arenosos, em geral, há uma tendência dos teores foliares de nutrientes serem altos, em razão da elevação rápida dos teores no solo com a adubação. Isto permite que a planta mantenha um estoque de nutriente foliar necessário para resistir à variação nos teores de umidade do solo durante a safra.

Em outro ensaio conduzido em solo com 180 g/kg de argila, também no do Cerrado da Bahia, em sistema convencional, em ano de chuvas intensas durante todo o ciclo da cultura, a recuperação de nitrogênio pelo algodoeiro foi influenciada pelo número de parcelamentos da adubação, variando de 40% até 93%, sendo que a recuperação aparente diminuiu com o aumento da dose aplicada (FERREIRA e CARVALHO, 2005). Apesar da maior recuperação aparente da adubação e maior teor foliar de N obtido, a produtividade da cultura não foi alterada com o aumento do número de parcelamentos.

Tabela 5. Produtividade de algodão em caroço e em pluma e teor de N na folha do algodoeiro, em função de doses e modos de aplicação de nitrogênio, em solo arenoso de São Desidério, Bahia

Doses ou modos de aplicação	Algodão		
	em caroço	Pluma	N-folha
Doses de N (kg/ha)			
0	4.293 b ¹	1.833 b	45,3 b
120	4.928 a	2.104 a	52,9 a
180	5.047 a	2.147 a	52,9 a
Modos de aplicação			
100 % pré-plantio (incorporado)	5.231 a	2.217 a	53,8 a
100 % aos 20 DAE	5.218 a	2.218 a	50,3 a
1/3 plantio + 2/3 aos 20 DAE	4.675 a	1.977 a	52,1 a
10% plantio + 2 coberturas aos 20 e 40 DAE	5.004 a	2.137 a	56,6 a
10% plantio + 2 coberturas aos 20, 40 e 55 DAE	4.808 a	2.068 a	51,7 a

¹ Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste F (P<0,1).

Fonte: Ferreira et al. (dados não publicados)

Esses dados indicam que, em solos arenosos, o parcelamento do nitrogênio, aplicando-se parte no plantio e o restante em até duas adubações de cobertura, aumenta efetivamente a eficiência de extração e aproveitamento do nutriente pela planta, devendo ser considerado no manejo da adubação para evitar desperdício de N e aumento inconveniente dos custos de produção.

Apesar disso, os produtores tem se queixado de que é necessário um maior parque de máquina e implementos para fazer aplicações parceladas de nutrientes em grandes áreas, o que também aumenta o custo fixo e imobiliza alto volume de capital. Por outro lado, entrar com máquinas na lavoura no período chuvoso para aplicar pequenas quantidades de produtos altamente higroscópicos, além de contribuir para compactar o solo e pisotear as plantas com o rodado do trator, apresenta sérios inconvenientes como o empedramento do fertilizante, o molhamento e o empingimento dos canais distribuidores, promovendo falta de homogeneidade de distribuição na área. Além do mais, em lavoura sob plantio direto o ideal é aplicar os produtos a lanço, confiando em uma chuva nas horas ou noite seguinte para incorporar o adubo.

Apesar dos estudos necessitarem de maiores aprofundamentos, foi verificado em ensaios na Bahia, em solos arenosos, que a aplicação isolada da uréia é mais efetiva do que sua aplicação conjunta com o cloreto de potássio (Figura 18A), a qual pode deprimir a produtividade quando usada em dose alta (220 kg/ha de N) (Figura 18). Por outro lado, doses altas de N na forma de uréia podem ser aplicadas em dose única aos 22 ± 7 dias para ter maior efetividade sobre a produtividade (Figura 18 C). Doses elevadas no momento do plantio, mesmo aplicada a lanço, pode prejudicar o estabelecimento das plântulas. Do mesmo modo, doses aplicadas além dos 30 dias podem favorecer maior crescimento vegetativo, com ambos os fatores reduzindo a produtividade. Quando usada em mistura com o cloreto de potássio, a aplicação de dose única de uréia teve maior efetividade com dose moderada e aplicada no pré-plantio (Figura 18 D). Provavelmente, ocorre maior perda de N quando aplicado em dose única, a pesquisa falta esclarecer a magnitude do fenômeno, as condições do meio e do clima que potencializa as perdas, o valor financeiro e ambiental dessas perdas e a comparação desses custos com os ocasionados pelo mais intenso uso de máquinas agrícolas, compactação, pisoteio da lavoura, perda do adubo por problemas higroscópicos e por falta de homogeneidade de aplicação, além do maior custo de mão-de-obra.

Quando o algodoeiro é cultivado em sucessão às gramíneas, cujos resíduos deixados sobre o solo possuem elevada relação C:N, pode ocorrer deficiência de nitrogênio em decorrência da possível imobilização do nitrogênio inorgânico pela biomassa microbiana do solo. Esse fato justificaria antecipar a primeira adubação de cobertura com esse nutriente do período tradicional (fase B1 ou 25-30 dias após a emergência) para poucos dias após a emergência (10 a 15 dias), visando evitar uma possível deficiência de nitrogênio e estimular o crescimento vegetativo. Os resultados de um experimento conduzido por duas safras em SPD com o algodoeiro plantado em área com palha de milho e braquiária (Figura 19), mostram que, praticamente, não há diferença entre adiantar as adubações de cobertura ou aplicá-las na época convencional. Porém, os teores de nitrogênio na folha (no florescimento pleno) foram mais elevados quando as coberturas foram realizadas entre os 25 e 55 dias após a emergência. Isso indica que, na ausência de palha de gramíneas com alta relação C:N, ainda é mais seguro realizar as coberturas no período convencional, compreendido entre o surgimento do primeiro botão floral até a primeira flor.

De modo geral, o aproveitamento dos fertilizantes nitrogenados pelas plantas é relativamente baixo, chegando, em muitos casos, a menos que 50%. Em estudo de campo, no Mato Grosso do Sul, Alves et al. (2006) verificaram que a eficiência de uso

do fertilizante nitrogenado pelo algodoeiro (total de 115 kg/ha de N, sendo 25 kg/ha no plantio e o restante em duas coberturas iguais aos 26 e 48 dias após a emergência) foi de 61%. No entanto, 25% do N do fertilizante permaneceram no solo, de modo que 86% do N aplicado encontravam-se no sistema solo-plantas.

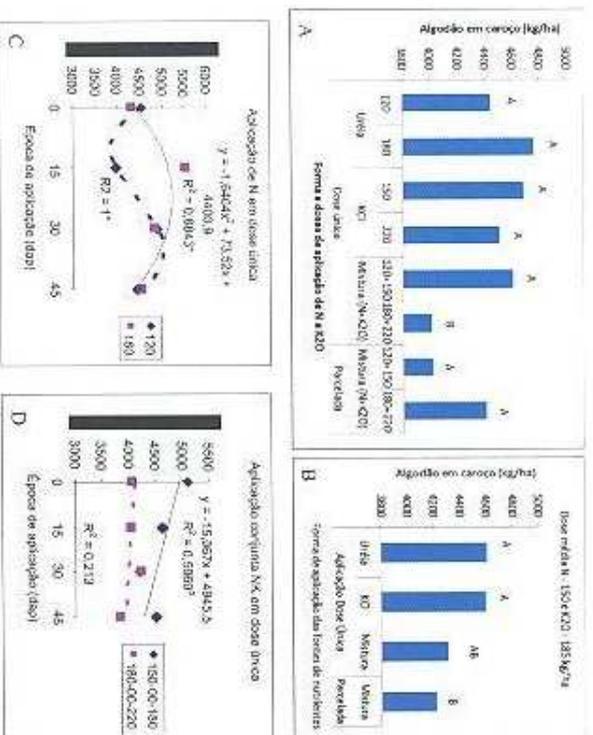


Figura 18. Aplicação de nitrogênio no algodoeiro em solo arenoso do cerrado da Bahia. A – dose x fontes x parcelamento. B – fontes x parcelamento. C – Época de aplicação x doses. D – aplicação simultânea de N e K. O misturando uréia e Cloreto de potássio, em doses diferentes. Fonte: Ferreira et al. (2007).

Dentre os mecanismos de transformação e perda do nitrogênio aplicado no solo, a volatilização de NH_3 é um dos que mais contribuem para a baixa recuperação do N pelas culturas, quando a fonte utilizada é a uréia e esta é aplicada superficialmente sobre a palhada.

A incorporação de uréia no solo tanto mecânica como pela água de chuva ou irrigação é uma forma eficiente de reduzir ou eliminar perdas de $N-NH_3$ por volatilização, porém os custos da incorporação mecânica são mais altos quando comparados com a aplicação superficial (LARA CABEZAS e YAMADA, 2000). Assim, alternativas tecnológicas para evitar essas perdas têm sido buscadas pela indústria de fertilizantes, tais como aditivos com inibidores de urease e de nitrificação, capcamento físico, dentre outros processos. Há relatos de que a mistura de uréia com sulfato de amônio contribuiu para a redução de volatilização de amônia.

19.4.1.4 - Antecipação da Adubação Nitrogenada no Sistema Plantio Direto

Considerando-se a expansão do SPD e os aspectos relacionados com sucessão/rotação de culturas, os produtores têm buscado alternativas de épocas e modos de aplicação de fertilizantes, especialmente para as fontes de nitrogênio, fósforo e potássio, visando principalmente ao maior rendimento operacional, maior eficiência no uso de fertilizantes e a redução de custos. Assim, uma alternativa é antecipar toda ou parte da dose de adubação nitrogenada de cobertura do algodoeiro, aplicando-a no manejo da gramínea usada como cobertura do solo ou na palhada, em pré-semeadura. Essa prática apresenta vantagens operacionais, tais como maior flexibilidade do uso de máquinas e mão-de-obra.

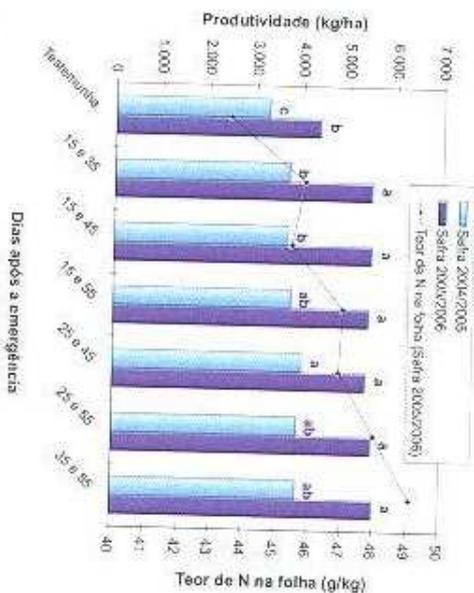


Figura 19. Produtividade e teor de nitrogênio na folha do algodoeiro, em função de épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura, em sistema de plantio direto com palha de gramínea (milho e braquiária). A dose de nitrogênio em cobertura foi 120 kg/ha de N, parcelada em duas partes, iguais; o tratamento testemunha recebeu nitrogênio apenas no sulco de plantio (20 kg/ha de N na safra 2004/2005 e 16 kg/ha de N na safra 2005/2006). Faz. Vargem Grande, Montividiu, Goiás. Fonte: Carvalho et al. (dados não publicados)

No estado de Goiás, têm-se estudado a antecipação da adubação nitrogenada de cobertura do algodoeiro para a braquiária, cultura antecessora utilizada como cobertura do solo, no sistema de plantio direto com integração lavoura-pecuária. Na Tabela 6 são apresentados alguns resultados obtidos em um experimento conduzido nas safras 2004/2005 e 2005/2006, na Fazenda Vargem Grande, em Montividiu, Goiás, em solo argiloso cultivado há 14 anos, em SPD, sendo que nas últimas cinco safras a rotação de culturas predominante na área foi soja (safrinha)/milho+braquiária (safrinha)/algodão.

Pelos resultados apresentados na Tabela 6, não houve diferença entre a aplicação de parte do nitrogênio em pré-plantio e o total em duas coberturas, mas a produtividade tendeu a diminuir na medida em que a quantidade de N aplicada em pré-plantio foi aumentada e a aplicada em cobertura foi reduzida. Nesse caso, é provável que tenham ocorrido perdas do nutriente aplicado por volatilização de amônia ou por lixiviação do excesso que não foi absorvido pelas plantas ou imobilizado pelos microrganismos. Ressalta-se, que a produtividade com a adubação nitrogenada apenas no sulco já foi elevada, confirmando a importância da matéria orgânica do solo no fornecimento de nitrogênio para a cultura.

Esses resultados indicam que, dependendo das condições climáticas, há alternativas à adubação convencional de cobertura do algodoeiro, antecipando-se parte do nitrogênio para o pré-plantio na cultura de cobertura do solo ou após a sua dessecação no manejo da palhada, como forma de aumentar a produção de biomassa da cultura de cobertura, melhorar a cobertura do solo, aumentar a ciclagem de nutrientes e reduzir os efeitos negativos da imobilização do nitrogênio pela biomassa microbiana do solo na fase inicial de desenvolvimento da cultura.

