

Uso de índice de suficiência de nitrogênio para o manejo da adubação nitrogenada na cultura do algodão em sistema de integração lavoura-pecuária

Danieli Alixame¹, Sthela Silva Melo¹, Ruth Teles Barbosa², Ianca Beatriz Paes Aragão Ferreira², Jiovana Kamila Vilas Boas², Gilciany Ribeiro Soares², Fábio Steiner^{1,2*}

¹ Curso de Graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Cassilândia (MS).

² Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Aquidauana (MS).

* E-mail: steiner@uems.br

Resumo: O índice de suficiência de nitrogênio estimado por meio do clorofilômetro portátil pode auxiliar no manejo da adubação nitrogenada dos sistemas de produção. Este estudo tem como objetivo avaliar a eficiência do clorofilômetro portátil na predição dos teores de N foliar em diferentes estádios fenológicos da cultura do algodão (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch.), bem como sua relação com a produtividade do algodoeiro. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por três sistemas de cultivo de algodão: 1) cultivo de algodão na ausência de resíduos de *Urochloa ruziziensis*; 2) cultivo de algodão na presença de resíduos das raízes e da parte aérea de *U. ruziziensis*; e, 3) cultivo de algodão apenas na presença de resíduos das raízes de *U. ruziziensis*. As subparcelas foram constituídas por cinco doses de N em cobertura (0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹), aplicadas aos 30 e 50 dias após a emergência das plantas (DAE). As leituras do índice relativo de clorofila (IRC) foram iniciadas aos 15 DAE e, a partir desta data, foram tomadas, a cada 15 dias, amostrando-se dez plantas por unidade experimental. O índice relativo de clorofila (IRC) e o teor foliar de N aumentou de forma linear com as doses de N. A presença de resíduos culturais de *U. ruziziensis* proporcionou menor produção de algodão em carroço, além de menor absorção de N pelas plantas. A aplicação de 90 a 110 kg ha⁻¹ de N em cobertura resultou na maior produtividade de algodão em carroço.

Palavras-chave: *Gossypium hirsutum*, *Urochloa ruziziensis*, nitrogênio, clorofilômetro.

Use of nitrogen sufficiency index for the management of nitrogen fertilization in cotton crops in a crop-livestock integration system

Abstract: The nitrogen sufficiency index estimated using a portable chlorophyll meter can help manage nitrogen fertilization in production systems. This study aims to evaluate the efficiency of the portable chlorophyll meter in predicting leaf N levels in different phenological stages of cotton (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch.), as well as its relationship with cotton productivity. The experimental design was randomized blocks, in a split-plot scheme, with four replications. The plots consisted of three cotton cultivation systems: 1) cotton cultivation in the absence of *Urochloa ruziziensis* residues; 2) cotton cultivation in the presence of residues from the roots and shoots of *U. ruziziensis*; and, 3) cotton cultivation only in the presence of residues from the roots of *U. ruziziensis*. The subplots consisted of five doses of N top dressing (0, 40, 80, 120 and 160 kg ha⁻¹), applied 30 and 50 days after plant emergence (DAE). Relative chlorophyll index (RCI) readings began at 15 DAE and, from this date onwards, were taken every 15 days, sampling ten plants per experimental unit. The relative chlorophyll index (RCI) and leaf N content increased linearly with the N doses. The presence of crop residues of *U. ruziziensis* led to lower cotton production in the cart, in addition to lower N absorption by the plants. The application of 90 to 110 kg ha⁻¹ of N in top dressing resulted in the highest cotton productivity.

Keywords: *Gossypium hirsutum*, *Urochloa ruziziensis*, nitrogen, chlorophyll meter.

Introdução

O nitrogênio (N) é requerido em grandes quantidades pelas plantas de algodão. Durante o seu ciclo, a cultura do algodão absorve entre 60 e 80 kg de N para produzir uma tonelada de algodão em caroço (Ferreira; Carvalho, 2005). O requerimento N é baixo nos primeiros 35–40 dias, até ao aparecimento dos primeiros botões florais (Rosolem, 2001). Depois disso, a absorção de N aumenta até cerca de $5,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ aos 75–80 dias após a emergência (DAE), e em seguida, a absorção de N diminui com a idade da planta. A resposta de produtividade da cultura do algodão à adubação nitrogenada tem sido crescente até a aplicação de 120 kg ha^{-1} (Grespan; Zancanaro, 1999); entretanto, Furlani e Buzetti (2001) mostraram respostas na produtividade de fibras até a dose de 200 kg ha^{-1} de N. Em geral, a dose de máxima eficiência econômica para a cultura do algodão situa-se entre $100\text{--}120 \text{ kg ha}^{-1}$ de N (Rosolem, 2001). No entanto, o uso inadequado desse nutriente pelos agricultores, muitas vezes em excesso, na tentativa de não reduzir a produtividade, fez com que se aumentassem os riscos de contaminação ambiental, além de onerar os custos de produção (Carvalho *et al.*, 2012).

O adequado manejo da adubação nitrogenada é uma das práticas mais importantes para obtenção de altas produtividades nos sistemas de produção da cultura do algodão. Tal inferência deve-se ao fato que tanto o excesso como a deficiência de N pode causar decréscimos na produção e na qualidade da fibra de algodão (Reddy *et al.*, 2004; Rosolem; Mellis, 2010). Doses adequadas de N são essenciais para o crescimento e a floração das plantas de algodão, possibilitando o incremento da produtividade e a melhoria do comprimento e da resistência das fibras. No entanto, o excesso de N pode induzir o crescimento vegetativo excessivo das plantas, estender o ciclo da cultura e diminuir a produtividade e a qualidade das fibras (Staut; Kurihara, 2001; Hutmacher *et al.*, 2004; Reddy *et al.*, 2004). Neste contexto, o monitoramento do estado nutricional da planta pode ajudar no manejo da adubação nitrogenada.

A avaliação do estado nutricional das culturas constitui um dos maiores desafios para pesquisadores em fertilidade do solo e nutrição de plantas, principalmente em sistemas de produção com limitações na produtividade decorrentes de desequilíbrios nutricionais. Desta forma, o diagnóstico correto de N na planta torna-se essencial para o seu manejo apropriado. A maioria dos métodos disponíveis para essa avaliação são onerosos, destrutivos e demorados. Um método alternativo na realização desse diagnóstico é a utilização do medidor de clorofila, denominado clorofilômetro, um aparelho portátil que gera grandezas relacionadas com os níveis de clorofila presentes nas folhas (Carvalho *et al.*, 2012; Steiner *et*

al., 2023). O uso do clorofilômetro permite avaliação rápida, prática, não destrutiva e de baixo custo do estado nutricional de N da planta em tempo real, pelo fato de haver correlação significativa entre a intensidade da cor verde e o teor de clorofila com a concentração de N na folha (Barbosa Filho *et al.*, 2008; Samborski *et al.*, 2009; Rosolem; Mellis, 2010). As leituras que são mostradas no visor do aparelho são medidas indireta da clorofila presente na folha (Malavolta *et al.*, 1997) ou índice relativo de clorofila - IRC (Godoy *et al.*, 2008). Dessa forma, o clorofilômetro pode ser utilizado para estimar a necessidade de adubação nitrogenada de cobertura em diversos estádios de desenvolvimento da cultura (Samborski *et al.*, 2009; Silva *et al.*, 2023).

Esse aparelho possui diodos emissores em 650 nm (faixa do vermelho no espectro eletromagnético) e 940 nm (infravermelho próximo). O princípio de funcionamento desse aparelho baseia-se no fato de que a clorofila possui picos máximos de absorção em 665 nm e 465 nm. Assim, a luz que passa através da folha é recebida por um fotodiodo, e após conversão, o sinal é processado e apresentado na forma de um número digital, que pode ser associado ao conteúdo de clorofila presente na folha, sendo chamado de índice do clorofilômetro (Argenta *et al.*, 2001; Minolta, 1989). Apesar da absorbância das clorofilas ser muito eficiente em 650 nm, é desprezível em 940 nm (Minolta, 1989). No entanto, o sinal originado da emissão em 940 nm serve para compensar fatores externos como o conteúdo relativo de água (CRA) da folha ou diferenças na espessura da folha que venham a interferir na transmitância da luz (Waskom *et al.*, 1996).

