

**Índice SPAD como Indicador
da Nutrição Nitrogenada
do Milho em Argissolos
dos Tabuleiros Costeiros**



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Tabuleiros Costeiros
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 129

Índice SPAD como Indicador da Nutrição Nitrogenada do Milho em Argissolos dos Tabuleiros Costeiros

*Inacio de Barros
Wadson de Menezes Santos
Edson Patto Pacheco
Heraldo Namorato de Souza*

Embrapa Tabuleiros Costeiros
Av. Beira Mar, 3250
49025-040 Aracaju, SE
Fone: (79) 4009-1344
www.embrapa.br/tabuleiros-costeiros
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações da Embrapa Tabuleiros Costeiros

Presidente: Marcelo Ferreira Fernandes

Secretário-Executivo: Marcus Aurélio Soares Cruz

Membros: Amaury da Silva dos Santos, Ana da Silva Lédo,
Anderson Carlos Marafon, Joézio Luiz dos Santos, Júlio Roberto
Araújo de Amorim, Lizz Kezzy de Moraes, Luciana Marques de
Carvalho, Tânia Valeska Medeiros Dantas, Viviane Talamini.

Supervisão editorial: Flaviana Barbosa Sales

Normalização bibliográfica: Josete Cunha Melo

Editoração eletrônica: Breno Loeser

Foto da capa: Anderson Carlos Marafon

1ª Edição
On-line (2017)

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Tabuleiros Costeiros

Índice SPAD como Indicador da Nutrição Nitrogenada do Milho em Agrissolos dos
Tabuleiros Costeiros / Inácio de Barros ... [et al.] – Aracaju : Embrapa Tabuleiros
Costeiros, 2017.

37 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Tabuleiros Costeiros,
ISSN 1678-1961).

1. Milho. 2. Solo. 3. Agrissolo. 4. Nutrição da planta. 5. Tabuleiros
Costeiros. I. Barros, Inácio de. II. Santos, Wadson de Menezes. III.
Pacheco, Edson Patto. IV. Souza, Heraldo Namorato de. V. Série

CDD 633.15 Ed. 21

©Embrapa 2017

Sumário

Resumo.....	5
Abstract	7
Introdução	8
Material e Métodos.....	11
Resultados e Discussão.....	17
Conclusões	31
Agradecimentos.....	31
Referências.....	32

Índice SPAD como Indicador da Nutrição Nitrogenada do Milho em Argissolos dos Tabuleiros Costeiros

Inacio de Barros¹

Wadson de Menezes Santos²

Edson Patto Pacheco³

Heraldo Namorato de Souza⁴

Resumo

Foi estudado o efeito da aplicação de ureia e sulfato de amônio na produtividade e na nutrição do milho, e o potencial de uso de leituras de índice *Soil Plant Analysis Development* (SPAD) como indicador do teor de nitrogênio foliar para fins de diagnóstico da nutrição nitrogenada. Em um Argissolo Vermelho-Amarelo de Nossa Senhora das Dores, SE, foram conduzidos experimentos em plantio convencional nos anos de 2014 e 2015 e em plantio direto em 2015. Já em um Argissolo Acinzentado de Umbaúba, SE, foram conduzidos experimentos em plantio convencional nos anos de 2014 e 2015. O delineamento experimental adotado foi em blocos

¹Engenheiro-agrônomo, PhD em Ciências Agrárias, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE.

²Engenheiro-agrônomo, MSc em Agricultura e Biodiversidade, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

³Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE.

⁴Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador do Cenpes/Petrobras, Rio de Janeiro, RJ.

casualizados em esquema fatorial com tratamento adicional e três repetições. Foram testadas, além da testemunha, três doses de cada fonte (75 kg/ha, 150 kg/ha e 300 kg/ha de N) aplicadas em cobertura no híbrido simples AG7088PRO-2[®] (Agrocere). Pelos resultados obtidos, conclui-se que a aplicação de fertilizantes nitrogenados aumenta a produtividade, o teor foliar de nitrogênio e o índice SPAD, e que o índice SPAD também é um indicador preciso, tanto da nutrição nitrogenada quanto do potencial de produtividade do milho nos Argissolos dos Tabuleiros Costeiros.

Palavras-chave: clorofilômetro, nitrogênio, sulfato de amônio, ureia.

SPAD Index as Indicator of Nitrogen Status in Maize in Haplic Soils of Coastal Tablelands

Abstract

The effect of urea and ammonium sulfate on maize yield and nutrition, as well as the potential use of Soil Plant Analysis Development (SPAD) index as an indicator of leaf nitrogen content for diagnostic purposes was studied. In an Haplic Acrisol of Nossa Senhora das Dores, SE, experiments were set up using conventional seeding in 2014 and 2015 and in 2015 also using direct seeding. In an Haplic Lixisol of Umbaúba, SE, the experiments were set up with conventional seeding both in 2014 and 2015. The experimental designs were Randomized Complete Blocks with three replication, where, besides the Control treatment, three rates (75 kg/ha, 150 kg/ha and 300 kg/ha N) of each source was tested as sidedress application to AG7088PRO-2[®] (Agrocere) hybrid corn. The conclusions, highlighted by the results, indicate that the application of nitrogen increases yield, leaf nitrogen and SPAD index and that SPAD index is an accurate indicator of leaf nitrogen status and relative maize yield in the Haplic soils of the Coastal Tablelands.

Index terms: ammonium sulfate, chlorophyll meter, nitrogen, urea.

Introdução

O nitrogênio (N) é o nutriente mineral requerido em maiores quantidades pela cultura do milho (GOMES et al., 2007), sendo que a obtenção de produtividades que assegurem lucratividade ao produtor está diretamente relacionada ao seu suprimento adequado, pois interfere diretamente na produção, na melhoria da atividade de microrganismos e na qualidade do solo (OKUMURA et al., 2013). Na planta, o N desempenha diversas funções, sendo componente estrutural da clorofila e fazendo parte de diversos compostos orgânicos como aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos, além de atuar diretamente na expansão e divisão celular (HAWKESFORD et al., 2012; MALAVOLTA, 2006). É um dos nutrientes que apresenta os efeitos mais significativos no aumento da produtividade (CANTARELLA, 2007; MORAIS et al., 2015).

Dada a sua importância, o monitoramento do estado nutricional em relação ao N para o diagnóstico da necessidade de aplicação é necessário. Doses elevadas de N podem causar perdas dos fertilizantes aplicados e consequentes distúrbios ambientais, como a contaminação de fontes de água por nitrato (WASKOM et al., 1996; VARVEL et al., 1997; SCHRÖDER et al., 2000) e emissão de gases de efeito estufa, além de provocar uma baixa eficiência no uso desse elemento (RAUN; JOHNSON, 1999; PRANDO et al., 2013). Por outro lado, o uso de quantidades insuficientes pode comprometer a produtividade, acarretando perdas financeiras ao produtor. Neste sentido, o monitoramento pode propiciar melhor sincronismo entre as necessidades desse nutriente pela cultura e a sua disponibilidade no solo (ARGENTA et al., 2003).

A principal fonte de N no solo é a matéria orgânica. No entanto, o N orgânico não está prontamente disponível para as plantas (URQUIAGA; ZAPATA, 2000), sendo necessária a sua mineralização para que possa ser absorvido. A mineralização do N, em determinado período, depende de muitos fatores, como temperatura, umidade, aeração, pH, quantidade e natureza do material orgânico presente. Assim, a variação nesses fatores determina distintas velocidades na transformação do N orgânico em formas minerais (KOLCHINSKI; SCHUCH, 2003). Em função desta dinâmica

complexa entre as formas orgânicas e minerais do N, as análises laboratoriais dos teores de N no solo (mineral e orgânico) não têm apresentado resultados promissores para calibração correta da necessidade de adubação nitrogenada.