Tabela 6. Produtividade de algodão em caroço (A, caroço) e em pluma (Pluma), em função de épocas de aplicação de nitrogênio na sucessão braquiária/algodão em área cultivada há 14 anos em sistema plantio direto. Dose única de nitrogênio (120 kg/ha de N) com 33-0-0 (mistura 50% sulfato de amônio + 50% ureia) na safra 2004/2005 e nitrato de amônio na safra 2005/2006, Fazenda Vargem Grande, Montividiu, GO

Tratamentos	Safrinha 2004/2005		Safrinha 2005/2006	
	A, caroço	Pluma	A, caroço	Pluma
----- kg/ha -----				
Comparação testemunha vs. adubado				
Testemunha (nitrogênio apenas no sulco) ¹	4.776 b ²	2.002 b	4.774 b	2.030 b
Adubado	5.732 a	2.354 a	5.572 a	2.392 a
Comparação pré-plantio vs. cobertura				
Pré-plantio a longo (PP)	5.714 a ²	2.349 a	5.587 a	2.399 a
Cobertura (50% na fase B1 + 50% na F1)	5.874 a	2.394 a	5.413 a	2.309 a
Comparação pré-plantio: braquiária vs. palhada				
PP braquiária	5.536 b ²	2.279 b	5.546 a	2.391 a
PP palhada	5.893 a	2.418 a	5.633 a	2.409 a

Comparação entre doses em PP na braquiária

25 % PP + 75 % em duas coberturas	5.600 a ²	2.269 a	5.896 a	2.532 a
50 % PP + 50 % em duas coberturas	5.595 a	2.308 a	5.630 a	2.476 a
50 % PP + 50 % em cobertura (fase B)	-	-	5.457 a	2.326 a
50 % PP + 50 % em cobertura (fase F)	-	-	5.314 a	2.340 a
50 % PP + 50 % em duas coberturas	5.562 a	2.309 a	5.739 a	2.489 a
100 % PP	5.389 a	2.230 a	5.241 a	2.256 a

Comparação entre doses em PP na palhada

25 % PP + 75 % em duas coberturas	6.080 a ²	2.514 a	5.964 a	2.528 a
50 % PP + 50 % em duas coberturas	6.121 a	2.521 a	5.521 a	2.382 a
50 % PP + 50 % em cobertura (fase B)	-	-	5.554 a	2.347 a
50 % PP + 50 % em cobertura (fase F)	-	-	5.597 a	2.400 a
50 % PP + 50 % em duas coberturas	5.577 b	2.272 b	5.557 a	2.383 a
100 % PP	5.793 ab	2.364 ab	5.531 a	2.383 a

²No tratamento testemunha foi realizada aplicação de N apenas no sulco de semeadura: 20 kg/ha na safra 2004/2005 e 16 kg/ha na safra 2005/2006. ³⁴Médias seguidas da mesma letra na coluna, para cada variável, não diferem significativamente; ⁵pelo método de contrastes ortogonais com aplicação do teste F (P<0,05); ⁶pelo teste de Tukey (P<0,05).

Fonte: Adaptado de Carvalho et al. (2006f) e Carvalho (dados não publicados).

Assim, em locais com boa distribuição de chuvas e solos com teor de argila acima de 35%, cultivados há longo período em SPD, a antecipação de até 50% da adubação nitrogenada de cobertura do algodoeiro para o pré-plantio e o restante em uma aplicação na fase B₁ é tão eficiente quanto a adubação convencional parcelada em duas coberturas. Contudo, essa prática é ariscada em áreas de solos arenosos, bem como locais com histórico de chuvas irregulares, situação em que pode não haver sincronia entre a mineralização do N imobilizado (nos resíduos e na biomassa microbiana do solo) e o período de maior demanda da planta.

19.4.1.5 - Sugestões de Quantidades de Nitrogênio para a Adubação do Algodoeiro

Em função dos resultados de pesquisas conduzidas nos últimos anos na região do Cerrado, na Tabela 7 é apresentada uma sugestão de quantidades de nitrogênio a aplicar no sulco de plantio e em cobertura, em função da expectativa de produtividade de algodão em caroço. As quantidades sugeridas na Tabela 7 são mais apropriadas para solos de textura média a argilosa. Para solos de textura

arenosa (teor de argila menor que 150 g/kg), admite-se aumento de 10 a 20% da dose indicada para a adubação de cobertura, especialmente se a cultura anterior for uma gramínea.

Tabela 7. Sugestões da quantidade de nitrogênio a se aplicar na cultura do algodoeiro, em função da produtividade esperada de algodão em caroço

Expectativa de produtividade ¹	Dose de N (kg/ha)	
	Plantio	Cobertura
(kg/ha)	kg/ha	
Até 3.000	15 a 20	60 a 80 ²
4.000	15 a 20	80 a 100
5.000 ³	15 a 20	100 a 120
6.000 ³	15 a 20	120 a 140

¹Expectativa de produtividade com base na maior produtividade alcançada na região ou nos melhores talhões da propriedade, para condição similar de solo, cultivar e manejo.

²Os maiores valores correspondem às áreas com alto baixo potencial de resposta a N: solos com baixo teor de matéria orgânica (M.O.); primeiros anos de plantio direto; soja cultura antecessora ao algodão e uma gramínea. Os menores valores são para áreas com baixo potencial de resposta: rotação de culturas com leguminosa (soja ou cultura de cobertura); solos com vários anos de SPD e alto teor de M.O.; cultivos sucessivos com algodão.

³É pouco provável alcançar esse nível de produtividade em solos em processo de correção de sua fertilidade ou em locais com pluviosidade inferior a 1.200 mm, bem distribuído nos primeiros 160 dias do ciclo da cultura.

19.4.2 - ADUBAÇÃO COM FÓSFORO

O fósforo é um dos nutrientes aplicados em maiores quantidades nas adubações, embora seja extraído em menores quantidades pelas culturas, em comparação com o nitrogênio e o potássio. Além disso, a recuperação pelas culturas anuais do fósforo fornecido nas adubações é muito baixa, inferior a 35% da quantidade aplicada, especialmente na região do Cerrado. Esse comportamento do fósforo é consequência de diversas reações químicas no solo que afetam a sua disponibilidade para as plantas.

A precipitação de fosfatos solúveis em compostos insolúveis de cálcio (Ca), ferro (Fe) e alumínio (Al) e a adsorção na superfície dos óxidos hidratados de ferro e alumínio, minerais abundantes na fração argila da maioria dos solos sob vegetação

de Cerrado, fazem com que a concentração de P na solução do solo seja muito baixa. A solubilidade dos fosfatos ligados ao Ca, Fe ou Al é altamente dependente do pH, de modo que a maior disponibilidade de P no solo está na faixa de pH (em água) 5,5 a 6,8. A importância desse fato, na prática, é que a calagem aumenta a disponibilidade de fósforo para as culturas e, conseqüentemente, a eficiência da adubação fosfatada.

19.4.2.1 - Resposta do Algodoeiro à Adubação Fosfatada – Doses e Modos de Aplicação

A adubação fosfatada é imprescindível para a obtenção de produções satisfatórias do algodoeiro. Em solos com baixos teores desse nutriente a resposta do algodoeiro à adubação chega a superar o efeito de outros nutrientes.

As pesquisas mais recentes sobre a adubação do algodoeiro com fósforo têm sido realizadas em Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Oeste da Bahia.

Na Figura 20 são apresentados os resultados de produtividade de algodão em caroço obtidos no Estado de Goiás, em função de doses e modos de aplicação de fósforo, em solos com diferentes teores de P na camada de 0-20 cm. Mesmo nos solos com teores baixos desse nutriente, a produtividade foi pouco afetada com doses acima de 60 a 80 kg/ha de P_2O_5 . Na safra 2003/2004, em Ipaneri, a dose estimada para a obtenção da máxima produtividade econômica (4.387 kg/ha) foi 141 kg/ha de P_2O_5 . Na safra 2004/2005, também em Ipaneri, em solo com teor semelhante de P (Figura 20) a dose de máxima eficiência econômica foi bem menor, estimada em 85 kg/ha de P_2O_5 com produtividade de 4.931 kg/ha; nessa área o algodoeiro foi plantado em sucessão à braquiária, espécie conhecida como altamente eficiente no aproveitamento do fósforo, o que pode explicar a maior eficiência da adubação. Em outro solo de Ipaneri, com teor de P de 14 mg/dm³, considerado adequado ou bom nas tabelas de interpretação de análise do solo usadas no cerrado (ALVARES V.; 1999; SOUZA et al., 2004), não houve resposta em produtividade (Figura 20).

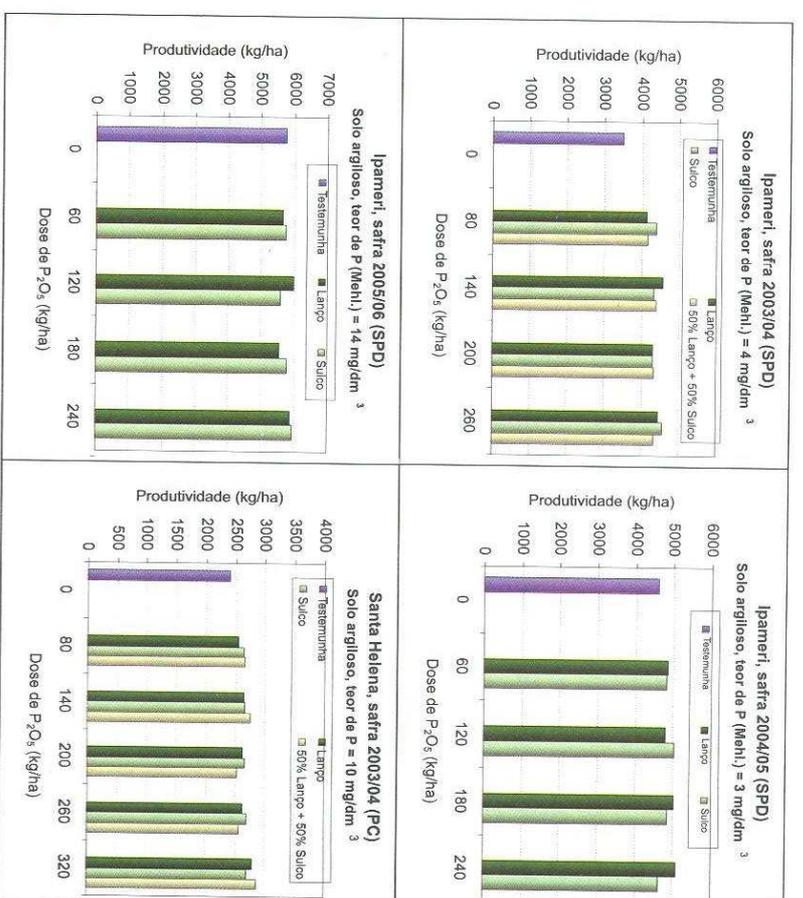


Figura 20. Produtividade de algodão em caroço, em função de doses e modos de aplicação (lanço, sulco e metade a lanço e metade no sulco) de fósforo, em dois municípios do estado de Goiás. SPD: sistema plantio direto. PC: plantio convencional. Fonte: Adaptado de Ferreira e Carvalho (2005) e Carvalho et al. (2006b, 2006c)

No Mato Grosso, nos experimentos conduzidos em solos argilosos com teores de P que variaram de 4 a 11 mg/dm³ (extrator Mehlich-1) o algodoeiro não respondeu a doses maiores que 80-100 kg/ha de P_2O_5 , mesmo alcançando-se produtividades acima de 4.500 kg/ha de algodão em caroço. Também no Mato Grosso, em solos com fertilidade corrigida e teores adequados de fósforo, tem-se sugerido que a aplicação de 60 a 70 kg/ha de P_2O_5 é suficiente para manter a fertilidade do solo e o potencial produtivo do algodoeiro (ZANCANARO, 2005; ZANCANARO e TESSARO, 2006).

No Oeste da Bahia, em solo manejado sob sistema de plantio convencional com teor de argila de 170 g/kg e 10,5 mg/dm³ de P (Mehlich-1), na camada 0-20 cm, constatou-se resposta em produção (cerca de 4.000 kg/ha) e crescimento vegetativo até a dose de 80 kg/ha de P_2O_5 , embora as fortes chuvas tenham favorecido o crescimento vegetativo do algodoeiro, em detrimento da produção.

Nesse mesmo experimento, a recuperação do P pela planta decresceu de 37,9% para 8,2% (média de 15,6%) com o aumento da dose aplicada de 40 até 320 kg/ha de P_2O_5 , indicando que a maior parte do nutriente foi acumulada no solo (FERREIRA e CARVALHO, 2005).

Em função do seu conhecido efeito residual e do baixo aproveitamento pelas culturas, o fósforo tende a se acumular no solo em áreas continuamente adubadas, sendo possível diminuir as quantidades aplicadas com o tempo. Por outro lado, em solos pobres em fósforo, em áreas de Cerrado recém-abertas, pode-se optar pela adubação corretiva, que consiste em se aplicar, no sulco de semeadura ou a lanço incorporada ou não, uma quantidade de fósforo maior do que a indicada para a adubação de manutenção da cultura, de modo que, após alguns anos, seja atingida a disponibilidade de fósforo desejada no solo.

No Cerrado, Sousa e Lobato (2004d) recomendam adubação corretiva para elevar os teores de P no solo a níveis considerados adequados e, a partir deste ponto, fazer adubação de manutenção com 60 a 120 kg/ha de P_2O_5 , considerando a expectativa de produtividade de 3.000 a 6.000 kg/ha de algodão em caroço.

Quanto ao modo de aplicação, as pesquisas têm mostrado que, quando o teor de fósforo no solo está na faixa considerada adequada ou alta, o fertilizante fosfatado pode ser aplicado tanto no sulco como a lanço, sem afetar a produtividade (SILVA, 1999).