O IRC, medido pelo clorofilômetro, pode ser indicativo da aplicação de N, desde que se conheça o nível crítico abaixo do qual a planta estaria deficiente. No entanto, além do teor de N na planta, outros fatores podem afetar os valores das leituras do IRC, como o estágio da cultura, tipo e quantidade de resíduo da cultura anterior, anos de semeadura direta, condições edafoclimáticas, resposta à adubação nitrogenada nos anos anteriores e outros fatores, impossibilitando estabelecer um valor fixo de nível crítico (Bullock; Anderson, 1998). Para viabilizar a utilização do clorofilômetro, Schepers *et al.* (1992) propuseram para a cultura do milho, a instalação de uma área de referência na lavoura adubada com dose não limitante de N. A dose a ser aplicada na área de referência deve ser alta, maior que a máxima recomendada para a cultura, para permitir o desenvolvimento da concentração máxima de clorofila nas folhas (Murdock *et al.*, 1997), devendo estar entre 1,8 e 2,0 vezes a dose recomendada para a cultura (Hussain *et al.*, 2000). Com essa premissa foi sugerido usar o índice de suficiência de N (ISN), obtido pela relação entre a medida do clorofilômetro (IRC) nas folhas das plantas da lavoura e nas folhas das plantas da área de referência (sem deficiência de N).

De acordo com Godoy *et al.* (2008), a planta avaliada somente deve ser adubada com N em cobertura quando o ISN for menor do que 0,95, praticando a chamada “adubação quando necessária” com o objetivo de otimizar a adubação nitrogenada em cobertura. No entanto, na cultura do feijão, Barbosa Filho *et al.* (2008) verificaram que o manejo da adubação nitrogenada de cobertura, baseado em leituras do IRC a partir de 28 dias após a emergência e adotando o valor de 0,90 do ISN como critério para aplicar N, proporcionou maior eficiência de utilização do N aplicado, em relação ao tratamento que recebeu a dose recomendada. Desta forma, o ISN é um excelente indicador do momento de aplicação do adubo nitrogenado e auxilia no ajuste da dose de N de acordo com a exigência de cada cultura, com a finalidade de aumentar a eficiência de utilização do N aplicado (Hussain *et al.*, 2000; Godoy *et al.*, 2003; Steiner *et al.*, 2023). No entanto, a utilização do IRC e do ISN para a cultura do algodão ainda são incipientes e escassos.

Este trabalho foi conduzido com o objetivo avaliar a eficiência do clorofilômetro portátil na predição dos teores de N foliar em diferentes estádios fenológicos da cultura do algodão (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch.), bem como sua relação com a produtividade da cultura em diferentes níveis de adubação nitrogenada em cobertura e sistemas de produção.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido na Estação Experimental Agronômica da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), em Cassilândia – MS (51°48’ W, 19°05’ S e altitude média de 470 m), no período de Agosto de 2015 a Julho de 2016. O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo tropical chuvoso (Aw), com verão chuvoso e inverno seco (precipitação no inverno menor que 60 mm), com precipitação pluvial e temperatura média anual de 1.520 mm e 24,1 °C, respectivamente.

O solo da área experimental foi classificado como Neossolo Quartzarênico, profundo, bem drenado e de textura arenosa (95 g kg⁻¹ de argila, 50 g kg⁻¹ de silte e 855 g kg⁻¹ de areia). Antes do início do experimento, área experimental vinha sendo ocupada com pastagem em elevado nível de degradação, em decorrência do inadequado uso e manejo do solo. Em agosto de 2015, antes da implantação do experimento, foram coletadas amostras de solo na camada de 0,0–0,20 m de profundidade para a realização das análises químicas, seguindo metodologia de Raij *et al.* (2001). O resultado das análises químicas do solo é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultado da análise química do Neossolo Quartzarênico na camada de 0,0–0,20 m de profundidade antes da implantação do experimento

In de profundidade antes da implantação do experimento									
pH	P _{Resina}	MO	H + Al	Al	K	Ca	Mg	CTC	V
CaCl ₂	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	-----			cmol _c dm ⁻³ -----			%
5,2	2,0	14,0	2,2	0,0	0,2	1,0	0,7	4,1	46
S-SO ₄	Micronutrientes								
	B	Cu		Zn		Fe		Mn	
	----- mg dm ⁻³ -----								
2.0	0.08	0.60		0.30		8.00		5.70	

Com a finalidade de obter diferentes níveis de nutrição de N das plantas de algodão e verificar a eficácia do clorofilômetro portátil na predição dos teores de N foliar, neste estudo foram avaliados diferentes sistemas de produção para o cultivo de algodão e doses de adubação nitrogenada em cobertura.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por três sistemas de cultivo de algodão em sucessão ou não aos resíduos vegetais de braquiária: 1) cultivo de algodão na ausência de resíduos de *Urochloa ruziziensis* [simulando um sistema convencional de produção de algodão (controle)]; 2) cultivo de algodão na presença de resíduos das raízes e da parte aérea de *U. ruziziensis* [simulando um sistema de integração agricultura-pecuária em que a cultura forrageira (braquiária) é utilizada como planta de cobertura]; e, 3) cultivo de algodão apenas na presença de resíduos das raízes de *U. ruziziensis* [simulando um sistema de integração agricultura-pecuária em que a cultura forrageira (braquiária) foi utilizada no patejo direto, silagem ou fenação]. As subparcelas foram constituídas da aplicação de cinco doses de N em cobertura (0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹), divididas em duas aplicações aos 30 e 50 dias após a emergência das plantas (DAE).

Cada unidade experimental (subparcelas) foi constituída de 5,0 m de comprimento por 3,5 m de largura (5 linhas de semeadura de algodão no espaçamento entrelinhas de 0,70m). Para as avaliações foram consideradas as três linhas centrais desprezando-se 0,5 m na extremidade de cada fileira de plantas e uma fileira de cada lado da unidade experimental (totalizando uma área útil de 8,4 m² (4,0 × 2,1 m).

Em Outubro de 2015, foi realizada a correção da acidez do solo com a aplicação de 1,4 Mg ha⁻¹ de calcário (PRNT de 72%), visando elevar a saturação por bases do solo a 70%, conforme as recomendações de Sousa e Lobato (2004). Em seguida, o preparo de solo foi realizado mediante uma gradagem pesada e duas gradagens leve, deixando o terreno nivelado, apto ao cultivo e livre de plantas daninhas.

A semeadura da braquiária (*U. ruziziensis*), nas parcelas em que o algodão foi

cultivado em sucessão a braquiária, foi realizada no espaçamento entrelinhas de 0,17 m utilizando-se 10 kg ha⁻¹ de sementes de VC 40%. A braquiária foi semeada sem adição de fertilizantes. Aos 90 dias após a semeadura, foi realizado a dessecação da braquiária mediante a aplicação de herbicida glyphosate, na dose de 1,440 g ha⁻¹ do ingrediente ativo. Posteriormente, nas parcelas em que o algodão foi cultivado apenas na presença de resíduos das raízes de braquiária, a parte aérea das plantas foi cortada e retirada das parcelas experimentais.

O algodão (*Gossypium hirsutum* L., cv. BRS 186) foi semeado mecanicamente no espaçamento entrelinhas de 0,70 m utilizando a quantidade de sementes suficientes para obtenção de densidade de 7 a 8 plantas por metro. A adubação de semeadura foi realizada de acordo com as recomendações de Sousa e Lobato (2004), com 800 kg ha⁻¹ da fórmula 04-14-08 no sulco de semeadura. As doses de N em cobertura (40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹) foram aplicadas nas subparcelas em duas parcelas iguais, aos 30 DAE e 50 DAE.

O controle de plantas daninhas durante a condução do experimento foi realizado por meio de capinas manuais. O manejo fitossanitário para o controle de pragas e doenças foi realizado com quatro aplicações dos inseticidas deltametrina + triazofós (0,4 + 140 g ha⁻¹ do i.a.) e dos fungicidas propiconazol + trifloxitrobina (75 + 75 g ha⁻¹ do i.a.) e mancozeb (1.600 g ha⁻¹ do i.a.) aos 43 DAE, 58 DAE, 71 DAE e 88 DAE. O manejo do regulador de crescimento foi realizado por meio de cloreto de mepiquat, com aplicação de 40 g ha⁻¹ do ingrediente ativo, quando as plantas de algodão atingiram altura de 40-45 cm.

A colheita do algodoeiro foi realizada manualmente quando as plantas encontravam-se no início da maturação fisiológica das fibras (totalizando ciclo de 124 dias após a emergência das plantas). Na colheita foram coletados todos os capulhos contidos nos 4,0 m de comprimentos das três linhas centrais.

O índice relativo de clorofila (IRC) foi determinado utilizando um clorofilômetro portátil, modelo SPAD-502 (Soil and Plant Analysis Development) da Minolta Co., Osaka, Japão (1989). Antes de realizar as leituras, o aparelho foi calibrado com o verificador de leitura (“reading checker”) de acordo com as recomendações técnicas do equipamento. As determinações do IRC foram realizadas no período da manhã sombreando o aparelho com o corpo para evitar interferência da luz solar. As leituras foram iniciadas aos 15 DAE e, a partir desta data, foram tomadas, a cada 15 dias, amostrando-se oito plantas por unidade experimental, sendo que em cada planta foram realizadas duas leituras na 4ª folha completamente expandida da haste principal a partir do ápice, somando assim, 16 leituras por unidade experimental. Foi tomado o cuidado de não amostrar plantas não sadias (com ataque

de pragas e ocorrência de doenças) e atípicas (fora de espaçamento).