Alguns métodos de previsão da necessidade de N durante o desenvolvimento vegetativo da planta de milho estão disponíveis (BINFORD et al., 1992; SIMS et al., 1995). Esses métodos são baseados em análises laboratoriais de amostras de tecido e, em geral, apresentam altas correlações com a produtividade. Todavia, por serem laboratoriais, eles apresentam a desvantagem de despendem tempo e trabalho, além de envolver despesas com coleta, processamento e análise de amostras (ARGENTA, 2001b, 2003). O uso de sensores ópticos, capazes de avaliar indiretamente o estado nutricional da cultura, de forma não destrutiva representa uma inovação tecnológica no manejo da fertilização nitrogenada (RAUN et al., 2002, 2005; ARGENTA et al., 2003; BERNTSEN et al., 2006; JORGENSEN; JORGENSEN, 2007; PORTZ et al., 2012).

Dentre os sensores óticos portáteis, aqueles que medem o teor de clorofila (clorofilômetros) nas folhas são os mais utilizados para predizer o nível nutricional de N, já que o teor desse elemento correlaciona-se positivamente com a quantidade daquele pigmento (PIEKIELEK; FOX, 1992; SMEAL; ZHANG, 1994; BOOIJ et al., 2000). Essa relação é devida ao fato de que 50% a 70% do N total das folhas serem integrante de enzimas (CHAPMAN; BARRETO, 1997) que estão associadas aos cloroplastos (STOCKING; ONGUN, 1962). O medidor de clorofila possui diodos que emitem luz a 650 nm (vermelho) e a 940 nm (infravermelho). A luz em 650 nm situa-se próximo dos dois comprimentos primários de ondas associados à atividade da clorofila (645 nm e 663 nm), enquanto o comprimento de onda de 940 nm serve como referência interna para compensar diferenças na espessura ou no conteúdo de água da folha ou que sejam devidas a outros fatores (WASKOM et al., 1996). A luz que passa através da amostra atinge um receptor (fotodiodo de silicone) que converte a luz transmitida em sinais elétricos analógicos. Esses sinais são

então amplificados e convertidos em sinais digitais por meio de um conversor analógico/digital (MINOLTA..., 1989). Um microprocessador usa esses sinais para calcular os índices

Soil Plant Analysis Development (SPAD), que são proporcionais ao teor de clorofila presente na folha (ARGENTA et al., 2001b). Vários trabalhos demonstraram a relação entre o índice SPAD e teor de clorofila na folha (MARQUARD; TIPTON, 1987; DWYER et al., 1995; ARGENTA et al., 2001b), bem como do teor de clorofila nas folhas com o teor de N na planta (SMEAL; ZHANG, 1994; ARGENTA et al., 2001b). Em outro trabalho, Argenta et al. (2002) testaram várias características como indicadores do nível de N em plantas de milho, e constataram que a leitura no clorofilômetro (índice SPAD) foi o melhor indicador do nível de N na planta. Dessa forma, a determinação do teor relativo de clorofila por meio do clorofilômetro vem sendo utilizada para prever a necessidade de adubação nitrogenada em várias culturas como, por exemplo, arroz (TURNER; JUND, 1991; PENG et al., 1993), trigo (FOLLETT et al., 1992; REEVES et al., 1993; FOX et al., 1994; BREDEMEIER, 1999) e milho (PIEKIELEK; FOX, 1992; SMEAL; ZHANG, 1994; BLACKMER; SCHEPERS, 1995; WASKOM et al., 1996; VARVEL et al., 1997; ARGENTA et al., 2001a).

Os objetivos deste estudo foram: (1) avaliar os efeitos de doses e fontes de nitrogênio, aplicadas em cobertura, sobre o teor relativo de clorofila (leitura SPAD), teor de N nas folhas e produtividade de grãos de um híbrido simples de milho; (2) avaliar a potencialidade de uso de leituras SPAD como medidas indiretas do teor foliar de nitrogênio e (3) determinar os parâmetros para o diagnóstico da nutrição nitrogenada do milho por meio de índices SPAD em dois Argissolos dos Tabuleiros Costeiros.

Material e Métodos

Descrição das áreas estudadas

Região do Médio Sertão Sergipano

Foram implantados dois experimentos com a cultura do milho em sistema de plantio convencional, nas safras 2014 e 2015 e um em sistema plantio direto na safra 2015. Os experimentos foram instalados no Campo Experimental Jorge Sobral da Embrapa Tabuleiros Costeiros, localizado no município de Nossa Senhora das Dores, SE, cujas coordenadas geográficas são 10°27'S e 37°11'O e altitude média de 200 m acima do nível do mar. O solo da área experimental é um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura argilosa e de relevo ondulado (SANTOS et al., 2013). A temperatura média anual é de 26° C e a precipitação média anual é de 1.082 mm, sendo que mais de 70% das chuvas ocorrem no período de abril a agosto. As características químicas e físicas do solo da área experimental são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo da área experimental, após a calagem, em Nossa Senhora das Dores, SE.

Parâmetros químicos												
Prof.	pH (H ₂ O)	¹ MO g kg ⁻¹	P mg dm ⁻³	K mg dm ⁻³	Ca mg dm ⁻³	Mg mg dm ⁻³	H+Al mmol _c dm ⁻³	Al mmol _c dm ⁻³	Na mmol _c dm ⁻³	² SB mmol _c dm ⁻³	³ CTC mmol _c dm ⁻³	⁴ V -%
0-20 cm	5,9	16,3	6,2	35,9	24,2	18,8	11,9	0,3	1,3	45,3	57,2	79,2
20-40 cm	5,8	12,9	2,4	16,8	21,9	16,6	12	0,2	0,9	39,8	51,8	76,8
Parâmetros físicos												
Prof.	Areia		Silte		Argila		Classe textural					
		g kg ⁻¹		g kg ⁻¹		g kg ⁻¹						
0-20 cm		552		183		265	Franco argilo arenosa					
20-40 cm		489		194		317	Franco argilo arenosa					

¹MO: matéria orgânica

²SB: soma de bases trocáveis

³CTC: capacidade de troca catiônica a pH 7,0

⁴V: índice de saturação por base. Métodos de análise: pH (H₂O); MO (colorimetria); P, K e Na (Mehlich 1); Al, Ca e Mg (KCl 1 mol L⁻¹); H+Al (acetato de cálcio); granulometria (método do densímetro).

Região do Sul Sergipano

Foram conduzidos dois experimentos com a cultura do milho em sistema de plantio convencional, nas safras 2014 e 2015. Os experimentos foram instalados no Campo Experimental de Umbaúba (CEU) da Embrapa Tabuleiros Costeiros, localizado no município de Umbaúba, SE. As coordenadas geográficas locais são 11°22'37''S e 37°40'26''O e a altitude média de 109 m acima do nível do mar. O solo do local do experimento é um Argissolo Acinzentado eutrófico de textura média. A média anual de precipitação é de 1.421 mm, sendo que mais de 70% das chuvas ocorrem no período de março a agosto. As características químicas e físicas da área experimental são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Características químicas e físicas do solo da área experimental, após a calagem, em Umbaúba, SE.

Parâmetros químicos													
Prof. (cm)	pH (H ₂ O)	¹ MO g kg ⁻¹	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	H + Al	Al mmol. dm ⁻³	Na	² SB	³ CTC	⁴ V %	
0-20	5,4	16,2	45,9	103,6	26,9	13,8	19,7	0,8	1,4	44,8	64,5	69,5	
20-40	5,1	32,9	12,4	60,2	16,9	9,4	19,5	1,2	0,6	28,5	48	59,3	

Parâmetros físicos				
Prof. (cm)	Areia	Silte g kg ⁻¹	Argila	Classe textural
0-20	659	99	242	Franco argilo arenosa
20-40	627	110	263	Franco argilo arenosa

¹MO: matéria orgânica

²SB: soma de bases trocáveis

³CTC: capacidade de troca catiônica a pH 7,0

⁴V: índice de saturação por base. Métodos de análise: pH (H₂O); MO (colorimetria);

P, K e Na (Mehlich 1); Al, Ca e Mg (KCl 1 mol L⁻¹); H+Al (acetato de cálcio);

granulometria (método do densímetro).