Sabe-se que a absorção de P pelo algodoeiro é limitada pela baixa mobilidade desse nutriente no solo e, por isso, uma quantidade suficiente de P deve estar disponível perto das raízes. Assim, em solos com baixos teores desse nutriente, a eficiência de uso do fertilizante pela planta é maior quando este é aplicado no sulco de semeadura, abaixo e ao lado da semente, sobretudo se for utilizada apenas a adubação de manutenção (SILVA, 1999).

Por outro lado, a aplicação de parte dos fertilizantes em pré-plantio é desejável, pois aumenta o rendimento da semeadora-adubadora. Por meio dos ensaios conduzidos no Estado de Goiás (Figura 20), observa-se que o modo de aplicação do fósforo tem pouca influência sobre a produtividade do algodoeiro e, curiosamente, os níveis de fósforo na folha foram sempre maiores com a aplicação de fósforo a lanço que no sulco (dados não mostrados). Em um dos experimentos conduzidos em Ipanemí (safrá 2004/2005) houve interação entre doses e modos de aplicação de fósforo sobre a produtividade de algodão, no qual a produtividade começou a cair com a aplicação de doses acima de

120 kg/ha de P_2O_5 , no sulco de semeadura (Figura 20). Esses resultados indicam que, quando houver necessidade de se aplicar dose acima de 120 kg/ha de P_2O_5 (adubação corretiva, por exemplo), é prudente aplicar uma parte em pré-plantio.

19.4.2.2 - Sugestões de Quantidades de Fósforo - Adubação de Manutenção do Algodoeiro

A interpretação dos resultados de análise de solo para fósforo, na região do Cerrado, é apresentada na Tabela 8, considerando-se o extrator utilizado nos laboratórios da região, ou seja, o Mehlich-1. Outras tabelas de interpretação indicam valores semelhantes, como a sugerida pela Comissão de Fertilidade do Solo de Minas Gerais (ALVAREZ V., 1999). Os resultados de pesquisa realizadas no campo com a cultura do algodão têm mostrado que as tabelas de interpretação da análise de solo para P são válidas também para a cultura do algodoeiro.

Na maioria das áreas cultivadas com algodão no Cerrado, os solos já se encontram com a fertilidade corrigida quanto a fósforo e a potássio, apresentando teores classificados como médio, adequado, bom ou alto, pelas tabelas de interpretação de análise de solos. Nessas condições, deve-se fazer apenas adubação de manutenção, baseada na quantidade de nutrientes extraídos e exportados pela cultura, na expectativa de produtividade e nos fatores que afetam a eficiência do uso de fertilizantes.

Tabela 8. Rendimento potencial e interpretação da análise de solo para o P extraído pelo método de Mehlich-1, de acordo com o teor de argila, para recomendação de adubação fosfatada em sistema de sequeiro com culturas anuais no Cerrado

Teor de argila	Rendimento potencial da cultura (%)				
	0-40	41-60	61-80	81-90	>90
%	Interpretação dos teores de P no solo				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Adequado	Alto
mg dm ⁻³	-----				
	<16	0,0 a 6,0	6,1 a 12,0	12,1 a 18,0	18,1 a 25,0
16-35	0,0 a 5,0	5,1 a 10,0	10,1 a 15,0	15,1 a 20,0	> 20,0
36-60	0,0 a 3,0	3,1 a 5,0	5,1 a 8,0	8,1 a 12,0	> 12,0
> 60	0,0 a 2,0	2,1 a 3,0	3,1 a 4,0	4,1 a 6,0	> 6,0

Fonte: Sousa e Lobato (2004), com adaptações.

Devido à baixa eficiência da adubação fosfatada e à extração de pequenas quantidades durante o ciclo do algodoeiro, é recomendável aplicar a quantidade total extraída pela cultura a cada safra e acompanhar a evolução dos teores no solo. Quando os teores no solo são considerados altos a adubação deve ser reduzida, especialmente em anos com alta relação insumo/produto, aplicando-se a quantidade total exportada no produto colhido.

Com base nas pesquisas desenvolvidas recentemente no Cerrado, na Tabela 9 são apresentadas sugestões para a adubação de manutenção do algodoeiro na região, em função da produtividade esperada.

Quanto ao modo de aplicação dos fertilizantes fosfatados, em solos com teores baixos de P (Tabela 8), a aplicação no sulco de semeadura é mais eficiente que a lanço; porém, é conveniente evitar doses acima de 120 kg/ha de P_2O_5 no sulco. Em solos com teores adequados a altos, a aplicação do fertilizante pode ser feita a lanço ou no sulco sem ocorrer diferença de produtividade, porém é recomendável fornecer pelo menos 40 a 60 kg/ha de P_2O_5 no sulco de plantio para garantir a uniformidade das plantas. Havendo interesse, sobretudo no sistema plantio direto, parte da adubação fosfatada pode ser aplicada em pré-plantio, na cultura de cobertura.

Tabela 9. Sugestões de adubação fosfatada de manutenção do algodoeiro cultivado no cerrado, em função da expectativa de produtividade e da interpretação da análise do solo.

Expectativa de produtividade ^{1/} (kg/ha)	Teor de fósforo no solo (ver Tabela 8)	
	Adequado	Alto ^{4/}
Até 3.000	60	30
4.000	90	45
5.000 ^{2/}	110	55
6.000 ^{2/}	135	70

^{1/}Expectativa de produtividade com base na maior produtividade alcançada na região ou nos melhores talhões da propriedade, para condição similar de solo, cultivar e manejo. ^{2/}É pouco provável alcançar esse nível de produtividade em solos em processo de correção de sua fertilidade ou em condições de sequeiro nos locais com pluviosidade inferior a 1.200 mm, razoavelmente bem distribuídos durante o ciclo da cultura. ^{3/}Doses estimadas considerando que o algodoeiro extrai cerca de 20 a 25 kg/ha de P_2O_5 para cada 1.000 kg de algodão em caroço produzidos. ^{4/}Nível alto de fósforo no solo, no qual a adubação pode ser reduzida ou até suprimida por uma safra, em anos de elevada relação de preços insumo/produto.

19.4.3 - ADUBAÇÃO COM POTÁSSIO

O potássio é o segundo nutriente mais absorvido e exportado pelo algodoeiro, sendo imprescindível para o desenvolvimento, produtividade e qualidade de fibra. Na maioria dos solos dos Cerrados, que em sua condição natural são ácidos e pobres em nutrientes, a reserva de potássio não é suficiente para suprir a quantidade extraída pelas culturas por longo período. Portanto, é essencial que o seu suprimento às plantas seja feito por meio da adubação.

19.4.3.1 - Resposta do Algodoeiro à Adubação Potássica - Doses

De acordo com os resultados apresentados por Silva (1999), não se espera resposta do algodoeiro à adubação potássica quando o teor de K trocável no solo for maior que 0,25 cmol/dm³ (97 mg/dm³) e a relação (Ca + Mg)/K for inferior a 20. Em experimento de calibração com doses de potássio, conduzido em um Latossolo vermelho argiloso de Santa Helena de Goiás, os resultados foram semelhantes (Figura 21). Quando a relação (Ca + Mg)/K foi maior que 33 a produtividade caiu drasticamente. Esses resultados sugerem que mesmo quando os teores de K no solo estão adequados, é possível que o algodoeiro responda à adubação potássica se acontecer um desbalanço em relação aos cátions Ca e Mg.

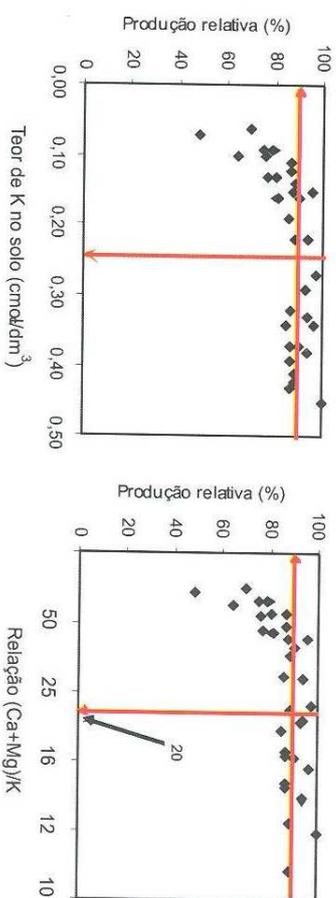


Figura 21. Relação entre teor de potássio trocável (A) ou relação K/(Ca+Mg) no solo (B) e produção relativa de algodão. Santa Helena de Goiás, safra 2003/2004. Fonte: Carvalho et al. (2005).

Diversas pesquisas têm demonstrado resposta positiva do algodoeiro à adubação potássica no Cerrado, em solos com baixos teores desse nutriente, conforme revisão apresentada por Carvalho et al. (2005). Em experimentos conduzidos no Mato Grosso houve resposta em produtividade com a aplicação de até 180 kg/ha de K_2O , em solo com 30 mg/dm³ de K, enquanto em solos com teores de 82 a 96 mg/dm³ de K, não houve resposta do algodoeiro à doses de potássio superiores a 60 kg/ha de K_2O (FUNDAÇÃO MT, 2001). Em função desses resultados, foi proposta uma tabela de recomendação de adubação do algodoeiro com potássio, para o Mato Grosso, com base na expectativa de produtividade de 4.500 kg/ha de algodão em caroço (Tabela 10).

No estado de Goiás, foram conduzidos vários experimentos envolvendo doses e modos de aplicação de potássio, entre as safras 2001/2002 a 2005/2006, em áreas com diferentes potenciais de produtividade e teores de K no solo. Nesses ensaios, as doses que proporcionaram o máximo retorno econômico variaram de 60 a 180 kg/ha de K_2O para a obtenção de 2.500 a 5.800 kg/ha de algodão em caroço, para teores de K no solo que variaram de 23 a 90 mg/dm³. As repostas do algodoeiro à adubação potássica ocorrem quando o teor de K no solo foi inferior a 98 mg/dm³ e a relação (Ca+Mg)/K foi maior que 20. A análise do conjunto de experimentos indicou, também, que o teor de K na folha entre 15 e 25 g/dm² no período do florescimento, permite a obtenção de produtividades entre 3.000 a 6.000 kg/ha; porém, os teores foliares de K tendem a diminuir a partir do início do período de enchimento das maçãs, o que deve ser considerado na interpretação dos resultados de análise de folha.

Por outro lado, em solos arenosos da Bahia, já corrigidos e cultivados anualmente com algodoeiro, muitas vezes, não se obtém resposta à adubação potássica em áreas experimentais com teores de K trocável no solo entre 30 e 45 mg/dm³. Provavelmente, a ausência de resposta nessas condições está relacionada com o efeito residual dos cultivos anteriores, pois embora a cultura absorva elevadas quantidades de potássio, a exportação é relativamente baixa, de modo que a maior parte do potássio permanece na lavoura nos resíduos da cultura. Entretanto, há casos onde se produziram acima de 4.600 kg/ha de algodão em caroço na parcela testemunha, o que equivale a uma extração de 320 kg/ha de K_2O (Ferreira et al., 2007), em solo com 58 mg/dm³ de K disponível na camada 0-20 cm. Ora, isto corresponde a uma reserva de 139 kg/ha de K_2O no horizonte mais fértil. Várias alternativas podem explicar o fato observado. Primeiro, a coleta de amostras de solo logo após a colheita do algodão pode, provavelmente, ter subestimado a capacidade de fornecimento de potássio para o cultivo seguinte; uma vez que os

Tabela 10. Recomendação de adubação com potássio para a cultura do algodoeiro de alta produtividade (4.500 kg/ha) no estado do Mato Grosso

Teor de K no solo	Dose de potássio recomendada, considerando a expectativa de produtividade de 4.500 kg/ha
(mg/dm ³)	(kg/ha de K_2O)
< 40	150 a 200
40 a 60	120 a 140
60 a 80	100
> 80	<75 ^{1/2}

^{1/2} Quantidade de potássio equivalente à quantidade exportada pelo algodão em caroço, que no Mato Grosso, segundo dados da Fundação MT é de, aproximadamente, 41 kg/ha de K_2O para produtividade de 4.500 kg/ha. Fonte: Zancanaro et al. (2004b)

resíduos da cultura ainda não foram decompostos e os teores de K no solo são mais baixos quando comparados com os teores medidos após o início das chuvas, na época de plantio do algodoeiro, conforme foi verificado no Mato Grosso (FUNDAÇÃO MT, 2001). Segundo, apenas a estimativa de K disponível na camada de 0 a 20 cm ou mesmo 0 a 30 cm de profundidade, não é suficiente para explicar a resposta da cultura à adubação potássica em solos arenosos, cujos perfis estão enriquecidos pela lixiviação constante que ocorre do nutriente aplicado anualmente. As quantidades de nutrientes armazenadas nas camadas até 60 cm são insuficientes para fornecer todo o nutriente acumulado na parte aérea. Neste caso, é provável que o balanço do nutriente no perfil seja mais explicativo e que o algodoeiro esteja absorvendo nutrientes em maiores profundidades no perfil do que o geralmente considerado. Não existem estudos de profundidade efetiva do sistema radicular do algodoeiro na Bahia, assim como nos demais estados do cerrado. Isto dificulta estabelecer a profundidade necessária para monitoramento e correção dos teores necessários do nutriente para a cultura alcançar altas produtividades.