O cálculo do índice de suficiência de nitrogênio (ISN) foi realizado através da relação das medidas dos valores das leituras do clorofilômetro (IRC) em cada unidade experimental (LA) e na parcela referência (LR) pela equação 1.

$$\text{ISN (\%)} = (\text{LA} / \text{LR}) \times 100 \quad [\text{Eq. 1}]$$

Neste estudo, foi considerado como área de referência as subparcelas do tratamento controle que receberam a aplicação de 192 kg ha⁻¹ de N, sendo aplicados 32 kg ha⁻¹ de N na semeadura, 80 kg ha⁻¹ aos 30 DAE e 80 kg ha⁻¹ aos 50 DAE.

Após a determinação do IRC, as folhas amostradas foram imediatamente coletadas, lavadas com água destilada, acondicionadas em sacos de papel e levadas à estufa para secagem e, posteriormente, moídas para a análise do teor de N foliar, conforme metodologia descrita por Malavolta *et al.* (1997). Com estes resultados foi possível verificar a influência dos sistemas de produção e do manejo da adubação nitrogenada no teor de N e estabelecer as correlações entre o teor de N foliar e os índices relativos de clorofila (leituras do clorofilômetro).

Para a determinação da produtividade de algodão em carroço, todos os capulhos contidos nos 4,0 m de comprimentos das três linhas centrais de cada unidade experimental, foram arrancadas manualmente, colocados em sacos plásticos, e, posteriormente, pesados. A produção de algodão em carroço foi convertida para kg ha⁻¹.

A produtividade relativa foi calculada definindo-se a porcentagem de aumento da média de produtividade de algodão em carroço em cada sistema de produção e dose de N em relação à média do tratamento controle (sem aplicação de N).

A eficiência de utilização do nitrogênio aplicado foi determinada mediante a relação kg ha⁻¹ da produtividade incrementada / kg ha⁻¹ de N aplicado em cada tratamento, em relação ao tratamento controle (sem aplicação de N).

Os dados foram submetidos à análise de variância seguindo o esquema de parcelas subdivididas, aplicando-se o teste F em nível de 5% de confiança. As médias dos três sistemas de produção de algodão foram comparadas pelo teste t (LSD), a 5% de probabilidade. Para as doses de nitrogênio em cobertura foram utilizadas análises de regressão e as equações significativas ($p \leq 0,05$) com os maiores coeficientes de determinação (R^2) foram ajustadas. Também foram realizadas a análise de correlação entre o índice relativo de clorofila (IRC) e o teor foliar de N. Todas as análises foram realizadas utilizando-se o software estatístico Sisvar versão 5.3 para Windows (Software de Análises Estatísticas, UFPA, Lavras, MG, BRA) (Ferreira, 2010).

Resultados e Discussões

Produção de matéria seca das plantas de braquiária

Os valores de produção de matéria seca, teor e acúmulo de N e relação C/N da parte aérea das plantas de *Urochloa ruziziensis* obtidos aos 90 dias após a semeadura, por ocasião do manejo das plantas, são mostrados na Tabela 2. A produção média de matéria seca das plantas de braquiária foi de 6.136 kg ha⁻¹, valor este dentro dos pré-estabelecidos por Silveira e Stone (2010), os quais reportaram que a capacidade de produção de matéria seca da braquiária varia de 4.000 a 18.000 kg ha⁻¹. Estes resultados evidenciam que a utilização de braquiária como cultura de cobertura é capaz de produzir quantidade adequada de palhada na superfície do solo, tornando-se importante para manutenção do sistema de semeadura direta. A quantidade de palha na superfície do solo pode servir de referência para a avaliação preliminar sobre as condições nas quais o sistema de semeadura direta está se desenvolvendo. Pode-se considerar que 6.000 kg ha⁻¹ de resíduos na superfície seja uma quantidade adequada ao sistema de semeadura direta, com o qual se consegue boa cobertura de solo.

Tabela 2 - Produção de matéria seca, teor e acúmulo de N e relação C/N na parte aérea das plantas de braquiária [*Brachiaria ruziziensis* (Syn. *Urochloa ruziziensis*)] aos 90 dias após a semeadura em um Neossolo Quartzarênico do Cerrado

Matéria seca	Teor de N	Acúmulo de N	Relação C/N ⁽¹⁾
(kg ha ⁻¹)	(g ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	
6136±498	10,6±0,6	64,6±3,1	38±2

⁽¹⁾ Valor estimado considerando que 40% da matéria seca é carbono Rosolem et al. (2012).

O acúmulo de N na parte aérea das plantas de braquiária foi de 64,6 kg ha⁻¹ (Tabela 2). Silveira e Stone (2010) relataram que o acúmulo máximo de N na parte aérea de braquiária pode chegar até 150 kg ha⁻¹ de N aos 120 dias após a semeadura. A relação C/N da parte aérea das plantas de braquiária foi de 38 (Tabela 2). A relação C/N tem sido a principal característica inerente ao material vegetal com reflexos diretos sobre a sua taxa de decomposição e, conseqüentemente, liberação de N ao sistema (Nicolardot et al., 2001).

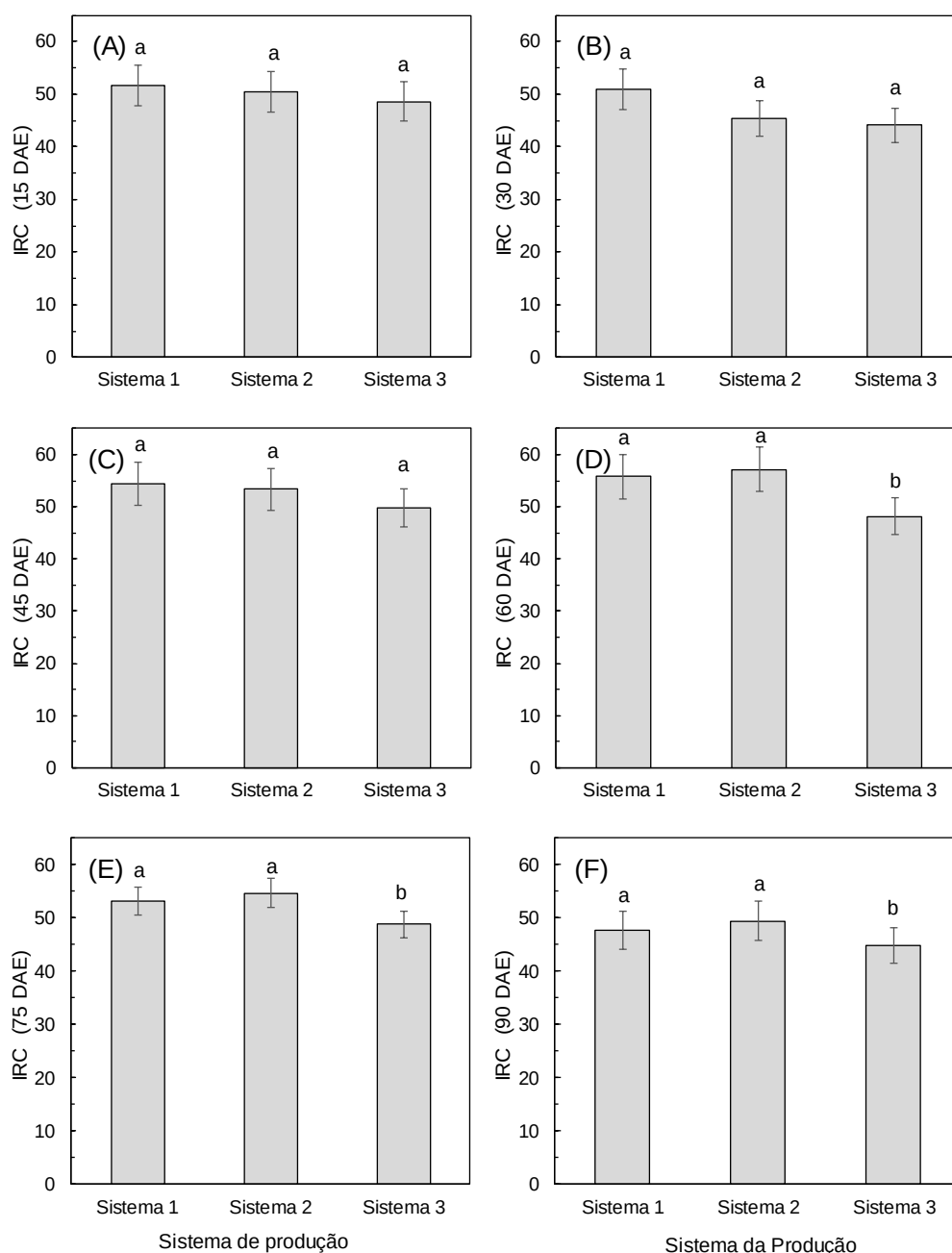
Índice relativo de clorofila e Teor de N nas folhas

Os resultados da análise de variância evidenciaram que não houve efeitos significativos ($P > 0,05$) para a interação entre os fatores sistema de produção e aplicação de N em cobertura o índice relativo de clorofila e teor foliar de nitrogênio nas plantas de algodão, assim, os resultados foram apresentados de forma isolada para cada uma dos fatores.