Implantação dos experimentos

Em 2014, foram aplicados 3.750 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico nas duas áreas experimentais, sendo incorporado a 20 cm de profundidade, 60 dias antes da semeadura nas duas áreas onde foram conduzidos os experimentos.

Os preparos dos solos constaram de uma gradagem pesada e de duas passagens com grade niveladora, sendo uma passada no sentido transversal e outra no sentido longitudinal as linhas de plantio no caso dos experimentos em que foi adotado o sistema de plantio convencional em 2014 e 2015 nas duas áreas experimentais. No caso do experimento em que foi adotado o sistema de plantio direto em 2015 em Nossa Senhora das Dores, a dessecação das plantas invasoras foi realizada duas semanas antes do plantio com a aplicação de herbicida glifosato na dosagem de 1.440 g i.a. por hectare e o plantio realizado sobre a palhada dessecada.

As semeaduras dos experimentos foram realizadas mecanicamente e ocorreram nos dias 12 de junho de 2014 e 20 de maio de 2015 em Nossa Senhora das Dores, e nos dias 04 de junho de 2014 e 02 de junho de 2015 em Umbaúba. Em 2014, foi utilizada uma semeadora-adubadora de duas linhas da marca Fitarelli, acoplada a um micro trator (Yanmar Agritech). Foi utilizado o híbrido simples AG 7088 PRO 2[®] (Agrocere), e as sementes foram distribuídas em um espaçamento entre linhas de 0,7 m, com densidade de semeadura de 70.000 sementes por hectare. Em 2015, foi utilizada uma semeadora-adubadora pneumática da marca Jumil, modelo 2670 Pop Exacta Air com quatro linhas, tracionadas por um trator New Holland modelo TM 165 - 4x4. Foi utilizado o híbrido simples AG 7088 VT PRO MAX[®] (Agrocere), com densidade de semeadura de 74.000 sementes por hectare distribuídas em espaçamento entre linhas de 0,5 m. As sementes foram depositadas a 5 cm de profundidade.

As adubações de plantio constaram na aplicação de 43,64 kg ha⁻¹ de P na forma de superfosfato triplo (244 kg ha⁻¹ do produto), e 66,41 kg ha⁻¹ de K na forma de cloreto de potássio (133 kg ha⁻¹ do produto), sendo o adubo depositado 5 cm abaixo e 5 cm ao lado da semente. A emergência das plantas ocorreu, em média, aos seis dias após a semeadura. Trinta dias após a semeadura, foi aplicado o herbicida glifosato na dose de 1.440 g do i.a. ha⁻¹ para controle de plantas daninhas nos experimentos em sistema de plantio convencional. Não foi necessário nenhum controle fitossanitário.

Delineamento experimental

Foram testadas três doses de N: 75 kg/ha, 150 kg/ha e 300 kg/ha provenientes de duas fontes: sulfato de amônio cristal e ureia perolada, além da testemunha que não contou com a aplicação de N (0 kg/ha). O delineamento experimental foi em fatorial com tratamento adicional (3 x 2 + 1), instalado em blocos ao acaso, com três repetições.

Em 2014, cada parcela teve as dimensões de 2,8 m x 5 m (14 m²), no ano seguinte as parcelas possuíam 2 m x 5 m (10 m²), ambas foram compostas por quatro linhas de plantio. Foram consideradas como área útil as duas linhas centrais, desprezando-se 0,5 m das extremidades de cada linha. As parcelas foram separadas uma das outras por uma linha de bordadura em 2014, e duas linhas em 2015.

Os tratamentos foram aplicados a lanço em cobertura nas quatro linhas centrais de cada parcela, entre os estádios V4-V5. Em Umbaúba, no ano de 2015, a cobertura foi realizada no estádio V6.

Como o experimento foi semeado mecanicamente, para garantir que a testemunha não recebesse N e que os produtos testados fossem a única fonte externa de N, o nitrogênio não foi aplicado na adubação de plantio. Esse manejo é descrito por Coelho (2010), que recomenda que, quando na ausência de N na semeadura, a aplicação em cobertura seja realizada até o estádio fenológico de

4 a 5 folhas, e está de acordo com Silva et al. (2005) que não encontraram diferenças significativas em produtividade entre a aplicação de toda recomendação de N em cobertura entre os estádios de 4 a 6 folhas, e a aplicação do N em semeadura e cobertura.

Avaliações

Por ocasião da coleta de amostras de tecido foliar para determinação do teor de N, as mesmas folhas a serem coletadas foram antes submetidas, em campo, à leitura do índice SPAD com o clorofilômetro Minolta SPAD-502, no início do estágio R1 (embonecamento e polinização). Logo após, foram coletadas cinco folhas-índice (folha oposta e abaixo da espiga) por parcela, nas duas linhas centrais, desprezando-se as plantas das bordas. Para cada folha coletada, foram realizadas duas leituras com o aparelho, e os resultados médios registrados para fins de análise.

Em seguida, as amostras de folha foram lavadas com água destilada, postas para secar em estufa com circulação forçada de ar a 60°C até peso constante, trituradas em moinho de facas de aço inoxidável tipo wiley e armazenadas em potes universais para subseqüentes análises químicas.

Os teores foliares de N foram determinados pelo método de Kjeldahl, sendo as soluções extratoras obtidas por digestão com peróxido de hidrogênio e ácido sulfúrico (SILVA, 2009).

Para a estimativa da produtividade, a área útil das parcelas foi colhida manualmente. Em Nossa Senhoras das Dores, as colheitas ocorreram nos dias 12 de novembro de 2014 e 29 de outubro de 2015, e em Umbaúba nos dias 25 de novembro de 2014 e 17 de novembro de 2015. Depois de colhidas, as espigas foram trilhadas mecanicamente e pesadas para a obtenção da massa de grãos. Em seguida, efetuou-se a correção de umidade para 13% e padronizaram-se os resultados para um hectare. A fim de se isolar o efeito da aplicação de N dos efeitos ambientais, as produtividades foram relativizadas como porcentagem

da maior média de produtividade obtida em cada área experimental, ano e sistema de plantio.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e a comparação das médias realizada pelos testes F e de Tukey a $p \leq 0,05$ para as fontes de N. E para as doses de N, procedeu-se à análise de regressão. As análises de variância, os testes de médias e as regressões polinomiais foram realizados por meio do suplemento Real Statistics para Excel[®], enquanto as regressões não lineares foram estimadas pelo método dos quadrados mínimos utilizando-se do suplemento Solver[®] para Excel[®] na opção método de solução por Gradação Reduzida Generalizada (GRG) não linear.

Resultados e Discussão

Efeito da adubação no teor de N foliar e no índice SPAD

Nas duas áreas experimentais, a aplicação de N, tanto na forma de sulfato de amônio quanto de ureia, teve efeito significativo nos teores foliares de N, conforme demonstram os resultados apresentados na Figura 1.