Em solos arenosos, como os do Oeste da Bahia, é necessário atentar para o risco de perdas de K por lixiviação. Nessa região, em solo com 170 g/kg de argila e CTC de 3,4 cmol_c/dm³, na camada 0-20 cm, o teor de K não superou 0,17 cmol_c/dm³, mesmo com a aplicação de 320 kg/ha de K_2O . Nesse mesmo estudo, observou-se aumento do teor de K no solo nas camadas 20-40 e 40-60 cm com o aumento da dose aplicada, indicando o alto potencial de lixiviação do que K não absorvido pelas plantas, que tende a ser agravado pelo uso de gesso e aplicação de altas doses de nitrogênio. Esses resultados indicam que em solos com essas

características é muito difícil ultrapassar o limite de 40 mg/dm³ de K ou cerca de 3% da CTC, pois o excedente é facilmente lixiviado do solo. Nessas condições, a correção do solo até esse nível de fertilidade (40-50 mg/dm³ de K) e a aplicação de doses de potássio com base nas necessidades da cultura, para extração e exportação, parece ser o método mais adequado de fornecimento de nutrientes. No futuro, pesquisas que estabeleçam o limite de profundidade até onde o potássio pode ser utilizado pelo profundo e diversificado sistema radicular do algodoeiro favorecerão um manejo mais racional da adubação na cultura.

Como regra geral, todos os fatores que aumentam a produtividade levam a uma maior demanda de potássio pela planta. Por outro lado, os fatores que dificultam a chegada do potássio até as raízes ou que causam restrição ao seu crescimento (acidez, deficiência de fósforo, baixa umidade ou alagamento, compactação, localização inadequada do fertilizante, ataque de nematódios, *Fusarium* e *Verticillium*) reduzem a eficiência da adubação, o que leva o algodoeiro a responder a doses mais elevadas.

Do ponto de vista nutricional, o aumento da produtividade do algodoeiro não depende do aumento da quantidade aplicada de todos os nutrientes, mas sim do ajuste da dose de cada um deles, aplicados na época correta, de modo que haja equilíbrio entre a demanda da planta e as quantidades fornecidas na adubação. Por exemplo, o excesso de nitrogênio em plantas deficientes em potássio aumenta demasiadamente a relação N:K nas folhas, tornando-as menos resistentes às doenças e mais suscetíveis ao ataque de pragas. Isso ocorre devido ao acúmulo de açúcares e aminoácidos livres, que são atrativos, e redução de compostos fenólicos, que são repelentes aos patógenos. Essa é uma questão importante, sobretudo no Cerrado, onde é muito forte a pressão das doenças sobre o algodoeiro.

19.4.3.2 - Resposta à Adubação Potássica - Modos e épocas de aplicação

Sousa e Lobato (2004b) afirmaram que não há diferença entre aplicação de K a lanço ou no sulco e recomendam a aplicação a lanço, principalmente em solos arenosos com baixa CTC. Os resultados obtidos em experimentos de campo conduzidos em solos de textura argilosa de Goiás indicaram que o modo de aplicação de potássio (100% aplicado a lanço em pré-plantio ou em cobertura; parte em pré-plantio e parte no sulco ou em cobertura; parte no sulco e parte em uma ou duas coberturas; em uma ou duas coberturas) tem pouca influência sobre o padrão de resposta da cultura em produtividade e acumulação de K na folha. Na prática, isso

significa que o produtor poderá escolher a opção que lhe for mais conveniente ou mais econômica.

A aplicação de doses acima de 60 kg/ha de K₂O no sulco de semeadura do algodoeiro deve ser evitada, devido ao efeito salino pelo aumento do potencial osmótico e, em alguns casos, para diminuir as perdas por lixiviação, principalmente nos solos com baixa capacidade de troca de cátions. Zancanaro e Tessaro (2006) mostraram que a aplicação de dose elevada de K no sulco de semeadura prejudicou o desenvolvimento inicial do algodoeiro, no Mato Grosso. Também no Mato Grosso, tanto em solos de textura arenosa quanto argilosa, não se verificou diferença em parcelar as adubações de cobertura do potássio em uma, duas ou três aplicações. Mesmo assim, por precaução, a sugestão, no Mato Grosso, é de parcelar a adubação potássica em solos arenosos, fornecendo-se até 50 kg/ha de K₂O no sulco e o restante em uma ou duas aplicações de cobertura até os 60 dias após a emergência.

Resultados semelhantes foram obtidos no cerrado da Bahia, onde se verificou que a aplicação de potássio no pré-plantio (imediatamente antes do plantio), em doses de até 150 kg/ha K₂O, sozinho ou acompanhado de 120 kg/ha de N, foi mais efetiva do que sua aplicação em dose única aos 15, 30 ou 45 dias após o plantio; por outro lado, a aplicação de 220 kg/ha de K₂O no pré-plantio prejudicou o estabelecimento das plântulas e diminuiu a produtividade. Doses elevadas de potássio em doses única somente devem ser aplicadas a lanço após o 25 dia do plantio (FERREIRA et al., 2007). Aparentemente, a menor dose do nutriente necessitou de mais tempo para descer no perfil, ser absorvida pelas raízes das plantas e resultar em maior produtividade, pois à medida que o ciclo vegetativo do algodoeiro foi avançando essa dose até aumentou o teor de K disponível no solo após a colheita, mas reduziu a produtividade (Figura 22). No entanto, doses altas de K₂O, aplicadas entre 15 e 30 dias após o plantio, foram efetivas sobre a produtividade do algodoeiro. Atualmente, essa é uma prática comum na região, especialmente em áreas sob Sistema Plantio Direto ou Integração Lavoura-Pecuária.

Bernardi et al. (2004) demonstraram que, em solo de textura argilosa de Goiás, a antecipação da adubação potássica do algodoeiro para o pré-plantio, na cultura de cobertura (milheto), foi mais eficiente que a aplicação no sulco. Essa prática promove maior desenvolvimento vegetativo da cultura de cobertura.

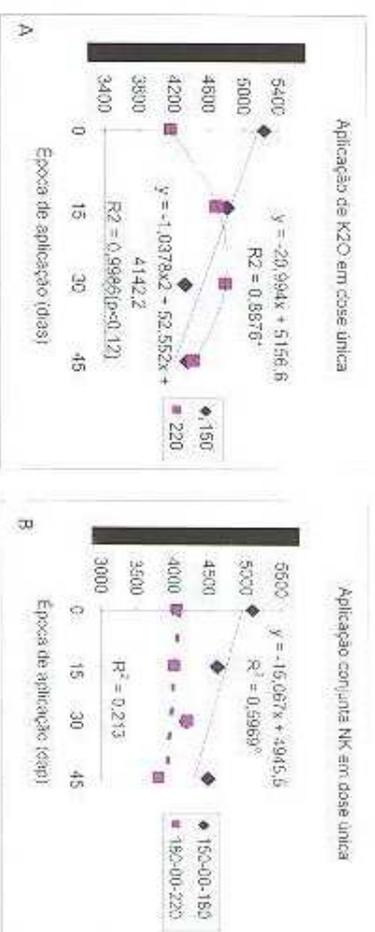


Figura 22. Produção de algodão em caroço em função de fontes aplicadas (A - K₂O/KCl e B - mistura KCl/ureia), doses e época de aplicação. São Desidério, BA, safra 2005/2006. Fonte: Ferreira et al. (2007).

aumentando a reciclagem de nutrientes. Por outro lado, a redução ou retirada do potássio do sulco de plantio, além de evitar danos para as plântulas, permite maior flexibilidade na escolha da formulação e aumenta o rendimento de plantio, que é particularmente importante para o Cerrado, onde grandes áreas são plantadas em um período relativamente curto.

A maioria dos produtores do Cerrado tem aplicado nitrato de potássio via pulverização foliar, com a finalidade de prevenir deficiências. Os resultados encontrados na literatura sobre adubação foliar com potássio indicam que nem sempre ocorre efeito positivo ou, em alguns casos, o acréscimo de produtividade não é suficiente para compensar os custos. Os resultados de experimentos conduzidos no Mato Grosso, em solos contendo 27,59 e 90 mg/dm³ de K trocável, mostraram que a pulverização foliar com nitrato de potássio, como complemento à adubação via solo, não resultou em aumento de produtividade ou melhoria na qualidade da fibra produzida (ZANCANARO et al., 2004b). Também, não se obteve resultados consistentes na Bahia e em Goiás. Em pesquisa recente, Rosolem e Witzacker (2007) aplicaram doses de 16 e 32 kg/ha KNO₃, divididas em duas ou quatro aplicações, iniciadas na primeira semana de florescimento do algodoeiro. Eles concluíram que a aplicação de nitrato de potássio não reverte o declínio natural das concentrações de K nas folhas senescentes do algodoeiro; e apesar das pulverizações podem elevar seus teores em folhas deficientes, isto não afeta o seu conteúdo nos frutos, a produtividade e a qualidade da fibra.

Diante da falta de consistência dos resultados de pesquisa realizadas no Cerrado, não se recomenda fazer pulverizações foliares com potássio da forma indiscriminada. Entretanto, a pulverização foliar com potássio tem potencial de

resposta nas seguintes condições: (i) campos com problemas frequentes de deficiências de potássio; (ii) lavouras com cultivares de porte baixo e ciclo curto com potencial para obtenção de produtividades superiores a 4.500 kg/ha, cuja adubação via solo foi insuficiente; (iii) quando a absorção pelas raízes é comprometida, mesmo havendo disponibilidade do nutriente no solo, devido, por exemplo, ao estresse hídrico pela ocorrência de um período longo de “veranico” na fase de máximo florescimento e enchimento de maçãs.

19.4.3.3 - Sugestão de Quantidades de Potássio na Adubação do Algodoeiro

A interpretação da análise de solo para potássio, na região do Cerrado, é apresentada na Tabela 11. Em solos de textura média e argilosa, se o teor de K no solo for muito baixo, é possível fazer adubação corretiva com potássio em quantidade suficiente para elevar a sua saturação na CTC a pH 7,0 para 3% a 4%. Porém, em solos arenosos com menos de 20% de argila e CTC menor que 4,0 cmol/dm³, a adubação corretiva não é recomendada em razão do elevado potencial de fixação de K.

De modo geral, as áreas cultivadas com algodão no Cerrado já estão corrigidas quanto aos teores de potássio, sendo necessário fazer adubações de manutenção. Na Tabela 12 é apresentada uma sugestão de adubação com potássio para o Cerrado, em função dos teores de K no solo e da expectativa de produtividade.

Devido à característica do algodoeiro de exportar pequena proporção de potássio, em relação à quantidade absorvida durante o ciclo e, ainda, da absorção aumentar com a quantidade aplicada na adubação, até determinado limite, tem-se buscado aproveitar o efeito residual da adubação no algodoeiro para a cultura menos responsiva em sucessão, no esquema de rotação de culturas, normalmente a soja. Assim, no planejamento da adubação, considera-se o sistema, aplicando-se doses maiores nas culturas mais responsivas e apenas adubação “starter” nas culturas menos responsivas. Nesse esquema, têm-se conseguido produtividades de soja entre 3.200 a 3.600 kg/ha na região do Cerrado (ALTMANN, 2006).¹ Para evitar o empobrecimento do solo, é importante não perder de vista o balanço de nutrientes (extração e exportação), considerando as culturas componentes do sistema de rotação.

¹ALTMANN, N. Adubação em sistemas de produção. Palestra apresentada em 26/05/2006 no Dia de Campo Nacional da Fertilização GO, em Santa Helena de Goiás, Goiás. Disponível em: www.fundajazago.com.br/publicacao/index.php. Acessado em: 21/03/2007.

Tabela 11. Interpretação da análise de solo para potássio no Cerrado, de acordo com CTC do solo, e em de Minas Gerais, visando a recomendação de adubação de culturas anuais

Estado/Região	Interpretação					
	CTC a pH 7,0	Muito baixo	Baixo	Médio	Bom	Muito bom
Minas Gerais ¹	< 16	16 a 40	41 a 70	71 a 120	> 120	
Cerrado ²	< 4,0	< 16	16 a 30	31 a 40	> 40	
	> 4,0	-	< 26	26 a 50	51 a 80	> 80

(cmol/dm³) ----- Teor de K no solo (mg/dm³) - Extrator Mehlich 1 -----

Fonte: ¹Alvarez V. (1999) e ²Vieira et al. (2004), com adaptações.

Tabela 12. Sugestão de adubação potássica do algodoeiro na região do Cerrado, em função dos teores disponíveis no solo e da produtividade esperada de algodão em caroço

Produtividade esperada ¹	Teor de K no solo, mg/dm ³ (camada de 0-20 cm)				
	< 25 ²	26-50 ²	51-80	81-120	> 120 ²
(kg/ha)	----- kg/ha de K ₂ O -----				
Até 3.000	130	100	80	60	30
4.000	150 a 170	120 a 140	100 a 120	80	40
5.000 ³	170 a 190	140 a 160	120 a 140	100	50
6.000 ³	190 a 210	160 a 180	140 a 160	120	60

¹ Expectativa de produtividade com base na maior produtividade alcançada nos melhores talhões da propriedade, para condição similar de solo, cultivar e manejo. ² Nesses níveis de K no solo, as doses sugeridas incluem a adubação corretiva mais a adubação de manutenção (considerando-se o teor adequado de K para o algodão na faixa de 80 a 120 mg/dm³). ³ E pouco provável alcançar esse nível de produtividade em solos em processo de correção de sua fertilidade ou em locais com pluviosidade inferior a 1.200 mm. razoavelmente bem distribuídos durante o ciclo da cultura. ⁴ Nível alto de potássio no solo, acima do qual a adubação pode ser reduzida ou até suprimida, em anos de elevada relação de preços insuportáveis.