Os resultados obtidos para índice relativo de clorofila (IRC) nas folhas do algodoeiro em função do sistema de produção são mostrados na Figura 1. Os diferentes sistemas de produção influenciou significativamente ($P < 0,05$) o índice relativo de clorofila nas

avaliações realizadas após os 45 DAE (Figura 1). O maior índice relativo de clorofila foi obtido nos Sistemas 1 e 2, enquanto que os menores valores de índice relativo de clorofila foram obtidos no Sistema 3.

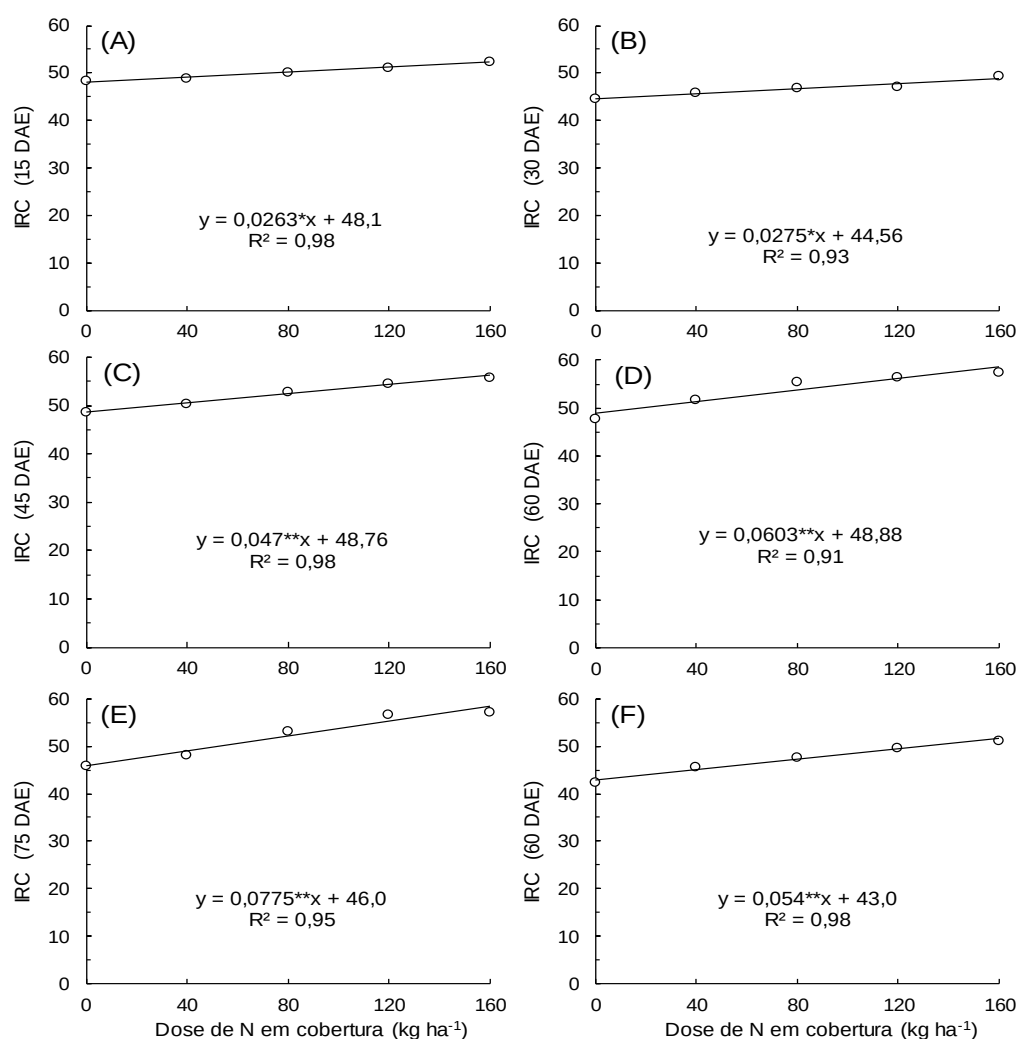
Figura 1 - Efeito do sistema de cultivo de algodão no índice relativo de clorofila (IRC) nos diferentes estádios de desenvolvimento das plantas de algodão (*Gossypium hirsutum* L., cv. BRS 186), cultivado em um Neossolo Quartzarênico. Barras seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste t (LSD) ao nível de 5% de probabilidade.



Legenda: *Sistema 1:* cultivo de algodão na ausência de resíduos de braquiária [simulando sistema convencional de produção de algodão (controle)]; *Sistema 2:* cultivo de algodão na presença de resíduos das raízes e da parte aérea de braquiária [simulando sistema de integração agricultura-pecuária em que a cultura forrageira (braquiária) foi utilizada como planta de cobertura]; *Sistema 3:* cultivo de algodão apenas na presença de resíduos das raízes de braquiária [simulando sistema de integração agricultura-pecuária em que a cultura forrageira (braquiária) foi utilizada no patejo direto, silagem ou fenação].

Os resultados obtidos para o índice relativo de clorofila (IRC) nas folhas do algodoeiro em função da adubação nitrogenada em cobertura são apresentados na Figura 2. A aplicação de doses de N em cobertura resultou em efeito significativo ($P < 0,05$) no índice relativo de clorofila em todas as épocas de avaliação (Figura 2). Houve aumento linear no índice relativo de clorofila em função do aumento da dose de N em cobertura. Estes resultados foram devido ao fato de o N ser constituinte da molécula de clorofila (TAIZ *et al.*, 2017). Garcia *et al.* (2011) e Maia *et al.* (2012; 2013) também constataram aumento nos valores dessa variável com o incremento nas doses de N aplicadas. Estudo realizado por Toso *et al.* (2011) demonstrou que o aumento da disponibilidade de N no meio radicular elevou o valor da leitura de clorofila em plantas de feijoeiro cultivar Pérola, indicando que a maior disponibilidade de N aumenta a absorção e assimilação desse nutriente pela planta.

Figura 2 - Efeito da adubação nitrogenada em cobertura no índice relativo de clorofila (IRC) nos diferentes estádios de desenvolvimento das plantas de algodão (*Gossypium hirsutum* L., cv. BRS 186), cultivado em um Neossolo Quartzarênico. * e **: significativo a 5% e 1%, respectivamente.