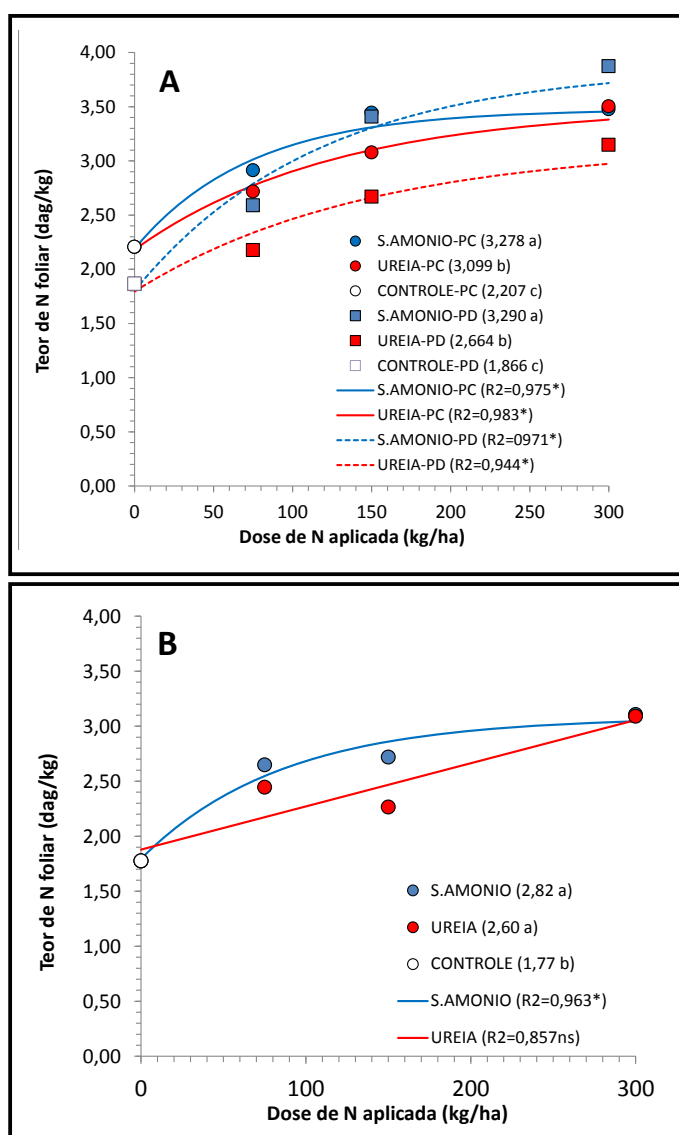


Figura 1. Efeito da aplicação de N nos teores foliares de N em Nossa Senhora das Dores, SE (A) e em Umbaúba, SE (B) nos anos de 2014 e 2015.

Médias das fontes de N seguidas da mesma letra (entre parênteses) indicam diferenças não significativas pelo teste de Tukey a $p < 0,05$.

R² seguido de * (entre parênteses) indica que o ajuste da equação é significativo pelo teste F a $p < 0,05$.

ns indica que o ajuste não é significativo pelo teste F.

PC indica Plantio Convencional; PD indica Plantio Direto.

No Argissolo Vermelho-Amarelo da área experimental de Nossa Senhora das Dores, a aplicação de sulfato de amônio propiciou teores foliares de N significativamente superiores aos obtidos com ureia, tanto no experimento em que se adotou o plantio convencional, média de 2014 e 2015, quanto no que se utilizou o plantio direto em 2015 (Figura 1A). Já no Argissolo Acinzentado da área experimental de Umbaúba, não foram observadas diferenças significativas entre os teores foliares de N na folha-índice do milho entre as fontes de N aplicadas (Figura 1B). Em condições naturais, a principal fonte de N para as plantas é a mineralização do N da matéria orgânica dos solos. Na camada 0 cm-40 cm, o teor de matéria orgânica do Argissolo Acinzentado de Umbaúba (24,55 g/kg) é 68% superior ao do Argissolo Vermelho-Amarelo de Nossa Senhora das Dores (14,60 g/kg).

Exceto para a aplicação de ureia no Argissolo Acinzentado de Umbaúba, todos os demais tratamentos apresentaram efeitos significativos da dose de N no teor foliar desse elemento, sendo o ajuste pela função de Mitschelich representativo do comportamento do efeito, conforme demonstram as equações 1 a 6 a seguir:

- Aplicação de sulfato de amônio em Nossa Senhora das Dores em sistema de plantio convencional (média de 2014 e 2015):

$$N_{fol} = 3,87(1 - e^{(-0,00860759(x+72,69))}) \quad R^2 = 0,971^* \quad (1)$$

- Aplicação de ureia em Nossa Senhora das Dores em sistema de plantio convencional (média de 2014 e 2015):

$$N_{fol} = 3,15(1 - e^{(-0,0086173(x+123,90))}) \quad R^2 = 0,944^* \quad (2)$$

- Aplicação de sulfato de amônio em Nossa Senhora das Dores em sistema de plantio direto (em 2015):

$$N_{fol} = 3,47(1 - e^{(-0,01366026(x+72,69))}) \quad R^2 = 0,975^* \quad (3)$$

- Aplicação de ureia em Nossa Senhora das Dores em sistema de plantio direto (em 2015):

$$N_{fol} = 3,50(1 - e^{(-0,0079333(x+122,69))}) \quad R^2 = 0,983^* \quad (4)$$

- Aplicação de sulfato de amônio em Umbaúba em sistema de plantio convencional (média de 2014 e 2015):

$$N_{fol} = 3,08(1 - e^{(-0,01172149(x+74,44))}) \quad R^2 = 0,963^* \quad (5)$$

- Aplicação de ureia em Umbaúba em sistema de plantio convencional (média de 2014 e 2015):

$$N_{fol} = 1,878 + 0,003925x \quad R^2 = 0,857ns \quad (6)$$

em que:

N_{fol} é o teor de N na folha-índice na fase R1 do milho (em g/kg);

x é a dose de N aplicada (em kg/ha);

* indica que o ajuste da função é significativo pelo teste F a $p < 0,05$;

ns indica que não foi observado ajuste significativo pelo teste F.

Em relação ao teor relativo de clorofila (índice SPAD), foram observadas diferenças significativas para os efeitos da aplicação de nitrogênio (contraste controle vs adubados), para as fontes de N testadas (sulfato de amônio vs ureia) e para as doses de N testadas (Figura 2).

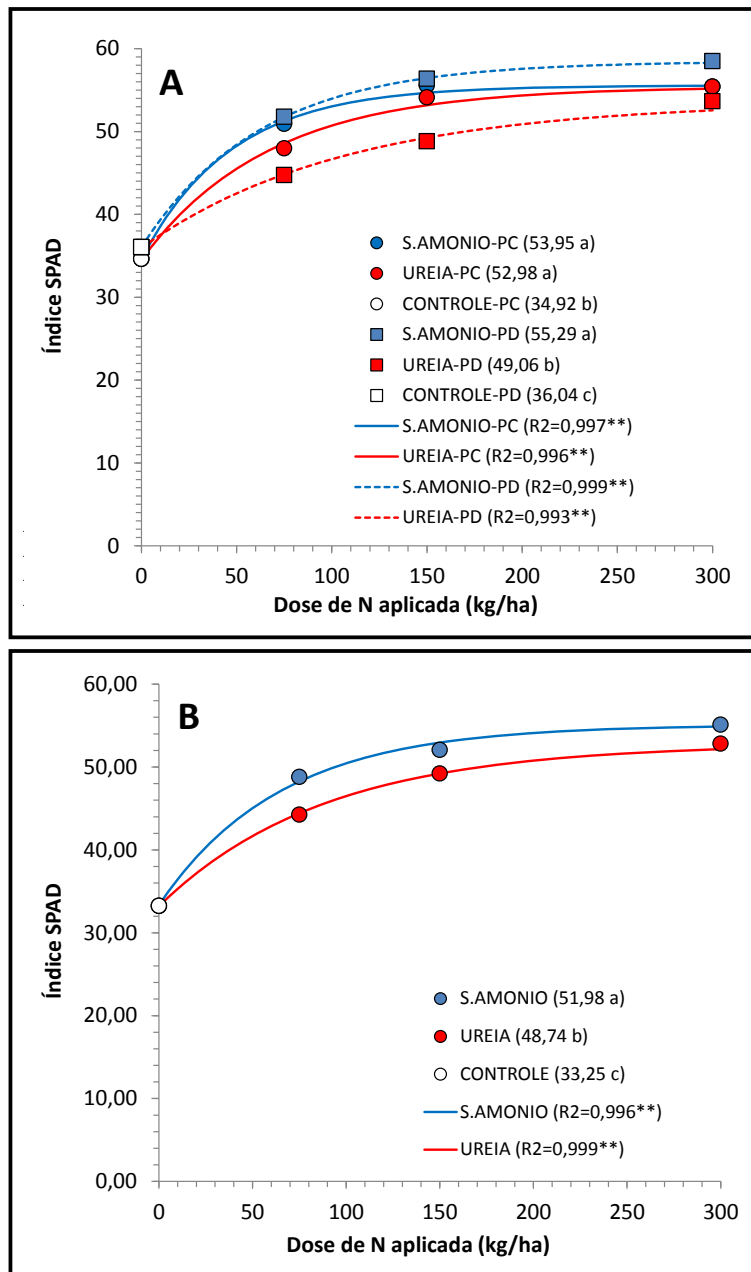


Figura 2. Efeito da aplicação de N nos índices SPAD em Nossa Senhora das Dores, SE (A) e em Umbaúba, SE (B) nos anos de 2014 e 2015.