19.4.4 - ADUBAÇÃO COM ENXOFRE

O enxofre é um elemento pouco móvel na planta e, por isso, o algodoeiro necessita de um suprimento contínuo desse nutriente para seu pleno desenvolvimento.

As plantas absorvem o enxofre do solo na forma de sulfato (SO₄²⁻). Por se tratar de um ânion, o SO₄²⁻ não é adsorvido nas cargas negativas das camadas superficiais do

solo, tendendo a se acumular nas camadas abaixo de 20 cm, onde é maior a proporcão de cargas positivas na superfície das partículas do solo. Por isso, um diagnóstico mais correto da disponibilidade de enxofre no solo deve incluir a análise de amostras retiradas nas camadas de 20-40 cm ou 30-50 cm de profundidade. Nos solos cujo teor médio (camadas 0-20 cm e 20-40 cm) de enxofre na forma de sulfato [S-SO₄²⁻, extraído com CaCl₂(PO₄)₃] for menor que 10 mg/dm³, é maior a probabilidade de resposta da cultura à adubação com esse nutriente. Isto é provável em solos nativos ou naqueles que nunca receberam gesso. Em solos já corrigidos e em processo produtivo, ensaios com cinco anos de duração na Bahia mostram que o nutriente se concentra na camada de 40 a 80 cm, nos solos argilosos, e de 60 a 100 cm, nos arenosos. Mesmo após cinco anos sem incorporação de gesso ou aplicação de enxofre, é comum o solo alcançar teores de S-SO₄²⁻ superiores a 50 mg/dm³ nas camadas de máxima concentração, onde as raízes facilmente alcançam o nutriente, pois elas se estendem por mais de 2,0 m de profundidade.

Alguns experimentos foram conduzidos na região do Cerrado, avaliando o enxofre na nutrição e adubação do algodoeiro. No Mato Grosso, não houve resposta a enxofre em solos argilosos com teor de matéria orgânica acima de 30 g/kg, na camada 0-20 cm, e teores de enxofre acima de 19 mg/dm³ na camada de 15 a 30 cm de profundidade (ZANCANARO e TESSARO, 2006). Já numa área com três anos de cultivo e solo arenoso (100 g/kg de argila), contendo 13,9 g/kg de matéria orgânica e 9,0 mg/dm³ de enxofre, na camada 0-20 cm, houve aumento de produtividade até a dose de 60 kg/ha de S, sendo que as fontes testadas (gesso, enxofre elementar, superfosfato simples + sulfato de amônio) tiveram comportamentos semelhantes.

Em solo argiloso de Santa Helena de Goiás, o teor de S na folha do algodoeiro aumentou com a aplicação enxofre até a dose de 72 kg/ha, sendo o sulfato de amônio a fonte mais eficiente; entretanto, não houve acréscimo de produtividade.

Em um solo argiloso da Fazenda Mineira, no município de Barreiras/BA, Ferreira et al. (2007) tentaram calibrar a resposta do algodoeiro à condição mínima de nutriente existente no perfil do solo da parcela testemunha (Figuras 23 A a F), usando o procedimento prático de Cate e Nelson (1971). Para alcançar a máxima produtividade média de algodão em caroço, com e sem reaplicação de gesso agrícolas, estimou-se a dose de máxima eficiência física de gesso (3 t/ha), suficiente para produzir 352 @/ha. Para tanto, alcançou-se os teores de 23, 47, 70, 56 e 30 mg/dm³ nas camadas de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm, respectivamente, com reaplicação do gesso.

Assim, teores no perfil variáveis e abaixo de 3,5 a 28,0 mg/dm³ predispõem a cultura para responder à aplicação de enxofre. Entretanto, a resposta máxima ocorreu até o limite de teor de 23 a 70 mg/dm³ no perfil do solo, com concentração dos teores na camada de 40-60 cm. A partir desses teores, não se esperam respostas a gesso nos solos argilosos do cerrado da Bahia.

Esses resultados indicam que, de fato, nos solos arenosos é maior o risco de deficiência de enxofre, em função do baixo teor de matéria orgânica e do potencial de lixiviação de SO₄²⁻, e o seu fornecimento na adubação é essencial para a cultura do algodoeiro. Nos solos argilosos, com histórico de aplicação de gesso para elevar a saturação por bases do subsolo e adubações frequentes com sulfato de amônio e/ou superfosfato simples, é menos provável a ocorrência de deficiência na cultura.

O algodoeiro extrai pequena quantidade de enxofre do solo, que varia de 4 a 8 kg para cada 1.000 kg de algodão em caroço produzidos, dos quais cerca de 60% são exportados (semente + fibra). Assim, para evitar deficiência na planta é recomendável aplicar cerca de 30 a 40 kg/ha de S, anualmente, especialmente em solos de textura arenosa, visando garantir a quantidade que é extraída pela cultura.

O manejo da adubação com enxofre é feito, usualmente, junto com fertilizantes nitrogenados e fosfatados, como o sulfato de amônio (22-24 % S) e o superfosfato simples (10-12% S). Se for usado gesso (13 a 15% S) para elevar a saturação por bases do subsolo, a quantidade de enxofre fornecida será suficiente; caso contrário, o gesso pode ser usado como fonte de enxofre, na dose de 300 a 500 kg/ha. Outra fonte de enxofre que tem sido usada no Cerrado é o enxofre elementar (99% de S). O uso do enxofre elementar causa acidificação do solo, pois no processo de oxidação (transformação do S elementar em SO₄²⁻) ocorre a formação de ácido sulfúrico.

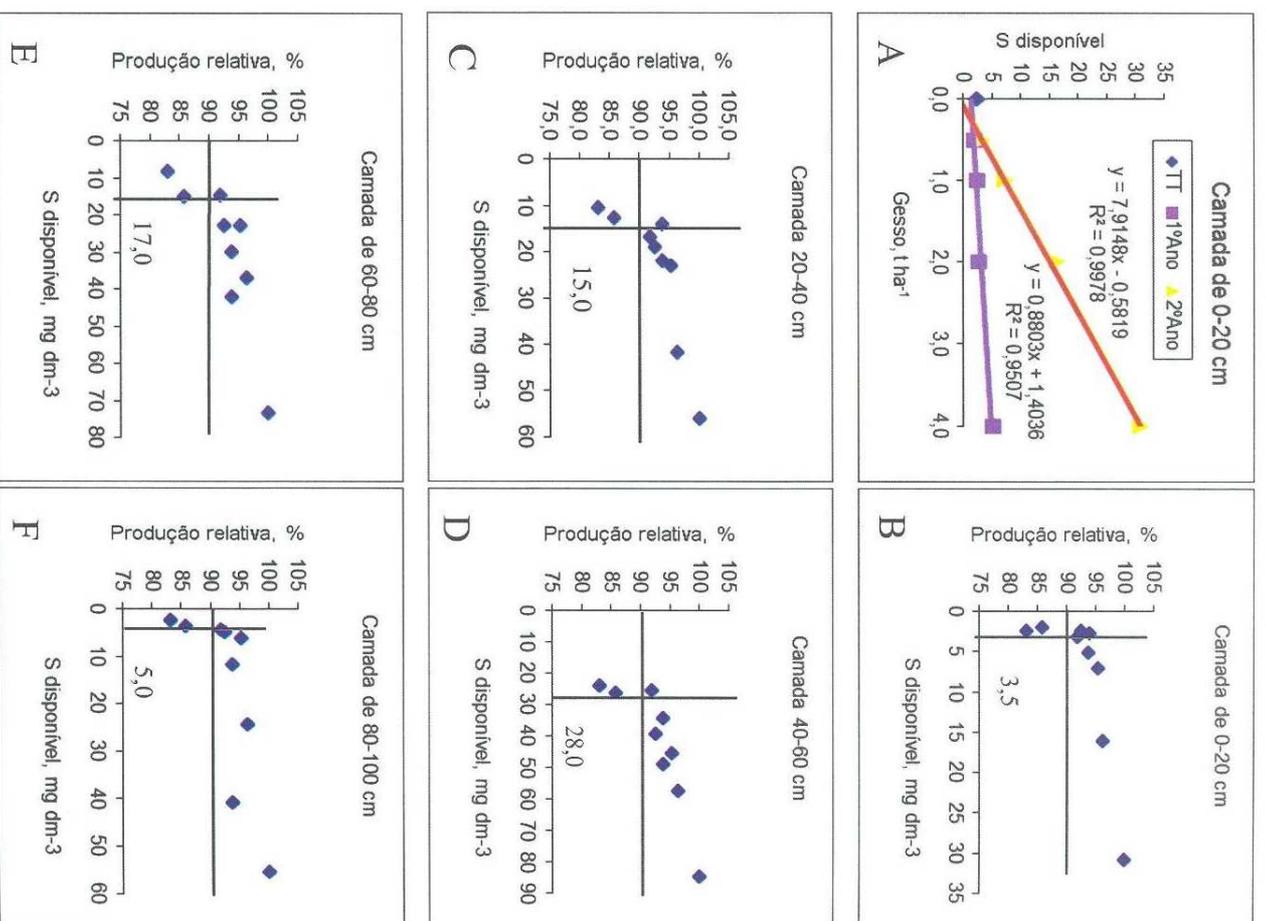


Figura 23. Variação no teor disponível de S na camada 0-20 cm em resposta à aplicação de gesso e calibração de teores nas camadas do perfil do solo. A – Resposta à aplicação de gesso; B, C, D, E e F – nível crítico de 3,5, 15,0, 28,0, 17,0 e 5,0 mg/dm³ de S disponível nas camadas 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm, respectivamente. Fonte: Ferreira et al. (2007).

19.5 - ADUBAÇÃO COM MICRONUTRIENTES

Embora sejam exigidos em menores quantidades, os micronutrientes são tão importantes para a nutrição e produtividade do algodoeiro quanto os macronutrientes.

As pesquisas realizadas com micronutrientes na cultura do algodoeiro nas diversas regiões produtoras do Brasil, sendo as mais recentes no Cerrado, mostram que: (i) são frequentes as respostas ao boro; (ii) as respostas ao zinco são raras e ocorrem em áreas de Cerrado recém-incorporadas ao sistema produtivo ou em solos pobres nesse nutriente e cultivados sucessivamente sem adubação com zinco; (iii) eventualmente, ocorre resposta ao manganês via pulverização foliar, em solos com pH (em água) acima e 6,3; (iv) a adubação corretiva com zinco, cobre e boro é uma estratégia eficiente para suprir a necessidade desse nutrientes para a cultura, apresentando efeito residual de pelo menos quatro anos.

19.5.1 - BORO

Dentre os micronutrientes tem-se observado que o boro é o mais limitante, havendo respostas do algodoeiro à adubação, sobretudo em regiões com alto potencial produtivo e solos arenosos, com baixo teor de matéria orgânica e áreas com calagem excessiva e sem histórico de aplicações de boro nas últimas safras.

As recomendações oficiais de adubação do algodoeiro com boro no Brasil são para aplicar de 0,5 a 2,5 kg/ha de B anualmente (no sulco de semeadura, em cobertura ou parte no sulco e parte em cobertura), quando o teor de B no solo, extraído pelo método de água quente, for menor que 0,6 mg/dm³, devendo-se evitar quantidades acima de 1,0 kg/ha no sulco, devido à possibilidade de lixiviação e toxicidade nas plântulas. As doses maiores (2 a 2,5 kg/ha de B) são indicadas para áreas de solos arenosos, pobres em matéria orgânica e que já apresentaram algum sintoma de deficiência.

Os resultados de pesquisas recentes, realizadas nas condições do Cerrado, têm validado as recomendações oficiais. No Mato Grosso, Zancanaro e Tessaro (2006) concluíram, a partir de dados de um experimento de campo conduzido por três safras, no qual se variou doses de boro e saturações por bases do solo, que a aplicação anual de 1,0 kg/ha de B é suficiente para suprir a necessidade do algodoeiro. Os autores verificaram também que as aplicações de quantidades pequenas anualmente são mais eficientes que o efeito residual de doses elevadas.

Os resultados de pesquisa indicam, também, que a adubação anual com quantidades de boro acima de 2,0 kg/ha/ano ou a adubação corretiva a lanço, com quantidades ainda maiores (acima de 4 kg/ha), resultam em elevação dos teores de B no solo, que tende a se acumular, principalmente, nas camadas sub-superficiais. Esse acúmulo no solo permite o efeito residual da adubação, confirmado pelo aumento de produtividade e/ou do teor de B na folha do algodoeiro nas safras subsequentes.

Com relação ao modo de aplicação, alguns estudos têm mostrado que embora as aplicações foliares sejam efetivas em aumentar o teor do nutriente nas folhas, a aplicação via solo (sulco ou cobertura) resulta em maior produtividade. Nos experimentos conduzidos em solos arenosos do Oeste da Bahia e em solos argilosos de Santa Helena de Goiás, embora não tenha havido diferença de produtividade, dentre as diversas formas de aplicação no solo (pré-plantio a lanço, sulco, sulco + cobertura, cobertura) a aplicação parcelada, parte no sulco e o restante em cobertura, foi a que proporcionou maior aumento no teor de B na folha. Respostas positivas do algodoeiro à aplicação foliar de boro foram verificadas em um solo de Cerrado com pH de 6,7 (REIS JUNIOR, 2001).