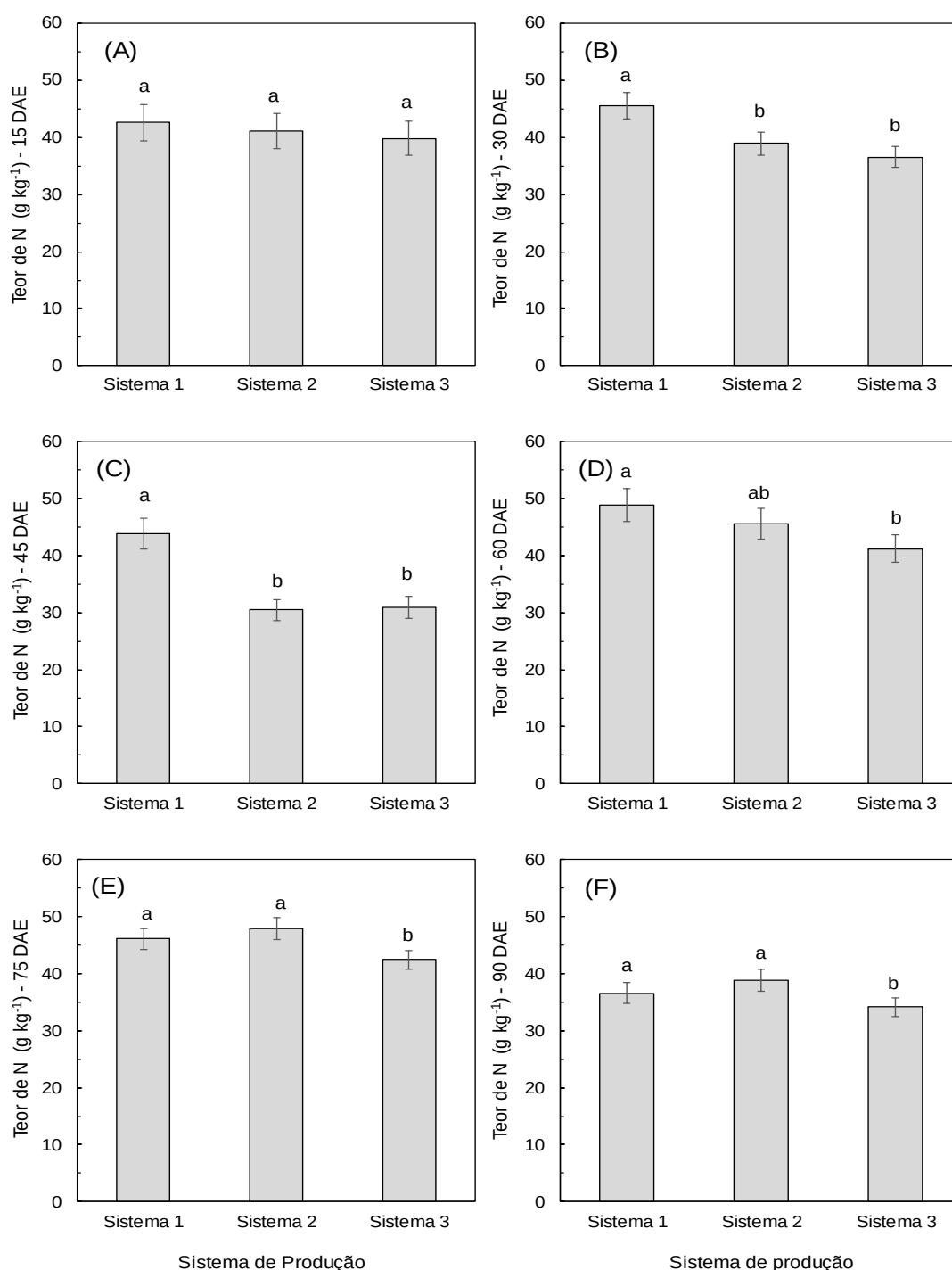
Os resultados obtidos para o teor foliar de N nas plantas de algodão em função dos diferentes sistemas de produção são mostrados na Figura 3. Os sistemas de produção não afetaram significativamente ($P > 0,05$) o teor de N nas folhas apenas aos 15 DAE (Figura 3A). Por sua vez, os diferentes sistemas de produção afetaram significativamente ($P < 0,05$) o teor de N nas folhas de algodoeiro nas avaliações realizadas após os 30 DAE (Figura 3). De modo geral, os maiores teores foliares de N foram obtidos nos Sistema de Produção 1 e 2, enquanto que os menores valores foram obtidos no Sistema 3. Estes resultados indicam que a presença de resíduos vegetais de *U. ruziziensis* (Sistema 3) proporcionou menor teor de N nas plantas de algodão em comparação ao Sistema 1 e 2 sem o cultivo anterior de braquiária.

O menor teor de N no Sistema 3 indica que parte do N aplicado ficou imobilizada na biomassa microbiana do solo, durante a decomposição dos resíduos vegetais das raízes de *B. ruziziensis*. Para utilizar o carbono dos resíduos vegetais na biossíntese e como fonte de energia, os microrganismos imobilizam N inorgânico do solo, diminuindo a sua disponibilidade para as plantas. Fato este ocasionado devido à alta relação C/N da parte aérea da *B. ruziziensis* (38:1) (Tabela 2). A relação C/N tem sido a característica mais usada em modelos para prever a disponibilidade de N no solo durante a decomposição dos resíduos vegetais (Nicolardot et al., 2001).

Os resultados obtidos para o teor de nitrogênio nas folhas do algodoeiro em função da adubação nitrogenada em cobertura são apresentados na Figura 4. A aplicação de N em cobertura resultou em efeitos significativos ($P < 0,05$) nos teores foliares de N em todas as épocas de avaliações realizadas. Os teores mais elevados de N nas folhas de algodão foram obtidos com a aplicação das doses mais elevadas de adubação nitrogenada. Estudos tem demonstrado uma relação linear entre a quantidade de N absorvido pelas plantas de algodão e doses aplicadas (Malavolta et al., 2004; Zhao et al., 2005; Zhao et al., 2010), corroborando os resultados obtidos neste estudo. O maior teor de N obtidos nas maiores doses de adubação nitrogenada pode ser devido a melhoria no processo fotossintético das plantas de algodão. Tal inferência deve-se ao fato de o N ser um componente da estrutura da clorofila, de enzimas e proteínas. As clorofilas atuam na conversão da radiação luminosa em energia química, na forma de ATP (adenosina trifostato) e NADPH (nicotinamida adenina dinucleótido fosfato reduzida) (BLANKENSHIP, 2009), sendo assim, as clorofilas estão relacionadas com a eficiência fotossintética das plantas. Portanto, os maiores teores de N nos tecidos foliares promoveram uma maior quantidade de clorofila, resultando em um aumento na taxa fotossintética na planta (ZUFFO et al. 2014), na qual, proporcionam ganhos na produção de

fotoassimilados e, conseqüentemente, uma maior produtividade.

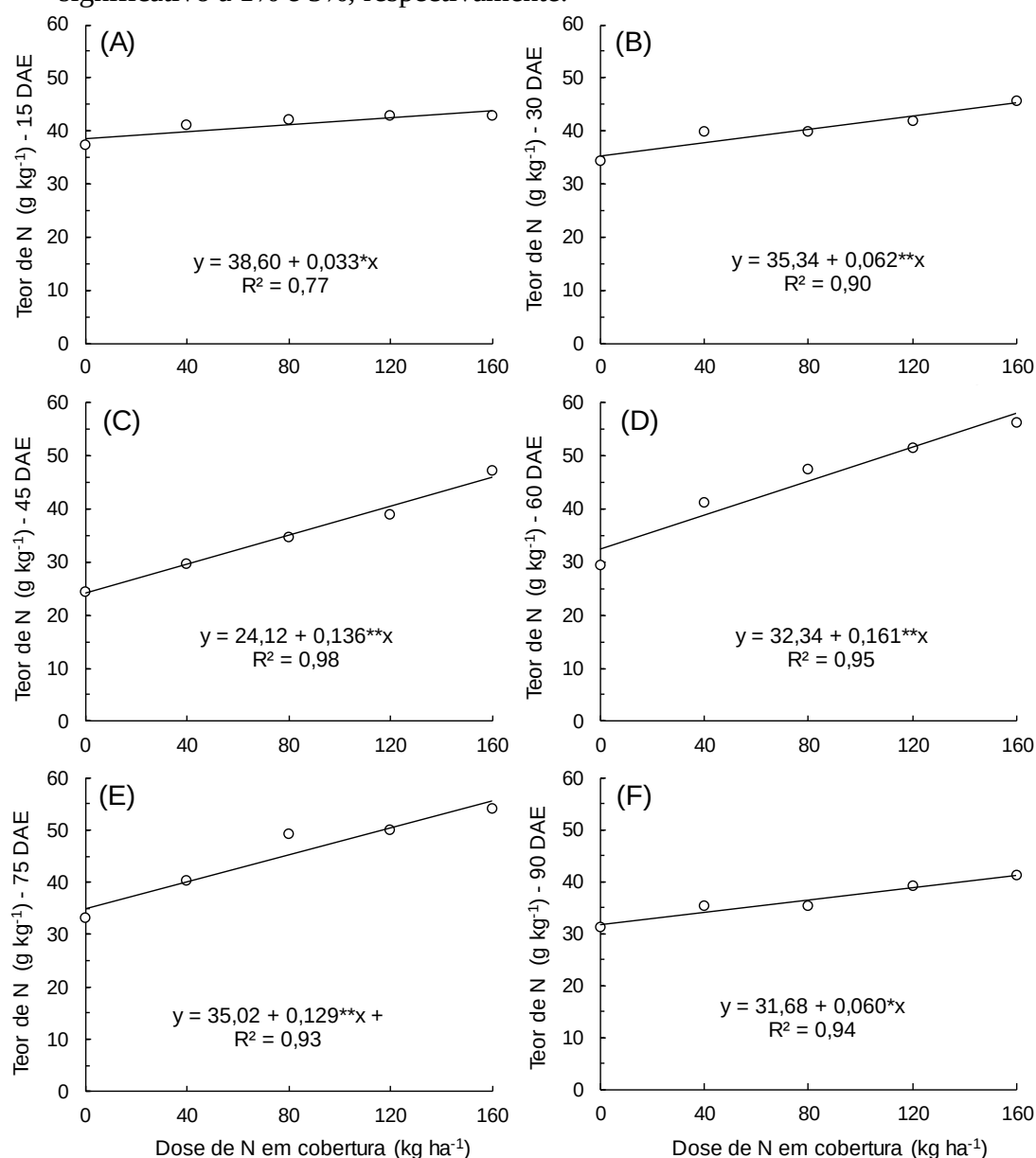
Figura 3 - Efeito do sistema de produção no teor foliar de nitrogênio nos diferentes estádios de desenvolvimento das plantas de algodão (*Gossypium hirsutum* L., cv. BRS 186), cultivado em um Neossolo Quartzarênico. Barras seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste t (LSD) ao nível de 5% de probabilidade. UEMS.