Médias das fontes de N seguidas da mesma letra (entre parêntesis) indicam diferenças não significativas pelo teste de Tukey a $p < 0,05$.

R^2 seguido de ** (entre parênteses) indica que o ajuste da equação é significativo pelo teste F a $p < 0,01$. PC indica Plantio Convencional; PD indica Plantio Direto.

As doses de N aplicadas tiveram efeitos altamente significativos nos índices SPAD em ambos os Argissolos das áreas experimentais, sendo que a função dos aumentos decrescentes apresentou um ajuste aos resultados obtidos com coeficientes de determinação (R^2) sempre superior a 0,99, conforme atestam as equações 7 a 12 a seguir:

- Aplicação de sulfato de amônio em Nossa Senhora das Dores em sistema de plantio convencional (média de 2014 e 2015):

$$\text{SPAD}=58,47(1-e^{(-0,0160323(x+59,79))}) \quad R^2=0,999^{**} \quad (7)$$

- Aplicação de ureia em Nossa Senhora das Dores em sistema de plantio convencional (média de 2014 e 2015):

$$\text{SPAD}=53,63(1-e^{(-0,0092901(x+119,47))}) \quad R^2=0,993^{**} \quad (8)$$

- Aplicação de sulfato de amônio em Nossa Senhora das Dores em sistema de plantio direto (em 2015):

$$\text{SPAD}=55,54(1-e^{(-0,02115136(x+46,09))}) \quad R^2=0,997^{**} \quad (9)$$

- Aplicação de ureia em Nossa Senhora das Dores em sistema de plantio direto (em 2015):

$$\text{SPAD}=55,40(1-e^{(-0,014924(x+65,38))}) \quad R^2=0,996^{**} \quad (10)$$

- Aplicação de sulfato de amônio em Umbaúba em sistema de plantio convencional (média de 2014 e 2015):

$$\text{SPAD}=55,10(1-e^{(-0,01542741(x+60,19))}) \quad R^2=0,996^{**} \quad (11)$$

- Aplicação de ureia em Umbaúba em sistema de plantio convencional (média de 2014 e 2015):

$$\text{SPAD}=52,80(1-e^{(-0,011338(x+87,35))}) \quad R^2=0,999^{**} \quad (12)$$

em que:

SPAD indica o índice SPAD (teor relativo de clorofila) na folha-índice do milho na fase R1,

x é a dose de N aplicada (em kg/ha);

** indica que o ajuste da função é significativo pelo teste F a $p < 0,01$.

A análise de regressão linear demonstrou que as leituras de índice SPAD apresentam capacidade altamente significativa como indicadores dos teores foliares de N, conforme ilustra a Figura 3. Esse resultado atesta a viabilidade da medida indireta de clorofila, por meio do índice SPAD, para o diagnóstico da nutrição nitrogenada do milho em Argissolos dos Tabuleiros Costeiros.

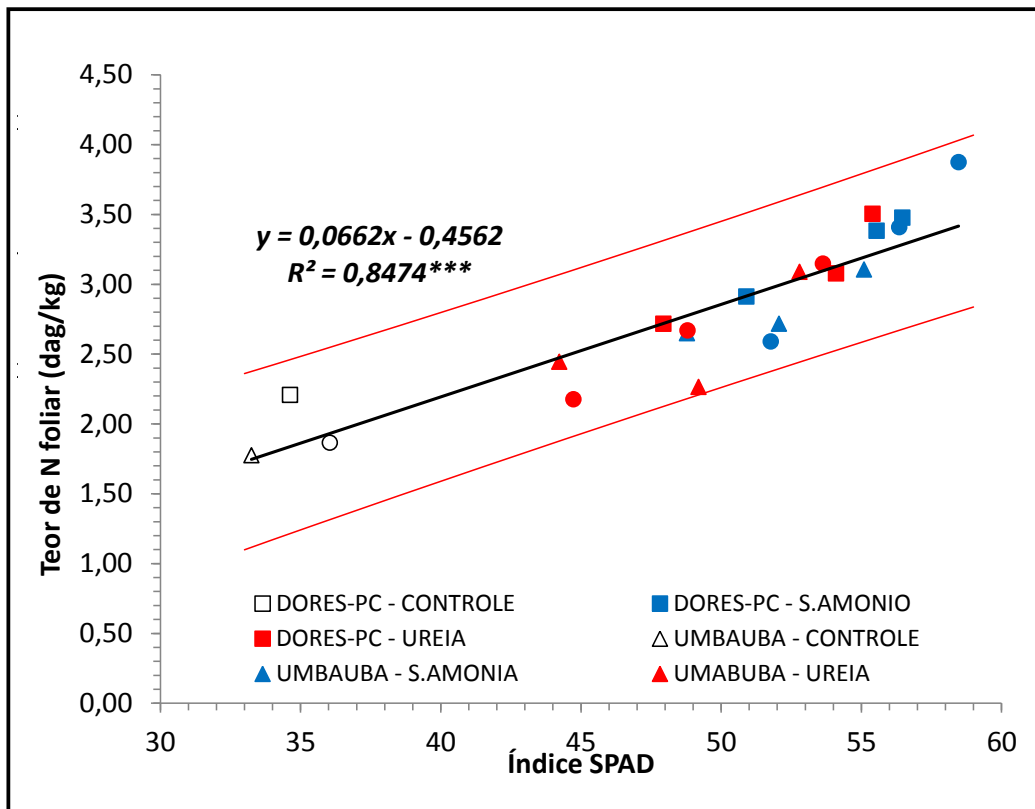


Figura 3. Regressão linear entre leituras de índice SPAD e teores de N nas folhas-índice de milho em duas áreas experimentais nos Tabuleiros Costeiros.

*** indica que o ajuste da equação é significativo pelo teste F a $p < 0,001$.

Retas em vermelho correspondem ao intervalo de confiança (95%) do ajuste da função linear. PC indica Plantio Convencional; PD indica Plantio Direto.

Pela relação obtida e apresentada na Figura 3, leituras de índice SPAD entre 48 e 56 corresponderiam aos teores de N foliar entre 2,75 e 3,25, considerados adequados para a cultura do milho conforme Malavolta et al. (1997).

De modo geral, os teores foliares e os correspondentes índices SPAD foram superiores com a aplicação de sulfato de amônio do que com ureia (Figura 3). Apesar de apresentar a vantagem de conter um elevado teor de N na sua formulação (45%) e, dessa forma, reduzir custos com transporte e aplicação, a ureia possui um alto potencial de perdas por volatilização de N-NH₃ (FONTOURA; BAYER, 2010), perdas essas que podem variar de 40% a 78% do total de N aplicado em superfície na cultura do milho, conforme atestam Lara Cabezas e Couto (2007). Por outro lado, o sulfato de amônio, em geral, apresenta baixo potencial de perdas atmosféricas, sendo necessária uma condição de solo alcalino para que a volatilização dessa fonte ocorra; pois, nessas condições, o amônio (NH₄⁺) reage com a hidroxila (OH⁻) formando água e NH₃ que volatiliza. Essa situação é incomum nos solos brasileiros (SANGOI et al., 2003; CANTARELLA; MONTEZANO, 2010). No caso do presente estudo, os valores de pH dos solos analisados foram respectivamente de 5,9 e 5,4 para Nossa Senhora das Dores e Umbaúba. Uma possível perda atmosférica por volatilização mais elevada com a aplicação de ureia implicaria uma biodisponibilidade de N menor com a aplicação desse fertilizante, afetando diretamente a taxa de absorção do nutriente pelas plantas e, conseqüentemente, as diferenças observadas do efeito das fontes nos teores foliares de N.