A aplicação de 4 kg/ha de boro a lanço, em pré-plantio, visando corrigir os teores dos nutrientes no solo, é uma estratégia que pode ser usada em solos do Cerrado, com efeito residual de até quatro anos.

A aplicação anual de 1,0 a 2,5 kg/ha, dependendo do potencial de resposta, pode ser usada como estratégia de adubação de manutenção ou corretiva, suprimindo a necessidade da cultura para os patamares de produtividade obtidos no Cerrado. Devido à alta mobilidade do boro no solo, especialmente nos solos arenosos, é recomendável parcelar a adubação (sulco + cobertura, sulco + foliar, sulco + cobertura + foliar), tendo-se em mente que as doses necessárias tendem a diminuir na seqüência dos modos de aplicação: lanço > cobertura > sulco >> foliar. A adubação via solo é mais eficiente que a adubação foliar, que deve ser usada apenas como complemento.

Entretanto, é imprescindível acompanhar os teores foliares anualmente, para verificar se não se elevaram demasiadamente, após cada ano de cultivo, pois o boro pode acumular-se na matéria orgânica do solo ou, mesmo, ficar adsorvido nas partículas de argila do horizonte subsuperficial.

Na literatura, há relatos de toxicidade de boro no algodoeiro devido à aplicação de doses superiores a 2,0 kg/ha no sulco de semeadura. Em Santa Helena de Goiás, em um solo com 600 g/kg de argila e 0,4 mg/dm³ de boro, foram observados sintomas de toxicidade nas plantas novas quando se aplicou mais de 2 kg/ha de B no sulco de plantio; entretanto, os sintomas desapareceram à medida que a planta se desenvolveu e não afetou a produtividade de algodão (FERREIRA e CARVALHO, 2005). Quando o fertilizante foi aplicado a lanço e incorporado no solo antes do plantio, não foram detectados sintomas de toxicidade e nem diminuição da produtividade, mesmo com doses de até 21 kg/ha de B, quando os teores de B atingiram a 1,23 mg/dm³ no solo e 84 mg/dm³ na folha do algodoeiro.

19.5.2 - ZINCO

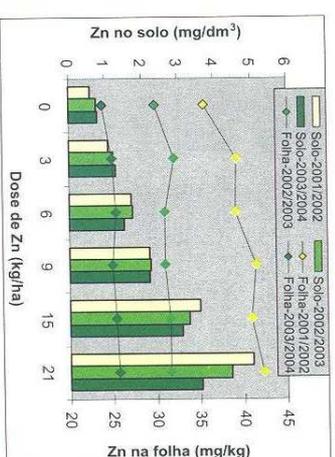
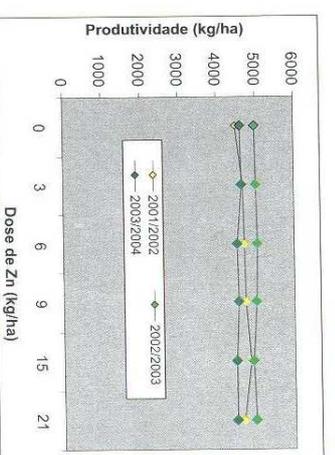
Na grande maioria dos estudos de adubação do algodoeiro com zinco no Cerrado não se obteve resposta em aumento de produtividade, de onde se conclui que o algodoeiro é pouco exigente nesse nutriente. Silva (1999) relatou que, em um experimento de longa duração conduzido em Latossolo roxo do Estado de São Paulo, após alguns anos de calagens e adubações fosfatadas surgiram sintomas de deficiência de zinco. Nessas condições, a aplicação de 3 kg/ha de zinco no sulco de semeadura, usando sulfato de zinco, foi suficiente para evitar o aparecimento dos sintomas de carência e promover aumentos significativos na produtividade de algodão.

Galvão (2004) indicam para o Cerrado, quando o teor no solo for considerado baixo (menor que 1,0 mg/dm³ determinado pelo método Mehlich 1), a adubação corretiva com 6 kg/ha de Zn ou a divisão dessa quantidade em três anos consecutivos no sulco de semeadura, a qual, segundo os autores, supre as necessidades da cultura por pelo menos quatro cultivos.

Em Santa Helena de Goiás, em experimento conduzido por três anos (safras 2003/2004 a 2005/2006) em Latossolo vermelho argiloso com saturação por bases de 47% e 1,1 g/dm³ de Zn (Mehlich 1), não houve resposta em produtividade com aplicação foliar (duas pulverizações foliares com 200 l/ha de solução 0,5% de sulfato de Zn) e nem com doses de 5 a 20 kg/ha de Zn aplicados a lanço e incorporado ou 1/3 da dose aplicada no sulco de plantio em cada safra, embora os teores de Zn no solo e na folha do algodoeiro tenham aumentado significativamente (FERREIRA e CARVALHO, 2005).

Em Campo Novo dos Parecis, Mato Grosso, foi conduzido um experimento de campo por três safras consecutivas para estudar a resposta do algodoeiro à adubação corretiva com zinco em diferentes níveis de saturação por bases do solo, após quatro anos de cultivo com soja (ZANCANARO et al., 2004a). Verificou-se um pequeno incremento de produtividade apenas no primeiro ano (safra 2001/2002) na menor dose aplicada, quando o teor de Zn no solo passou de 0,6 para 1,1 mg/dm³ (Figura 24). Nas safras seguintes, as produtividades não foram afetadas pelo teor de Zn no solo, embora os teores na folha tenham diminuído. Em função desses resultados, Zancanaro e Tessaro (2006) concluíram que em solos com teor de Zn maior que 1,7 mg/dm³ e saturação por bases abaixo de 60% a probabilidade de resposta do algodoeiro ao zinco é muito baixa. Assim, esses autores sugerem o valor de 1,7 mg/dm³ (extrator Mehlich 1) como nível crítico de Zn para o algodoeiro. Esse valor é bem próximo do nível crítico de 1,6 mg/dm³ de Zn, proposto para várias culturas em Minas Gerais (ALVAREZ V. et al., 1999) e, também, na região do Cerrado (GALVÃO, 2004).

Assim, os resultados de pesquisas recentes, conduzidas nas condições do Cerrado, indicam que, quando o teor de Zn no solo for menor que de 1,6 mg/dm³, a adubação corretiva a lanço com 6 kg/ha de zinco é uma estratégia eficiente para suprir as necessidades da cultura, apresentando efeito residual por cerca de quatro a cinco anos. Outra opção, igualmente eficiente, é a aplicação 2 kg/ha de Zn no sulco de plantio, durante três safras consecutivas. Além da análise de solo, é importante avaliar a necessidade de adubação com base na diagnose visual (sintomas de deficiência na planta), no histórico das adubações e nos resultados de análise de folhas realizadas em anos anteriores.



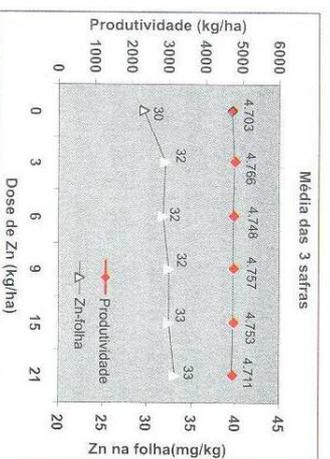
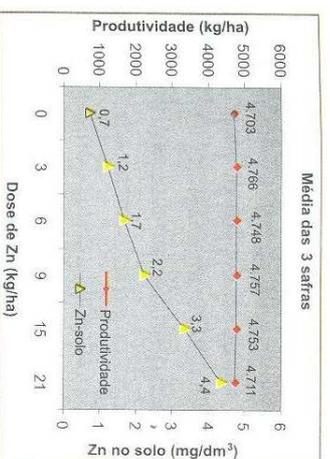


Figura 24. Resposta do algodoeiro à adubação corretiva com zinco e teores médios de Zn no solo e na folha. A aplicação de zinco foi realizada em 1997 a lanço e incorporado no solo, em área de cerrado recém-aberta, seguida e quatro cultivos sucessivos com soja e três com algodão. Fonte: Adaptado de Zancanaro et al. (2004a).

19.5.3 - MANGANÊS

Os resultados de pesquisas realizadas, recentemente, na região dos Cerrados mostram que é muito pouco provável a resposta do algodoeiro à adubação com manganês, em solos com saturação por bases abaixo de 60% e pH em água menor que 6,0.

De acordo com Ferreira e Carvalho (2005), no Oeste da Bahia, em solos de textura arenosa e média, aonde a calagem em excesso chega a elevar o pH em água a valores acima de 6,3, é comum o aparecimento de sintomas de deficiência de manganês. Em condições semelhantes (pH do solo = 6,7), houve aumento de produtividade com a aplicação foliar de manganês, no Mato Grosso do Sul (REIS JÚNIOR, 2001).

Em solo argiloso de alta fertilidade em Turvelândia, Goiás, com saturação por bases, na camada 0-20 cm, variando de 54 a 76% e adubado anualmente com micronutrientes, não houve resposta à aplicação de zinco, cobre manganês e boro aplicados no solo. As concentrações dos micronutrientes nas folhas se encontravam em níveis considerados adequados, com exceção do manganês, cujos teores foram deficientes quando a saturação por bases do solo foi superior a 70% (FERREIRA e CARVALHO, 2005).

No Mato Grosso, em experimento conduzido por três safras consecutivas, em solo argiloso com 7 mg/dm³ de Mn (Mehlich 1) e saturação por bases que variou de 29 a 59%, a adubação corretiva com manganês não afetou a produtividade do algodoeiro (ZANCANARO et al., 2004a). Nessas condições, os autores

concluíram que os solos com teores de Mn acima de 7 mg/dm³ (menor valor medido na área experimental) apresentavam baixa probabilidade de resposta à adubação com manganês, desde que a saturação por bases não seja superior a 60%. Esse valor está um pouco acima do nível crítico de 5 mg/dm³ de Mn sugerido para diversas culturas no Cerrado (GALRÃO, 2004), mas abaixo dos 8 mg/dm³ indicado para Minas Gerais (Alvarez V. et al., 1999).

Rosolem (2005) comenta que, como o comportamento do Mn na planta é variável em função das cultivares e das condições do meio, a diagnose visual (observação dos sintomas de deficiência) é mais importante que a diagnose foliar, em se tratando do manejo da adubação com esse nutriente. Rosolem (2005) ressalta, também, que considerando a possível ocorrência de toxicidade de Mn, dependendo da região do país e da cultivar plantada, a adubação com manganês deve ser realizada com muito critério. Desse modo, a sugestão é esperar a manifestação dos sintomas iniciais de deficiência nas folhas e então fazer a correção com aplicação foliar, estratégia que tem se mostrado eficiente para a cultura da soja.

19.5.3 - OUTROS MICRONUTRIENTES

Para os micronutrientes Cu, Fe, Cl e Mo, não há registros de resposta do algodoeiro à adubação no Brasil, mesmo em solos sob vegetação de cerrado recém-incorporado ao sistema produtivo.

Em um experimento conduzido em Campo Novo dos Parecis, Mato Grosso, não houve resposta à aplicação de cobre, em área sob vegetação de cerrado recém-aberto, quando o solo continha 0,8 mg/dm³ de Cu e as folhas mais que 6,5 mg/kg de Cu, mesmo após quatro cultivos com soja e três cultivos com algodão (Figura 10). Em Goiás, também não foi observada resposta à aplicação de cobre em solo argiloso com 40 g/dm³ de matéria orgânica, 58% de saturação por bases e 2,3 mg/dm³ de cobre no solo; os teores de Cu a folha variaram de 8 a 11 mg/kg (FERREIRA e CARVALHO, 2005).

Os resultados dos experimentos conduzidos na região do Cerrado permitem concluir que em solos com teor de Cu acima de 0,8 mg/dm³ (extrator Mehlich 1) a probabilidade de resposta do algodoeiro à adubação com esse micronutriente é praticamente nula. Este valor é exatamente igual ao sugerido por Galrão (2004) como nível crítico para diversas culturas no Cerrado. Em solos de Cerrado com teores abaixo desse valor, a adubação corretiva com 2 kg/ha ou sua divisão em 3

partes iguais anualmente, supre a necessidade da maioria das culturas por 4 a 5 anos.