Legenda: *Sistema 1*: cultivo de algodão na ausência de resíduos de braquiária [simulando sistema convencional de produção de algodão (controle)]; *Sistema 2*: cultivo de algodão na presença de resíduos das raízes e da parte aérea de braquiária [simulando sistema de integração agricultura-pecuária em que a cultura forrageira (braquiária) foi utilizada como planta de cobertura]; *Sistema 3*: cultivo de algodão apenas na presença de resíduos das raízes de braquiária [simulando sistema de integração agricultura-pecuária em que a cultura

forrageira (braquiária) foi utilizada no pastejo direto, silagem ou fenação].

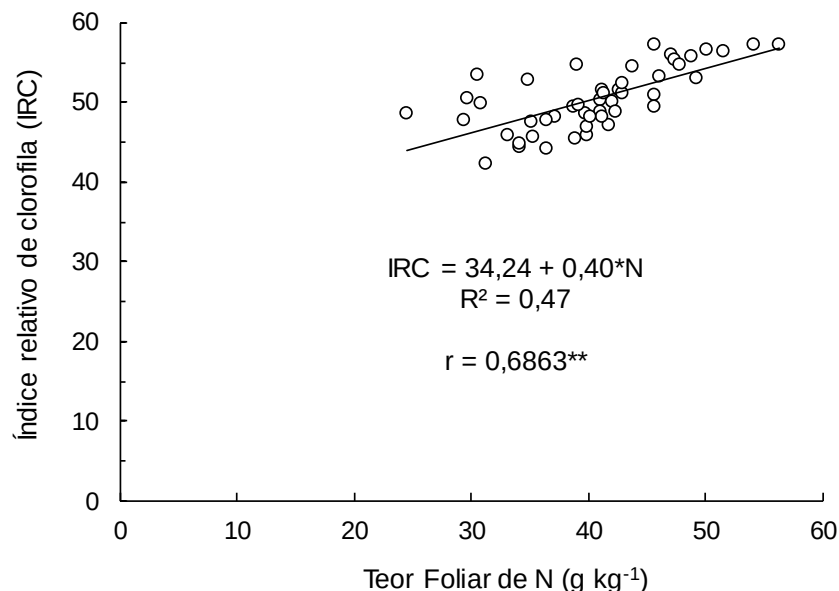
Figura 4 - Efeito da adubação nitrogenada em cobertura no teor foliar de nitrogênio nos diferentes estádios de desenvolvimento das plantas de algodão (*Gossypium hirsutum* L., cv. BRS 186), cultivado em um Neossolo Quartzarênico. * e **: significativo a 1% e 5%, respectivamente.



A relação e seus respectivos coeficientes de determinação e de correlação entre teor de N nas folhas e o índice relativo de clorofila obtidos nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura do algodão são apresentados na Figura 5. Os coeficientes de correlação (r) obtidos para a relação entre o índice relativo de clorofila estimada pelo clorofilometro e o teor de N nas folhas de algodão foi de $r = 0,6863$ ($p < 0,01$). Estes resultados indicam que o índice relativo de clorofila pode ser utilizado para estimar os teores foliares de N nas folhas de algodão com uma boa precisão (Figura 5). A equação de regressão [Teor de N (g/kg) = (-34,24 +

IRC)/0,40, $R^2 = 0,47^*$] pode ser utilizada para estimar o teor de N nas folhas de algodão.

Figura 5 - Relação entre teor de N nas folhas e o índice relativo de clorofila obtidos nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L., cv. BRS 186), cultivado em um Neossolo Quartzarênico do Cerrado.

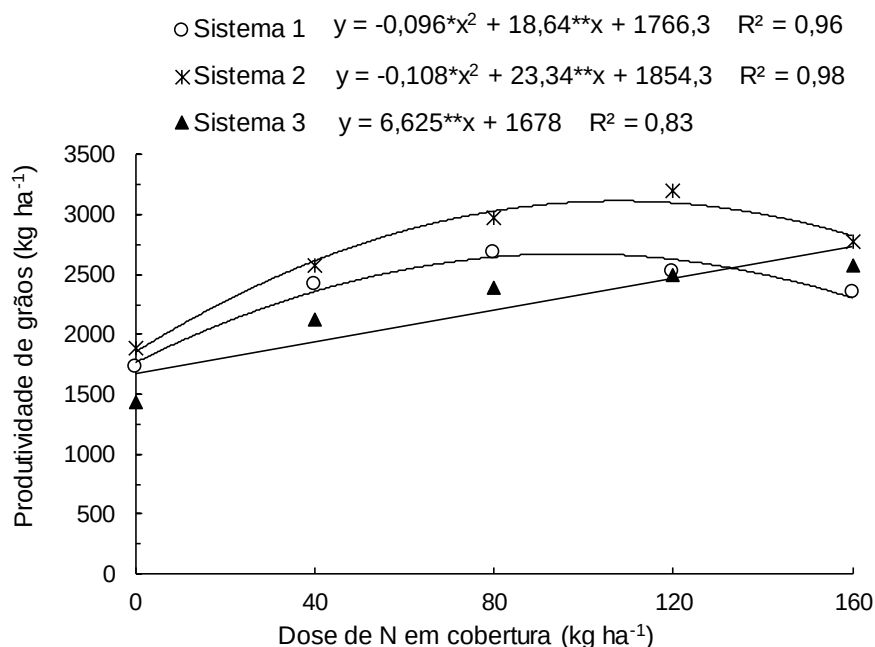


Produtividade de grãos e Utilização de N pelo feijoeiro

Os resultados obtidos para a produção de algodão em carroço em função dos sistema de produção e da aplicação de doses de N em cobertura são mostrados na Figura 6. A produtividade do algodoeiro foi afetada significativamente pela presença ou não de restos vegetais de *U. ruziziensis* e doses de N. A menor produção de algodão em carroço obtido na presença de resíduos vegetais de raiz de *U. ruziziensis*, deve-se, a imobilização de N pelos microorganismos do solo, diminuindo a disponibilidade do nutriente para as plantas de algodão. A adição de resíduos vegetais com alta relação C/N (>30:1) em superfície ou incorporado ao solo, tem sido uma das principais causas do menor crescimento das culturas em sucessão (Souza et al., 2006). Por isso, normalmente é necessário adicionar maior quantidade de fertilizante nitrogenado ao sistema (Thompson & Whitney, 1998). Segundo Vaughan & Evanylo (1998), a quantidade suplementar necessária de N varia com a quantidade de resíduos vegetais incorporados ao solo, com a composição química do resíduo e com o período compreendido entre o manejo do material e a semeadura da cultura subsequente. Ernani et al. (2002) obtiveram maior absorção de N e produção de matéria seca da parte aérea de milho quando a semeadura foi realizada 30 e 60 dias após a adição de resíduos vegetais de aveia e aplicação de N. O período de imobilização de N após o manejo dos resíduos vegetais é, normalmente, de alguns meses (Trinssoutrot et al., 2000), porém é

mais intenso nos primeiros dias.

Figura 6 - Efeito do sistema de produção e da adubação nitrogenada em cobertura na produtividade do algodão (*Gossypium hirsutum* L., cv. BRS 186), cultivado em um Neossolo Quartzarênico do Cerrado.



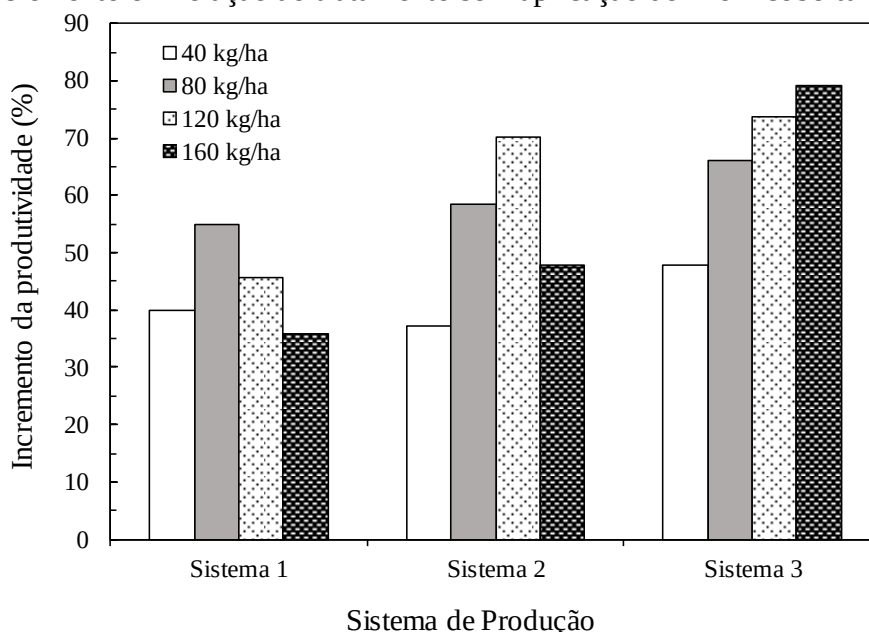
Legenda: *Sistema 1:* cultivo de algodão na ausência de resíduos de braquiária [simulando sistema convencional de produção de algodão (controle)]; *Sistema 2:* cultivo de algodão na presença de resíduos das raízes e da parte aérea de braquiária [simulando sistema de integração agricultura-pecuária em que a cultura forrageira (braquiária) foi utilizada como planta de cobertura]; *Sistema 3:* cultivo de algodão apenas na presença de resíduos das raízes de braquiária [simulando sistema de integração agricultura-pecuária em que a cultura forrageira (braquiária) foi utilizada no pastejo direto, silagem ou fenação].