Efeito da nutrição nitrogenada na produtividade de grãos

A aplicação de N, seja na forma de sulfato de amônio, seja na forma de ureia, promoveu um aumento significativo na produtividade relativa de grãos de milho, tanto no Argissolo Vermelho-Amarelo de Nossa Senhora das Dores quanto no Argissolo Acinzentado de Umbaúba. Todavia, não foram observadas diferenças significativas na produtividade relativa dos tratamentos fertilizados com sulfato de

amônia em relação àqueles adubados com ureia (Figura 4). Para fins de relativização, a Tabela 3 apresenta as produtividades médias máximas e mínimas obtidas nos experimentos conduzidos em 2014 e 2015.

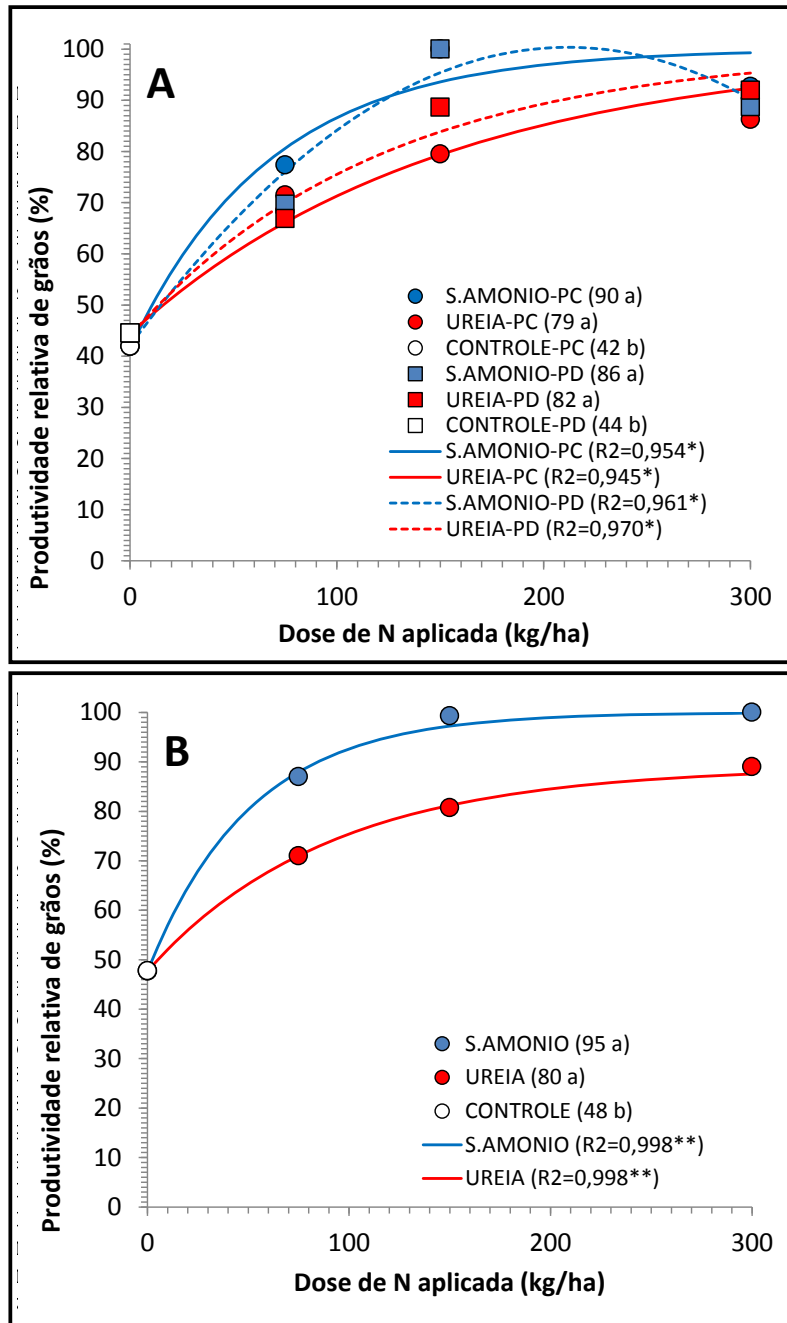


Figura 4. Efeito da aplicação de N na produtividade relativa de grãos (em % da produtividade máxima obtida) em Nossa Senhora das Dores, SE (A) e em Umbaúba, SE (B).

Médias das fontes de N seguidas da mesma letra (entre parêntesis) indicam diferenças não significativas pelo teste de Tukey a $p < 0,05$.

R² seguido de * (entre parêntesis) indica que o ajuste da equação é significativo pelo teste F a $p < 0,05$, enquanto seguido de ** indica que o ajuste é significativo pelo teste F a $p < 0,01$.

PC indica Plantio Convencional; PD indica Plantio Direto.

Tabela 3. Produtividades máximas e mínimas de grãos de milho obtidas nos experimentos conduzidos em dois Argissolos dos Tabuleiros Costeiros em 2014 e 2015.

Local	Sistema de plantio	Produtividade máxima (kg/ha)		Produtividade mínima (kg/ha)	
		2014	2015	2014	2015
N. S. das Dores, SE	Direto		7.524		3.346
	Convencional	5.647	7.049	1.828	3.226
Umbaúba, SE	Convencional	6.757	5.799	3.326	2.602

A produtividade relativa foi significativamente afetada pela dose de N aplicada diferentemente para as duas fontes testadas e nos dois Argissolos estudados. As funções explicativas do comportamento da produtividade relativa em função da dose de N variaram de acordo com a fonte e a área experimental conforme as equações 13 a 18 a seguir:

- Aplicação de sulfato de amônio em Nossa Senhora das Dores em sistema de plantio convencional (média de 2014 e 2015):

$$ProdRel=100(1-e^{(-0,0147414(x+36,35))}) \quad R^2=0,954^* \quad (13)$$

- Aplicação de ureia em Nossa Senhora das Dores em sistema de plantio convencional (média de 2014 e 2015):

$$ProdRel=100(1-e^{(-0,0066082(x+88,88))}) \quad R^2=0,945^* \quad (14)$$

- Aplicação de sulfato de amônio em Nossa Senhora das Dores em sistema de plantio direto (em 2015):

$$ProdRel=42,103+0,5504x-0,0013x^2 \quad R^2=0,961^* \quad (15)$$

- Aplicação de ureia em Nossa Senhora das Dores em sistema de plantio direto (em 2015):

$$ProdRel=100(1-e^{(-0,0082902(x+69,83))}) \quad R^2=0,970^* \quad (16)$$

- Aplicação de sulfato de amônio em Umbaúba em sistema de plantio convencional (média de 2014 e 2015):

$$ProdRel=100(1-e^{(-0,01959639(x+33,03))}) \quad R^2=0,998^{**} \quad (17)$$

- Aplicação de ureia em Umbaúba em sistema de plantio convencional (média de 2014 e 2015):

$$ProdRel=89(1-e^{(-0,0111176(x+69,04))}) \quad R^2=0,998^{**} \quad (18)$$

em que:

ProdRel é a produtividade relativa (em % da produtividade máxima obtida, conforme Tabela 3);

x é a dose de N aplicada (em kg/ha);

* indica que o ajuste da função é significativo pelo teste F a $p < 0,05$;

** indica que o ajuste da função é significativo pelo teste F a $p < 0,01$.

Com os dados obtidos foi possível estabelecer a relação existente entre os teores foliares de N e os índices SPAD com a produtividade relativa de grãos de milho nos dois Argissolos dos Tabuleiros Costeiros estudados. Relações lineares altamente significativas foram encontradas para ambas as variáveis, conforme ilustra a Figura 5.