Considerando os resultados de pesquisas conduzidas no Mato Grosso, Zancanaro e Tessaro (2006) concluíram que a adubação corretiva com 3 a 6 kg/ha de cobre, aplicado em área total e incorporado, é uma estratégia eficiente para suprir a necessidade em solos deficientes, com a vantagem de apresentar efeito residual por vários anos. Mais recentemente, os resultados obtidos no primeiro ano de um experimento conduzido em Pedra Preta, Mato Grosso, mostraram que a aplicação de cobre em solo de textura argilosa com teor elevado desse nutriente, cultivado há vários anos com algodão, resultou em redução da produtividade (Figura 25)

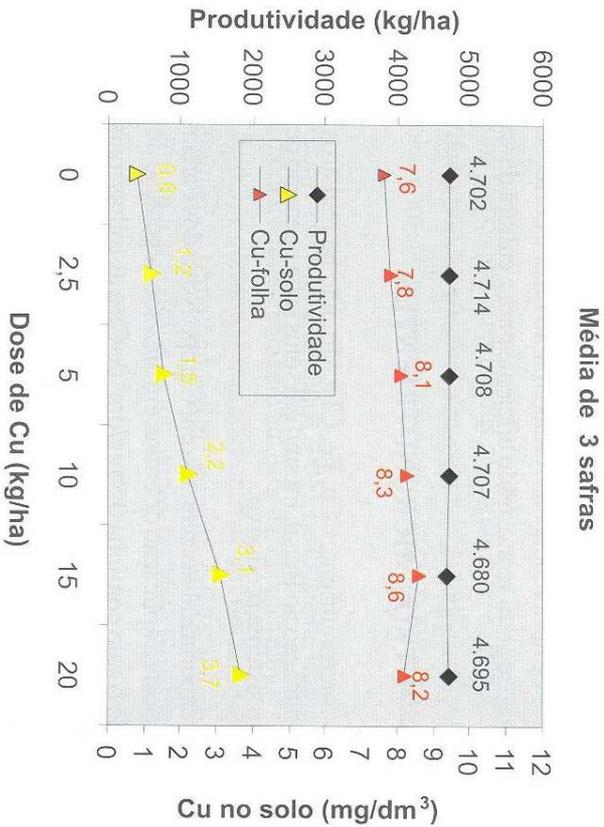


Figura 10. Resposta do algodoeiro à adubação corretiva com cobre, após quatro cultivos sucessivos com soja. A aplicação de cobre foi realizada em 1997 a lanço e incorporado no solo, em área de cerrado recém-aberta, seguida de quatro cultivos sucessivos com soja e três com algodão. Fonte: Adaptado de Zancanaro et al. (2004a)

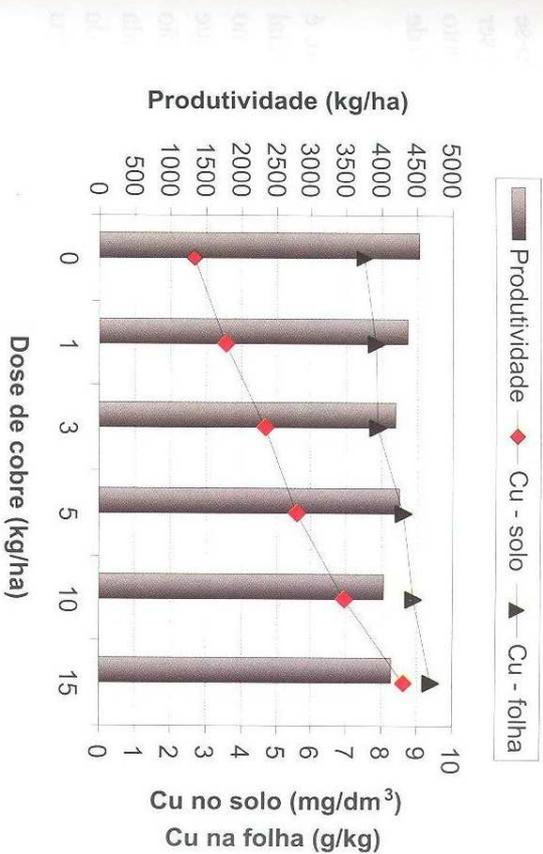


Figura 25. Produtividade de algodão em caroço (cultivar Delta Opal) e teores de Cu no solo e na folha, em função de doses de cobre aplicadas a lanço e incorporado em pré-plantio. Pedra Preta, mato Grosso, safra 2004/05. Fonte: Adaptado de Zancanaro et al. (2005)

19.6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A recomendação de adubação para determinada cultura é o final de um longo período de pesquisa nas mais diversas condições de clima, solo, cultivares e sistemas de manejo.

Do ponto de vista quantitativo, a análise química do solo fornece resultados que permitem a avaliação da fertilidade do solo, servindo de base para a recomendação de calagem e adubação. Tão importante quanto a análise é a amostra, de modo que a amostragem do solo e de folhas deve ser feita respeitando os critérios técnicos para que a amostra represente a área avaliada com a máxima fidelidade possível

As recomendações de adubação são diretrizes técnicas importantes para otimizar o retorno do investimento feito na cultura, visando ao aumento da produtividade pela melhoria da fertilidade dos solos. Elas indicam a faixa de quantidades de cada nutriente na qual é mais confiável investir para melhorar a rentabilidade do empreendimento. Indicam, também, como manejar os fertilizantes (modos e épocas de aplicação), com o objetivo de aumentar a eficiência de absorção pelas plantas e minimizar as perdas. Porém, as quantidades de nutrientes recomendadas não devem ser tomadas como uma receita. Cabe ao técnico

responsável pelo dimensionamento da adubação fazer as adaptações, baseando-se nas condições locais. Os resultados das análises de solo e de folhas devem ser avaliados em conjunto com o histórico da área (adubações realizadas, surgimento ou não de sintomas de deficiências em safras anteriores) para auxiliar na tomada de decisão das quantidades a serem aplicadas.

Considerando que a adubação é apenas um dos fatores de produção, é importante avaliar as condições climáticas que permitem a expressão do potencial produtivo das culturas, analisar a conjuntura econômica e promover melhorias no manejo da cultura que permitam a manutenção da produtividade contra fatores que tendem a reduzi-la, como ervas daninhas, pragas e doenças. Esses fatores conduzirão à decisão de usar um pouco mais ou menos da quantidade de nutrientes sugerida nas tabelas de recomendação de adubação. Lembrando que o bom manejo da adubação é aquele que visa, sempre, ao máximo retorno econômico e não à máxima produtividade a qualquer custo.

Algumas práticas potencializam a resposta da adubação, aumentando a sua eficiência e possibilitando a diminuição das quantidades de fertilizantes para a obtenção da mesma produtividade. Dentre elas pode-se citar a calagem, a gessagem, a manutenção de palha sobre a superfície e a rotação de culturas, que promovem a melhoria da estruturação do solo, o parcelamento da adubação com nitrogênio, potássio e boro, quando pertinente.

Muitas pesquisas ainda são necessárias para aperfeiçoar e refinar a recomendação de adubação do algodoeiro no Cerrado, visando à obtenção de altas produtividades com o máximo de retorno econômico e com o mínimo risco ambiental. Contudo, os resultados de pesquisas acumuladas nos últimos dez anos indicam que as altas quantidades de nutrientes usadas na adubação do algodoeiro no Cerrado elevaram os níveis no solo. Com isso, as quantidades de nutrientes aplicadas na adubação podem ser reduzidas sem prejuízo da produtividade, tomando-se o cuidado de repor as quantidades exportadas pela cultura.

Passado esse momento de exaustos, provocados pela incerteza e falta de resultados de pesquisa, é hora de fazer ajustes nas recomendações de adubação, buscando o aumento da eficiência do uso dos fertilizantes, principalmente dos fertilizantes nitrogenados, cujos excessos podem provocar perdas do sistema e danos ao ambiente. Nesse contexto, o cultivo do algodão em sistema plantio direto, a adubação do algodoeiro nesse sistema de manejo e a adubação do sistema, e não de uma determinada cultura, são os novos desafios, que merecem ser investigados.

19.7 - LITERATURA CONSULTADA

- ALTMANN, N.; PAVINATO, A. Experiências da SLCC Agrícola no manejo da fertilidade do solo no cerrado. *Informações Agronômicas*, n.94, 2001.
- ALVAREZ, V., V.H.; DIAS, L.E.; RIBEIRO, A.C.; SOUZA, R.B. de. Uso de gesso agrícola. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARAES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.67-78.
- ALVES, B.J.R.; ZOTARELLI, L.; FERNANDES, F.M.; HECKLER, J.C.; MACEDO, R.A.T.; BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; URQUIAGA, S. Fixação biológica de nitrogênio e fertilizantes nitrogenados no balanço de nitrogênio em soja, milho e algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.3, p.449-456, 2006.
- BERNARDI, A.C.C.; CARVALHO, M.C.S.; FREITAS, P.L.; OLIVEIRA JÚNIOR, J.P.; LEANDRO, W.M.; SILVA, T.M. **No sistema plantio direto é possível antecipar a adubação do algodoeiro**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 7p. (Embrapa Solos. Comunicado Técnico, 24).
- CANDIOTTI, A. No cenário de altas produtividades. Boletim Passarela da Soja, Barreiras/BA, ano 3, n. 3, p.18.
- CARVALHO, L.H.; SILVA, N.M.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; KONDO, J.L.; CHAVEGATO, E.J. Aplicação de boro no algodoeiro em cobertura e em pulverização foliar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p.265-269, 1996a.
- CARVALHO, M.C.S.; BARBOSA, K.A.; FERREIRA, A.C.B.; LEANDRO, W.M.; OLIVEIRA JR, J.P. **Sugestão de adubação potássica do algodoeiro para o estado de Goiás com base em resultados de pesquisa**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006a. 5p. (Embrapa Algodão. Comunicado Técnico, 269)
- CARVALHO, M.C.S.; BARBOSA, K.A.; FERREIRA, A.C.B.; LEADRO, W.M. Adubação fosfatada do algodoeiro em sistema de plantio direto no Cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., 2006, Aracaju. **Novos desafios do carbono**

no manejo conservacionistas - Resumos e palestras. Aracaju: SBSCS/UFSE/Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2006b. CD ROM

CARVALHO, M.C.S.; BERNARDI, A.C.C.; FERREIRA, G.B. O potássio na cultura do algodoeiro. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T.L. **Potássio na agricultura brasileira.** Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005. Cap. 14. p.393-404.

CARVALHO, M.C.S.; FERREIRA, G.B.F. **Calagem e adubação do algodoeiro no Cerrado.** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. 16p. (Embrapa Algodão. Circular Técnica, 92)

CARVALHO, M.C.S.; LEANDRO, W.M.; BARBOSA, K.A. **Sugestão de adubação fosfatada do algodoeiro para o estado de Goiás.** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006c. 5p. (Embrapa Algodão. Comunicado Técnico, 271)

CARVALHO, M.C.S.; LEANDRO, W.M.; FERREIRA, A.C.B.; BARBOSA, K.A. **Sugestão de adubação nitrogenada do algodoeiro para o estado de Goiás com base em resultados de pesquisa.** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006d. 5p. (Embrapa Algodão. Comunicado Técnico, 268)

CARVALHO, M.C.S.; OLIVEIRA Jr, J.P.; LEANDRO, W.M.; BARBOSA, K.A. **Calagem e gessagem para o cultivo do algodoeiro no estado de Goiás.** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006e. 5p. (Embrapa Algodão. Comunicado Técnico, 270)

CARVALHO, M.C.S.; BARBOSA, K.A.; LEANDRO, W.M. Adubação nitrogenada na sucessão braquiária/algodão em sistema plantio direto no cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 27.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 11.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 9.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 6., 2006, Bonito, MS. **FertBio 2006.** Bonito: SBSCS/UDESC, 2006f. CD ROM.

CATE, R.B.; NELSON, L.A. A simple statistical procedure for partition soil testing correlation data into two classes. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, v.35, p.650-659.

CÍRCULO VERDE ASSESSORIA & PESQUISA. ENCONTRO TÉCNICO DO PAS, V., Fazenda Etiane, 2010. Disponível em: <http://www.circuloverde.com.br/noticias/classic/view.php?type=news&id=f0aaf98f22> Acessado em 21/04/2011.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 4ª aproximação.

Cultura do algodão. In: FUNDAÇÃO MT. **FMT em campo 2004:** é hora do algodão. Rondonópolis: 2004b. Disponível em: <http://www.fundacaomt.com.br>. Acesso em: 15 de abril de 2005.

FERRARI, S.; FURLANI JÚNIOR, E.; PERSEGIL, E.O.; BENKE, F.M.; Absorção de nutrientes para o cultivar de algodão (*Gossypium hirsutum* L.) Delta Opal (CD ROM). In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 26.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 10.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 8.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 5., 2004, Lages. **FertBio 2004.** Lages: SBSCS/ UDESC, 2004. CD ROM.

FERREIRA, G.B.; SANTOS, F.C. dos; ALBUQUERQUE FILHO, M.R. de; SILVA FILHO, João Luis da; CARVALHO, Maria da Conceição Santana; BARBOSA, C.A. da S.; OLIVEIRA FILHO, B. S.; BRUNERA, P.; BREDA, C.E. Pesquisa com gesso agrícola para o algodoeiro no Oeste da Bahia, sob sistema plantio convencional. Luis Eduardo Magalhães, BA: Círculo Verde Assessoria Agrônômica & Pesquisa, 2008 (Comunicado Técnico, 02).

FERREIRA, G.B.; SANTOS, F.C. dos; ALBUQUERQUE FILHO, M.R. de; BARBOSA, C.A. da S.; BIANCINI, L.; BRUGNERA, P.; BREDA, C.E.; REIS, K.A.; FUMAGALLI, F.P.; SILVA FILHO, B.O.; SILVA, R.A.; N. JÚNIOR, D.R.; PEDROSA, Murilo Barros; SANTOS, João Batista dos. Determinação dos efeitos de doses, fontes de gesso (mineral e fosfogesso) e frequência de aplicação sobre as produtividades de culturas em sucessão no cerrado da Bahia. Luis Eduardo Magalhães, BA: Círculo Verde Consultoria Agrônômica & Pesquisa, 2009 (Comunicado Técnico, 03).

Arnaldo Rocha de ; OLIVEIRA, Welinton Pereira . Correção do solo e adubação do algodoeiro na Bahia. Barreiras/BA: Fundação Bahia, 2006 (Comunicado técnico).

FERREIRA, G.B.; SMIDERLE, Oscar José; OLIVEIRA JR, M.C.M. de . Uso de gesso agrícola na correção da acidez subsuperficial dos solos para cultivo do algodoeiro no cerrado de Roraima. Boa Vista, RR: Embrapa Roraima, 2009 (Comunicado Técnico, 44).