A produção de algodão em carroço foi afetado significativamente pelas doses de N (Figura 6). A maior produtividade do algodoeiro nos Sistema 1 e 2 foi obtida com a aplicação de 90 a 110 kg ha⁻¹ de N em cobertura (Figura 6). No Sistema 3 a produtividade de algodão em carroço aumentou linearmente com as doses de N aplicadas em cobertura (Figura 6). O N é requerido em grandes quantidades pela planta de algodão. Durante o seu ciclo, o algodoeiro absorve de 60 até 80 kg de N para produzir uma tonelada de algodão em caroço (Ferreira & Carvalho, 2005). A maior parte desta demanda é atendida pela adubação nitrogenada, em complementação à quantidade fornecida pelo solo. Doses adequadas de N são essenciais para o crescimento e a floração do algodoeiro, aumentam a produtividade e melhoram o comprimento e a resistência da fibra, mas o excesso de N pode induzir o crescimento vegetativo excessivo, estender o ciclo da planta e diminuir a produtividade e a qualidade da fibra (HUTMACHER *et al.*, 2004; REDDY *et al.*, 2004). Pesquisas mostraram que a resposta de produtividade do algodoeiro à adubação nitrogenada é crescente até a dose de 120 kg ha⁻¹

(GRESPLAN; ZANCANARO, 1999), embora, Furlani & Buzetti (2001) verificaram que o algodoeiro apresentou resposta em produtividade até a dose de 200 kg ha⁻¹ de N. Em geral, a dose de máxima eficiência econômica para a cultura do algodoeiro situa-se entre 100–120 kg ha⁻¹ de N (Rosolem, 2001). No entanto, quando o algodão é cultivado em rotação com gramíneas, o manejo adequado do N no sistema solo–planta–palha é normalmente dificultado, devido à variabilidade dos processos de mineralização, lixiviação, volatilização, denitrificação e absorção pela cultura.

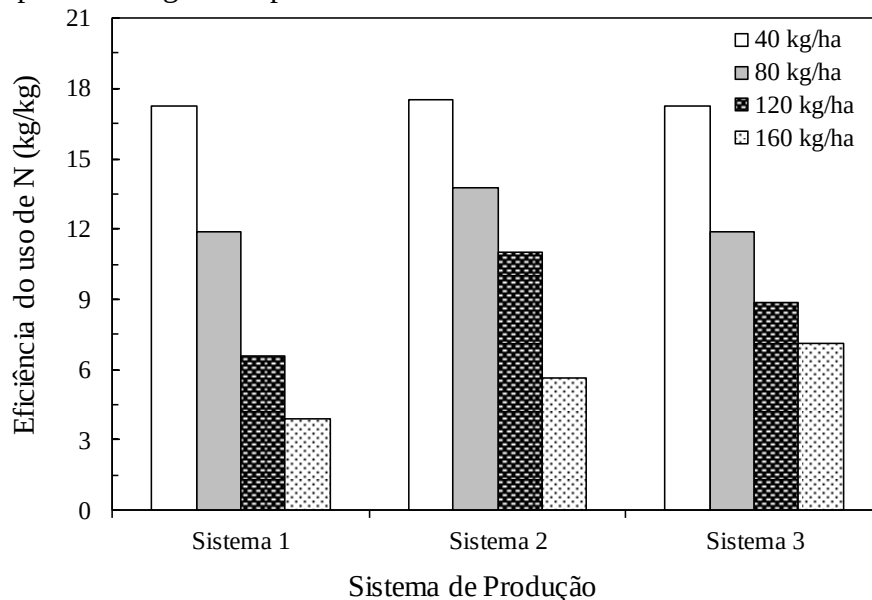
Os resultados obtidos para o incremento relativo da produção de grãos e para a eficiência de utilização do nitrogênio em função da inoculação dos sistemas de produção e da aplicação de N em cobertura são mostrados na Figuras 7 e 8, respectivamente. Os maiores valores para o incremento relativo no Sistema 3 (cultivo de algodão em sucessão aos resíduos de raiz de braquiária) indica que a produtividade de algodão em caroço foi mais dependente da adubação nitrogenada quando comparado as plantas Sistemas 1 e 2 (Figura 7). Por sua vez, o incremento da dose de N em cobertura resultou na menor eficiência de utilização do N pelas plantas de algodão (Figura 8).

Figura 7 - Efeito sistema de produção e da adubação nitrogenada em cobertura no incremento relativo da produtividade do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L., cv. BRS 186), cultivado em um Neossolo Quartzarênico do Cerrado. A porcentagem de incremento em relação ao tratamento sem aplicação de N em cobertura.



Legenda: *Sistema 1:* cultivo de algodão na ausência de resíduos de braquiária [simulando sistema convencional de produção de algodão (controle)]; *Sistema 2:* cultivo de algodão na presença de resíduos das raízes e da parte aérea de braquiária [simulando sistema de integração agricultura-pecuária onde a cultura forrageira (braquiária) foi utilizada como planta de cobertura]; *Sistema 3:* cultivo de algodão apenas na presença de resíduos das raízes de braquiária [simulando sistema de integração agricultura-pecuária onde a cultura forrageira (braquiária) foi utilizada no patejo direto, silagem ou fenação].

Figura 8 - Efeito do sistema de produção e da adubação nitrogenada em cobertura na eficiência de utilização de N das plantas de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L., cv. BRS 186), cultivado em um Neossolo Quartzarênico do Cerrado. A eficiência de uso de N indica a quantidade de produção (em kg) incrementada para cada kg de N aplicado em cobertura.

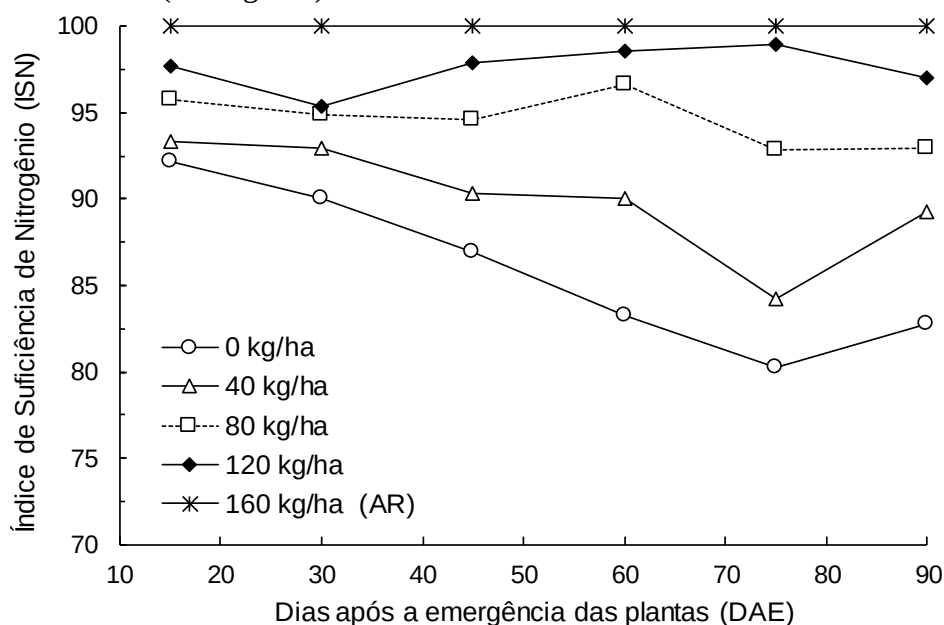


Legenda: *Sistema 1*: cultivo de algodão na ausência de resíduos de braquiária [simulando sistema convencional de produção de algodão (controle)]; *Sistema 2*: cultivo de algodão na presença de resíduos das raízes e da parte aérea de braquiária [simulando sistema de integração agricultura-pecuária em que a cultura forrageira (braquiária) foi utilizada como planta de cobertura]; *Sistema 3*: cultivo de algodão apenas na presença de resíduos das raízes de braquiária [simulando sistema de integração agricultura-pecuária em que a cultura forrageira (braquiária) foi utilizada no pastejo direto, silagem ou fenação].