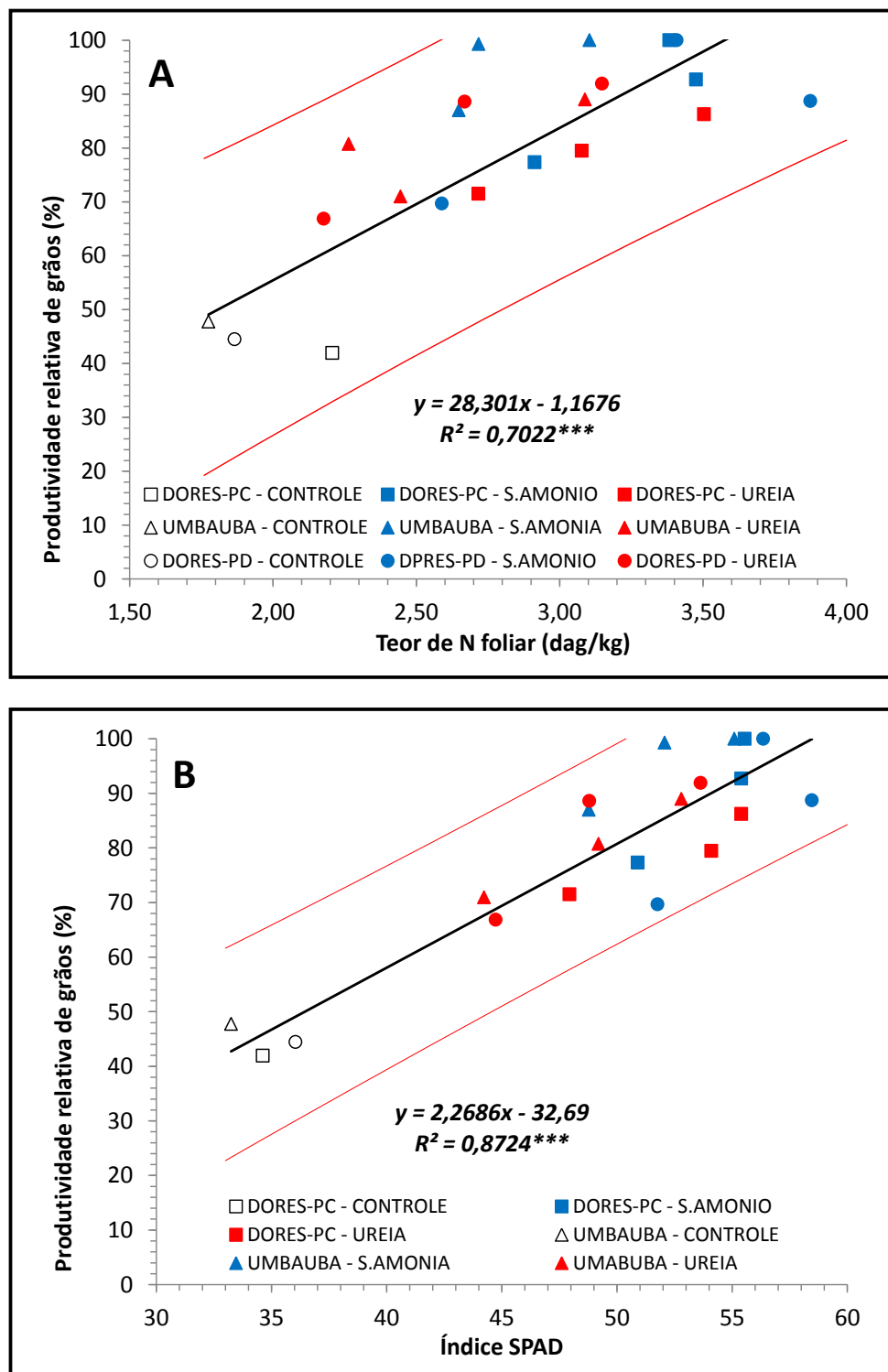


Figura 5. Regressão linear entre a produtividade relativa de grãos de milho (em % da produtividade máxima obtida) e os teores de N nas folhas-índice de milho (A) e as leituras de índice SPAD (B), em duas áreas experimentais nos Tabuleiros Costeiros.

*** indica que o ajuste da equação é significativo pelo teste F a $p < 0,001$.

Retas em vermelho correspondem ao intervalo de confiança (95%) do ajuste da função linear.

PC indica Plantio Convencional; PD indica Plantio Direto.

Apesar do teor de N na folha-índice ser a referência para o diagnóstico da nutrição nitrogenada do milho e, conseqüentemente, do potencial de impacto da carência desse nutriente na produção da cultura, a produtividade relativa correlacionou-se com maior acurácia com o índice SPAD (Figura 5B) do que com o teor de N na folha-índice (Figura 5A). Essa melhor correlação se expressa não somente por um maior coeficiente de determinação (R^2), mas, principalmente e de forma mais importante, por uma amplitude mais reduzida do intervalo de confiança da função (a 95%), o que reflete uma maior precisão do ajuste.

Tal resultado, todavia, não chega a ser inesperado. A análise em laboratório do teor de N foliar demanda um grande número de manuseios, procedimentos e processos, tais como a limpeza, secagem, moagem e armazenamento de amostras, pesagem, digestão e titulação (no caso do método Kjeldahl), entre outros, que são potenciais fontes de erros e imprecisões. A medição com o clorofilômetro, apesar de ser um indicador do teor de N foliar e, portanto, uma medição indireta do nível desse elemento na folha, é realizada in loco e com um número reduzido de etapas. Desta forma, reduz-se também a quantidade de potenciais fontes de erros e incertezas, ao mesmo tempo em que se mantém um grau elevado de correlação com o N foliar, pois o teor de clorofila é dependente da quantidade de N absorvida pelas plantas, uma vez que a molécula desse pigmento possui, em seu núcleo, quatro átomos de N coordenando um íon Mg^{2+} em cadeias e anéis orgânicos.

Diagnóstico da nutrição nitrogenada com SPAD

Pela análise da correlação entre a produtividade relativa de grãos e o índice SPAD, pode-se determinar os parâmetros indicativos para o diagnóstico do estado nutricional em nitrogênio para a cultura do milho em Argissolos dos Tabuleiros Costeiros. As produtividades relativas de referência utilizadas como parâmetros para as classes de disponibilidade estão apresentadas na Figura 6 e os correspondentes resultados na Tabela 4. Esses valores foram calculados a partir dos resultados apresentados nas Figuras 3 e 5B.

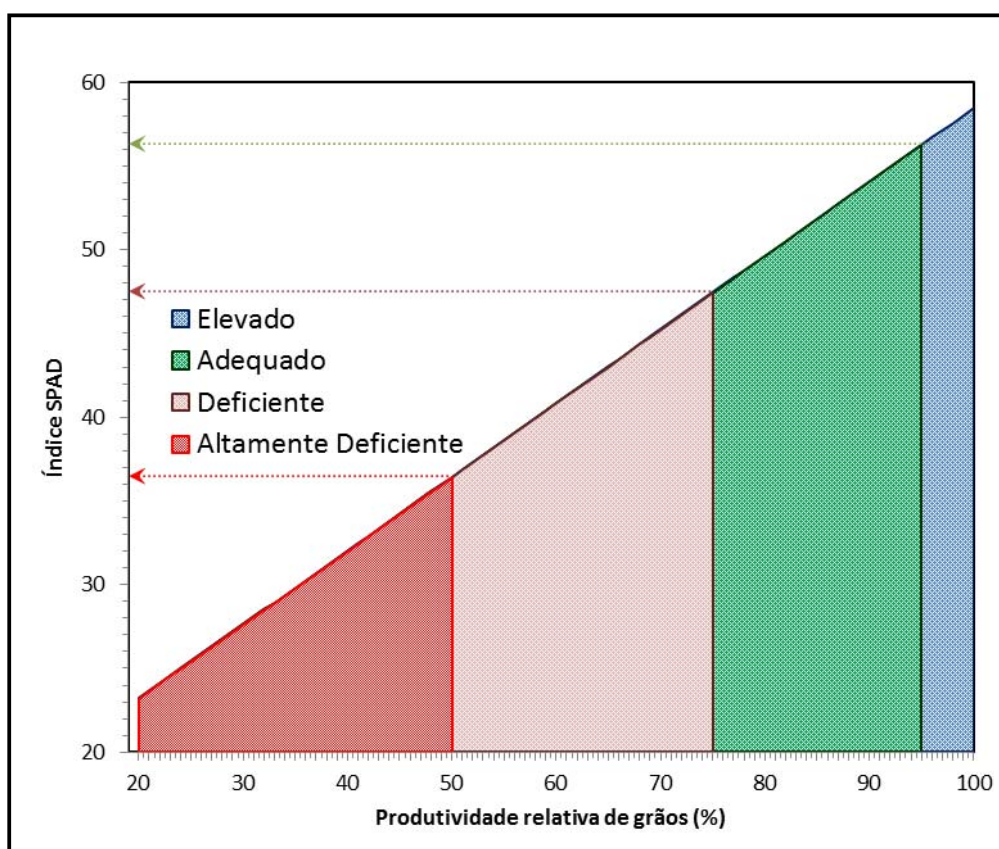


Figura 5. Classes de diagnóstico da nutrição nitrogenada do milho em Argissolos dos Tabuleiros Costeiros e correspondentes índices SPAD.