FERREIRA, G.B.; SEVERINO, L.S.; SILVA FILHO, J.L.; PEDROSA, M.B. et al. Aperfeiçoamento da tecnologia de manejo e adubação do algodoeiro no sudoeste da Bahia. In: SILVA FILHO, J.L.; PEDROSA, M.B. (Coords.). **Resultados de pesquisa com a cultura do algodão no Oeste e Sudoeste da Bahia, Safra 2003/2004**. Campinas Grande: Embrapa Algodão, 2004. p.80-106. (Embrapa Algodão. Documentos, 133)

FERREIRA, G.B; CARVALHO, M.C.S. **Adubação do algodoeiro no Cerrado: com resultados de pesquisa em Goiás e Bahia**. Campinas Grande: Embrapa Algodão, 2005. 71p. (Embrapa Algodão. Documentos, 138).

FUNDAÇÃO MT. **Boletim de pesquisa do Algodão**. Rondonópolis, 2001. 283p. (Fundação MT. Boletim, 4)

FUNDAÇÃO MT. **O algodão no caminho do sucesso**. Rondonópolis: Fundação MT/Embrapa Algodão, 1997. 107p.

FURLANI JUNIOR, E.; SILVA, N.M.; BUZETTI, S.; SÁ, M.E.; ROSOLEM, C.A.; CARVALHO, M.A.C. Extração de macronutrientes e crescimento da cultivar de algodão IAC22. **Cultura Agronômica**, v.1, p. 27-43, 2001.

GALVÃO, E.Z. Micronutrientes. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Eds.) **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.185-226.

KRAUSS, A. Potassium effects on yield quality. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T.L. (Eds.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba:

LARA CABEZAS, W.A.R.; YAMADA, T. Uréia aplicada na superfície do solo: um péssimo negócio! **Informações Agroinômicas**, n.86, 2000. (Encarte técnico)

LOPES, A..S. **Solos sob cerrados**: características, propriedades e manejo. Piracicaba: POTAFOS, 1984. 162p.

LOPES, A.S.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L.R.G.; SILVA, C.A. **Sistema plantio direto**: bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo: ANDA, 2004. 115p.

MALAVOLTA, E. **Micronutrientes para algodão e soja**. Piracicaba: CENA/USP, 2002. 21p.

MALAVOLTA, E. **Manual de calagem e adubação das principais culturas**. São Paulo: Ceres, 1987. 496p.

MALAVOLTA, E.; KLIEHMANN, H.J. **Desordens nutricionais no cerrado**. Piracicaba: POTAFOS, 1985. 136p.

McMICHAEL, B.L.; UPCHURCH, D.R.; BURKE, J.J. Soil temperature derived prediction of root density in cotton. *Environmental and Experimental Botany*, v.36, n.3. p.303-312, 1996.

MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M.; WELCH, R.M. **Micronutrients in agriculture**. 2 Ed. Madison: SSSA, 1991.

NASCIMENTO JÚNIOR, A.; ATHAYDE, M.L.F.; SOUZA, E.C.A. Efeitos da calagem e da adubação potássica nas propriedades tecnológicas das fibras do algodoeiro. **Revista Científica Rural**, v.5, p.126-133, 2000.

OLIVEIRA, R.H., ROSOLEM, C.A.; TRIGUEIRO, R.M. Importância do fluxo de massa e difusão no suprimento de potássio ao algodoeiro como variável de água e potássio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v.28, p.439-445, 2004.

PERSEGIL, E. O.; FURLANI JÚNIOR, E.; BENKE, F. M.; FERRARI, S.; REIS, A. R. Extração de nutrientes e acúmulo de matéria seca para o

- cultivar de algodão (*Gossypium hirsutum* L.) IAC 24 na região de Selvíria-MS. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 26.: REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 10.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 8.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 5., 2004. Lages. **FertBio 2004**. Lages: SBCS/UEDESC, 2004. CD ROM.
- POTAFOS. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA A PESQUISA DA PLASSA E DO FOSFATO. Seja o doutor do seu algodoeiro. **Informações Agronômicas**, n.109, 2005. 8p. (Encarte técnico)
- RAUL, B. van. Fósforo no solo e interação com outros elementos. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 2004. Cap. 4, p.107-115.
- REDDY, K.R.; HODGES, H.F.; VARCO, J. **Potassium nutrition of cotton**. Mississippi Agricultural and Forestry Experimental Station, 2000. 10p. (Bulletin, 1094)
- REIN, T.A.; SOUSA, D.M.G. Adubação com enxofre. In: In: SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: correção do solo e adubação**, 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.227-244.
- REIS JÚNIOR, R. A. Produtividade do algodoeiro em função da adubação potássica. In: **Resultados de pesquisa com algodão, milho e soja-safrá 2000/2001**. Dourados: EMBRAPA/Fundação Chapadão, 2001. p.79-85.
- ROSOLEM, C.A. Ecofisiologia e manejo da cultura do algodoeiro. **Informações Agronômicas**, n.95, 2001b. 17p. (Encarte Técnico)
- ROSOLEM, C.A. Micronutrientes em Algodão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 5. Salvador, BA, 2005. **Anais**, Salvador, 2005. CD-ROOM.
- ROSOLEM, C.A. Problemas em nutrição mineral, cálcio e adubação do algodoeiro. **Informações Agronômicas**, n.95, 2001a. 17p. (Encarte Técnico)

ROSOLEM, C.A.; SILVA, R.H.; ESTEVES, J.A.F. Potassium supply to cotton roots as affected by potassium fertilization and liming. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.5, p.635-641, 2003.

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

ROSOLEM, C.A.; FERRELLI, L. Resposta diferencial de cultivares de algodão ao manganes em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.2, p.355-361, 2000.

ROSOLEM, C.A.; GIOIMMO, G.S.; LAURENTI, G.L. Crescimento radicular e nutrição de cultivares de algodão em resposta à cálcio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.4, p.827-833, 2000.

ROSOLEM, C.A.; WHITACKER, J.P.T.; VANZOLINI, S.; RAMOS, V.J. The significance of root growth on cotton nutrition in an acid low-P soil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.212, n.2, p.185-190, 1999.

ROSOLEM, C.A.; WITACKER, J.P.T. Adubação foliar com nitrato de potássio em algodoeiro. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.1, p.147-155, 2007.

SANTOS, F.C. dos; ALBUQUERQUE FILHO, M.R. de; FERREIRA, G.B.; CARVALHO, Maria da Conceição Santana; SILVA FILHO, João Luis da; PEDROSA, Murilo Barros; BARBOSA, C.A. da S., Pesquisa com Fertilidade do Solo em Sistemas de Cultivo no Oeste da Bahia - Safra 2008/2009, Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2009 (Documentos, 89).

SANTOS, F.C. dos; ALBUQUERQUE FILHO, M.R. de; PEDROSA, Murilo Barros; FERREIRA, G.B.; SILVA FILHO, João Luis da; SANTOS, João Batista dos; CARVALHO, Maria da Conceição Santana; BARBOSA, C.A. da S.; FERREIRA, Rosa Maria Mendes., Pesquisa em Fertilidade do Solo para o algodão cultivado no cerrado do Oeste da Bahia - safra 2006/2007. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008 (Documentos, 208).

SANTOS, F.C. dos; ALBUQUERQUE FILHO, M.R. de; SILVA FILHO, João Luis da; FERREIRA, G.B.; CARVALHO, Maria da Conceição Santana; PEDROSA, Murilo Barros. Adubação para o algodoeiro no Oeste da

- Bahia, sob diferentes sistemas de cultivo - safra 2007/2008. Barreiras, BA: Fundação Bahia, 2008 (Comunicado técnico, 29).
- SANTOS, F.C. dos; COSTA, Rodrigo Veras da; FERREIRA, G.B.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R. de; BARBOSA, C.A. da S.; BREIDA, C.E.; MERLIN, A.; SILVA FILHO, João Luis da; PEDROSA, Murilo Barros; SANTOS, João Batista dos. Efeito de doses e fontes de gesso na produtividade do algodoeiro e na dinâmica de macronutrientes em planta e solo de textura média e arenosa do cerrado do Oeste Baiano. Luis Eduardo Magalhães, BA: Circuito Verde Assessoria Agronômica & Pesquisa, 2007 (Comunicado Técnico, 1).
- SCHWAB, G.J., G.L. MULLINS, and C.H. BURMESTER. 2000. Growth and nutrient uptake by cotton roots under field conditions. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, Madison, v.31, n. 1-2, p.149-157.
- SILVA, N. M. da. O uso do gesso e do superfosfato simples na cultura do algodoeiro. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA. 2. Uberaba, 1992. *Anais...*, Uberaba: IBRAFOS, 1992, p.159-174.
- SILVA, N. M. da; CARVALHO, L. H.; CIA, E.; FUZZATO, M. G.; CHIAVEGATO, E. J.; ALLEONI, L. R. F. Seja o doutor do seu algodoeiro. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 69, 1995b, 26p. (Arquivo do Agrônomo, 8).
- SILVA, N.M. da. Nutrição mineral e adubação do algodoeiro no Brasil. In: CIA, E.; FREIRE, E.C.; SANTOS, W.J. dos. **Cultura do algodoeiro**. Piracicaba: 1999, p.57-92.
- SILVA, N.M. da; RAIJ, B. var. Fibrosas. In: RAIJ, B. var; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**, 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1996, Cap. 24, p.261-273. (Instituto Agrônomo, Boletim Técnico, 100)
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Adubação com nitrogênio. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: correção do solo e adubação**, 2.ed, Cap. 5. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004a, p.129-145.
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Calagem e adubação para culturas anuais e semiperenes. In: SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. (Eds.) **Cerrado: correção do solo e adubação**, 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004b, Cap. 12, p.283-315.
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Correção da acidez do solo. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: correção do solo e adubação**, 2.ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004c, Cap. 3, p.81-96.
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E.; REIN, T. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: correção do solo e adubação**, 2.ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004d, Cap. 6, p.147-168.
- STAUT, L.A. Fertilização fosfatada e potássica nas características agronômicas e tecnológicas do algodoeiro na região de Dourados, MS, Jaboticabal, 1996. 124f. Dissertação (Mestrado) – UNESP, Jaboticabal, SP.
- STAUT, L.A.; KURIHARA, C.H. Calagem e Adubação. In: Embrapa Agropecuária Oeste/Embrapa Algodão. **Algodão: tecnologia de produção**, Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2001, p.103-123.
- STAUT, L.A.; KURIHARA, C.H. Nutrição, calagem e adubação. In: **Algodão: Informações técnicas**. Dourados: EMBRAPA-CPAO/ EMBRAPA-CNPA, 1998, 267p. (EMBRAPA/CPAO, Circular Técnica, 7).
- THOMPSON, W.R. Fertilization of cotton for yields and quality. In: CIA, E.; FREIRE, E.C.; SANTOS, W.J. dos. (Ed.). **Cultura do algodoeiro**, Piracicaba: POTAFOS, 1999, p.93-99.
- VILELA, L.; SOUSA, D.M.G. de; SILVA, J.E. da. Adubação potássica. In: SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. (Eds.) **Cerrado: correção do solo e adubação**, 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004, p.169-184.
- WHITAKER, J.P.; ROSOLEM, C.A. Produção e qualidade de fibra do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) em função da adubação foliar com nitrato de potássio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO. 4.,

2003. Goiânia. **Algodão: um mercado em evolução - Anais...** Goiânia: Embrapa Algodão, 2003. CD ROM

YAMADA, T.; LOPES, A.S. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira. In: SIQUERA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E.; CARVALHO, J.G.; (Ed.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Lavras: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/ Universidade Federal de Lavras, 1999. p.143-162.

YAMADA, T.; MALAVOLTA, E.; MARTINS, O.C.; ZANCANARO, L.; CASALE, H.; BAPTISTA, I. **Teores foliares de nutrientes observados em áreas de alta produtividade**. Piracicaba: Potafos, 1999.

ZANCANARO, L. Manejo da adubação do algodoeiro no Estado do Mato Grosso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 5., 2005, Salvador, BA. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. CD-ROOM.

ZANCANARO, L.; HILLESHEIM, J.; TESSARO, L.; VILELA, L.C.S. **Calibração dos teores de manganês, zinco, cobre e boro no solo e nas folhas da cultura do algodão cultivado em solo com condição de acidez variável**. Rondonópolis: Fundação MT, 2004a. (s.n.j. Disponível em: <<http://www.facual.org.br>>. Acesso em: 10 de abril 2007

ZANCANARO, L.; HILLESHEIM, J.; TESSARO, L.; VILELA, L.C.S. Resposta da cultura do algodão à adubação com zinco, cobre, manganês e boro em solos com textura média e solos com textura arenosa. Rondonópolis: Fundação MT, 2005. (s.n.j. Disponível em: <<http://www.facual.org.br>>. Acesso em: 10 de abril 2007.

ZANCANARO, L.; TESSARO, L. Calagem e adubação. In: ZANCANARO, L.; TESSARO, L. **Algodão: pesquisa e resultados para o campo**. Goiânia: FACUAL, 2006. p.56-81.

ZANCANARO, L.; TESSARO, L.; HILLESHEIM, J.; VILELA, L. C.S. Manejo da adubação na cultura do algodão. In: FUNDAÇÃO MT. **FMT em campo 2004: é hora do algodão**. Rondonópolis: 2004b. Disponível em: <<http://www.fundacaomt.com.br>>. Acesso em: 15 de abril de 2005.