Índice de suficiência de nitrogênio (ISN)

Os resultados obtidos para o índice de suficiência de nitrogênio (ISN) em função dos sistemas de produção e da aplicação de N em cobertura são mostrados na Figuras 9. Neste experimento, foi calculado o ISN considerando o valor do IRC nas plantas que receberam a maior dose de N em cobertura (160 kg ha^{-1}) como valor de referência. O valor do ISN nas plantas que não foram adubadas com N ou que receberam 40 kg ha^{-1} de N em cobertura foi menor que 95% durante todo o ciclo, indicando a deficiência de N (Figura 9). As plantas que receberam as doses de N de 80 kg ha^{-1} apresentaram o ISN menor que 95% somente a partir dos 60 DAE, permanecendo até a colheita. O ISN nas plantas adubadas com a dose de 120 kg ha^{-1} de N foi maior que 95% praticamente durante todo o ciclo (Figura 9).

Figura 9 - Índice de suficiência de nitrogênio (ISN) calculado pelo quociente entre o IRC de uma subparcela e o de outra subparcela que recebeu a maior dose de N em cobertura (referência), durante o ciclo de desenvolvimento do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L., cv. BRS 186), cultivado em um Neossolo Quartzarênico do Cerrado. O valor do IRC nas plantas que receberam a maior dose de N em cobertura (160 kg ha^{-1}) foi considerado como valor de referência.



Conclusões

O índice relativo de clorofila (IRC) e o teor foliar de N aumentou de forma linear com as doses de N.

A equação de regressão $[\text{Teor de N (g/kg)} = (-34,24 + \text{IRC})/0,40; R^2 = 0,47^*]$ pode ser utilizada para estimar o teor de N nas folhas de algodão.

A presença de resíduos culturais de *Urochloa ruziziensis* proporcionou menor produção de algodão em caroço, além de menor absorção de N pelas plantas, indicando que houve imobilização de N pelos microorganismos do solo, diminuindo a disponibilidade do nutriente para as plantas de algodão.

A aplicação de 90 a 110 kg ha^{-1} de N em cobertura resultou na maior produtividade de algodão em caroço quando o algodoeiro é cultivado em sucessão ao pouco ou sobre resíduos de braquiária.

Referências

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; BORTOLINI, C.G.; FORSTHOFER, E.L.; STRIEDER, M.L. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, 13: 158-167. 2001.

BARBOSA-FILHO, M. P.; COBUCCI, T.; FAGERIA, N. K.; MENDES, P. N. Determinação da necessidade de adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro irrigado com auxílio do clorofilômetro portátil. **Ciência Rural**, 38: 1843-1848, 2008.

BULLOCK, D.G.; ANDERSON, D.S. Evaluation of the Minolta SPAD - 502 chlorophyll meter for nitrogen management in corn. **Journal of Plant Nutrition**, 21:741-755, 1998.

CARVALHO, M.A.F.; SILVEIRA, P.M.; SANTOS, A.B. **Utilização do clorofilômetro para racionalização da adubação nitrogenada nas culturas do arroz e do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2012. 14p.

FERREIRA, D. F. **SISVAR: Sistema de análise de variância**. Versão 5.3. Lavras-MG: UFLA, 2010.

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

FURLANI, E. J.; BUZETTI, S. Dosagens e momentos de aplicação de adubo nitrogenado para a cultura do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) IAC 22. In: Congresso Brasileiro do Algodão, 2001, São Paulo. **Anais...** Campina Grande: Embrapa-CNPA, 2001. 714p.

GARCÍA, M. L.; MEDRANO, E.; SÁNCHEZ-GUERRERO, M. C.; LORENZO, P. Climatic effects of two cooling systems in greenhouses in the Mediterranean area: external mobile shading and fog system. **Biosystems Engineering**, v. 108, n. 4, p. 133-143, 2011.

GODOY, L.J.G.; SANTOS, T.S.; VILLAS BÔAS, R.L.; JÚNIOR, J.B.L. Índice relativo de clorofila e o estado nutricional em nitrogênio durante o ciclo de cafeeiro fertirrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32: 217-226, 2008.

GODOY, L.J.G.; VILLAS BÔAS, R.L.; BÜLL, L.T. Utilização da medida do clorofilômetro no manejo da adubação nitrogenada em plantas de pimentão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27: 1049-1056, 2003.

GRESPLAN, S. L.; ZANCANARO, L. **Nutrição e adubação do algodoeiro no Mato Grosso**. In: Fundação MT. Mato Grosso: Liderança e Competitividade. Rondonópolis: Fundação MT; Campina Grande: Embrapa – CNPA, 1999. p.87-99.

HUSSAIN, F.; BRONSON, K.F.; SINGH, Y.; SINGH, B.; PENG, S. Use of chlorophyll meter sufficiency indices for nitrogen management of irrigated rice in Asia. **Agronomy Journal**, 92: 875–879, 2000.

HUTMACHER, R.B.; TRAVIS, R.L.; RAINS, D.W.; VARGAS, R.N.; ROBERTS, B.A.; WEIR, B.L.; WRIGHT, S.D.; MUNK, D.S.; MARSH, B.H.; KEELEY, M.P.; FRITSCHI, F.B.; MUNIER, D.J.; NICHOLS, R.L.; DELGADO, R. Response of recent Acala cotton cultivars to variable nitrogen rates in the San Joaquin valley of California. **Agronomy Journal**, 96:48-62, 2004.

MAIA, S.C.M.; SORATTO, R.P.; BIAZOTTO, F.O.; ALMEIDA, A.Q. Estimativa da necessidade de nitrogênio em cobertura no feijoeiro IAC Alvorada com clorofilômetro portátil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 2229-2238, 2013.

MAIA, S.C.M.; SORATTO, R.P.; NASTARO, B.; FREITAS, L.B. The nitrogen sufficiency index underlying estimates of nitrogen fertilization requirements of common bean. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 183-191, 2012.

MALAVOLTA, E.A.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 201p.

MINOLTA. **Chlorophyll meter SPAD-502**: instruction manual. Osaka, 1989. 22p.

MURDOCK, L.; JONES, S.; BOWLEY, C.; NEEDHAM, P.; JAMES, J.; HOWE, P. **Using a chlorophyll meter to make nitrogen recommendations on wheat**. Lexington: Cooperative Extension Service, University of Kentucky, 1997. 4p.

REDDY, K.R.; KOTI, S.; DAVIDONIS, G.H.; REDDY, V.R. Interactive effects of carbon dioxide and nitrogen nutrition on cotton growth, development, yield, and fiber quality. **Agronomy Journal**, 96:1148–1157, 2004.

ROSOLEM, C.A. **Problemas de Nutrição Mineral, Calagem e Adubação do Algodoeiro**. Informações Agrônomicas, n.95, p.10-17, Set. 2001.

ROSOLEM, C.A.; MELLIS, V. Monitoring nitrogen nutrition in cotton. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:1601-1607, 2010.

SAMBORSKI, S.M.; TREMBLAY, N.; FALLON, E. Strategies to make use of plant sensors-based diagnostic information for nitrogen recommendations. **Agronomy Journal**, 101: 800-816, 2009.

SCHEPERS, J.S.; FRANCIS, D.D.; VIGIL, M.; BELOW, F.E. Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter reading. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, 23:2173-2187, 1992.

SILVA, A. P.; PAULINO, M. A. R.; MOLINA, L. S.; ZUFFO, A. M.; AGUILERA, J. G.; STEINER, F. Índice relativo de clorofila para a otimização da adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro em diferentes sistemas de produção. **Revista Cultivando o Saber**, v. 16, n. 2, p. 39-55, 2023.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

STAUT, L.A.; KURIHARA, C.H. **Calagem e adubação**. In: Embrapa Agropecuária Oeste. Algodão: Tecnologia de produção. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste/Embrapa Algodão, 2001.

STEINER, F.; ZUFFO, A. M.; SILVA, K. C.; LIMA, I. M. O.; ARDON, H. J. V. Cotton response to nitrogen fertilization in the integrated crop-livestock system. **Scientia Agraria**

Paranaensis, v. 19, n. 3, p. 211-220, 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

WASKOM, R.M.; WESTFALL, D.G.; SPELLMAN, D.E.; SOLTANPOUR, P.N. Monitoring nitrogen status of corn with a portable chlorophyll meter. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 27: 545-560. 1996.