Tabela 4. Interpretação de valores de índices SPAD para fins de diagnóstico da nutrição nitrogenada na cultura do milho em Argissolos dos Tabuleiros Costeiros.

Classe de diagnóstico	Produtividade relativa esperada (%)	Índice SPAD	Teor de N Foliar correspondente (dag/kg)
Altamente deficiente	< 50	< 36,5	< 1,96
Deficiente	51 – 75	36,6 – 47,5	1,97 – 2,69
Suficiente	76 – 95	47,6 – 56,3	2,70 – 3,27
Elevado	> 95	> 56,4	> 3,27

De acordo com os resultados apresentados na Figura 6 e Tabela 4, pode-se inferir que:

- Leituras de índice SPAD inferiores a 36,5 (correspondente a teores foliares de 1,96 dag/kg de N) indicam uma alta deficiência de nitrogênio pela cultura do milho;
- Leituras de índices SPAD entre a 36,6 e 47,5 (correspondente a teores foliares de 1,97 e 2,69 dag/kg de N) indicam deficiência moderada de nitrogênio pela cultura do milho;
- Leituras de índices SPAD entre a 47,6 e 56,3 (correspondente a teores foliares de 2,70 e 3,27 dag/kg de N) indicam uma nutrição nitrogenada suficiente para a cultura do milho; e
- Leituras de índices SPAD acima de 56,3 (correspondente a teores foliares superiores a 3,27 dag/kg de N) indicam uma nutrição nitrogenada elevada para a cultura do milho, podendo sugerir a existência de um consumo de luxo desse nutriente.

Os valores encontrados para as diferentes classes de diagnóstico da nutrição nitrogenada (Tabela 4) está coerente com a recomendação apresentada por Malavolta et al. (1997) e Martinez et al. (1999) que indicam teores foliares de N entre 2,75 e 3,25 dag/kg como suficientes para a cultura do milho. No caso da presente recomendação, o nível de suficiência foi obtido com índices SPAD entre 47,6 e 56,3, correspondendo a teores foliares entre 2,70 e 3,27 dag/kg.

Conclusões

- A aplicação de N, nos dois Argissolos, seja na forma de sulfato de amônio, seja na forma de ureia, promove uma elevação nos teores de N e no teor relativo de clorofila (índice SPAD) na folha-índice do milho em estágio R1.
- O índice SPAD é um indicador preciso do teor de N foliar no milho nas condições dos Tabuleiros Costeiros.
- O índice SPAD apresenta uma correlação mais acurada com a produtividade relativa de grãos de milho do que o teor de N na folha-índice do milho nos Argissolos Vermelho-Amarelo e Acinzentado.

Agradecimentos

- À Petróleo Brasileiro S/A (Petrobras) pelo financiamento do projeto de pesquisa.

Referências

ARGENTA, G. **Monitoramento do nível de nitrogênio na planta como indicador da adubação nitrogenada em milho**. 2001a. 112 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001a.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F. da; BARTOLINI, C. G.; FORSTHOFER, E. L.; STRIEDER, M. L. **Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e nitrogênio na folha de milho**. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, Lavras, v. 13, n. 2, p. 158-167, 2001b.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; FORSTHOFER, E. L.; STRIEDER, M. L.; SUHRE, E.; TEICHMANN, L. L. **Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 27, n. 1, p. 109-119, 2003.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; MIELNICZUK, J.; BORTOLINI, C. G. **Parâmetros de planta como indicadores do nível de nitrogênio na cultura do milho**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v. 37, n. 4, p. 519- 527, 2002.

BERNTSEN, J.; THOMSEN, A.; SCHELDE, K.; HANSEN, O. M.; KNUDSEN, K.; BROGE, N.; HOUGAARD, H.; HØRFARTER, R. **Algorithms for sensor-based redistribution of nitrogen fertilizer in winter wheat**. Precision Agriculture, Cham, v. 7, n. 2, p.65–83, 2006.

BINFORD, G. D.; BLACKMER, A. M.; MEESE, B. G. **Optimal concentrations of nitrate in corn stalks at maturity**. Agronomy Journal, Madison, v. 84, n. 5, p. 881-887, 1992.

BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S. **Use of chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn**. Journal of Production Agriculture, Madison, v. 8, n. 1, p. 56-60, 1995.

BOOIJ, R.; VALENZUELA, J. L.; AGUILERA, C. **Determination of crop nitrogen status using non-invasive methods.** In: HAVERKORT, A. J.; MACKERRON, D. K. L. (Ed.). Management of nitrogen and water in potato production. Netherlands: Wageningen Press, Wageningen, 2000. p. 72-82.

BREDEMEIER, C. **Predição da necessidade de nitrogênio em cobertura em trigo e aveia.** 1999. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo.** Viçosa: MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.

CANTARELLA, H.; MONTEZANO, Z. F. Nitrogênio e enxofre. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. **Boas práticas para o uso eficiente de fertilizantes: nutrientes.** Piracicaba: IPNI, 2010. v. 2. cap. 1, p. 5-46.

CHAPMAN, S. C.; BARRETO, H. J. **Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth.** Agronomy Journal, Madison, v. 89, n. 4, p. 557-562, 1997.

COELHO, A. M. **Manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho,** Sete Lagoas, Jornal Eletrônico da Embrapa Milho e Sorgo, a. 4, ed. 23, abr./maio 2010.

DWYER, L. M.; ANDERSON, A. M.; MA, B. L.; STEWART, D. W.; TOLLENAAR, M.; GREGORICH, E. **Quantifying the nonlinearity in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration.** Canadian Journal of Plant Science, Ottawa, v. 75, n. 1, p. 179-182, 1995.

FOLLETT, R. H.; FOLLETT, R. F.; HALVORSON, A. D. **Use of a chlorophyll meter to evaluate the nitrogen status of dryland winter wheat.** Communications in Soil Science and Plant Analysis, Londres, v. 23, n. 7-8, p. 687-697, 1992.

FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. **Ammonia volatilization in no-till system in the south-central region of the State of Paraná, Brazil.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 34, n. 5, p. 1677-1684, 2010.

FOX, R. H.; PIEKIELEK, W. P.; MACNEAL, K. M. **Using a chlorophyll meter to predict nitrogen fertilizer needs of winter wheat.** Communications in Soil Science and Plant Analysis, Londres, v. 25, n. 3-4, p. 171-181, 1994.

GOMES, R. F.; SILVA, A. G. da; ASSIS, R. L. de; PIRES, F. R. **Efeito de doses e da época de aplicação de nitrogênio nos caracteres agrônômicos da cultura do milho sobre plantio direto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 931-938, 2007.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MOLLER, S. I.; WHITE, P. **Functions of macronutrients.** In: MARSCHNER, P. (Ed.). *marschner's mineral nutrition of higher plants*. 3. ed. New York: Elsevier, 2012. p. 135-189.

JØRGENSEN, J. R.; JØRGENSEN, R. N. **Uniformity of wheat yield and quality using sensor assisted application of nitrogen.** Precision Agriculture, Cham, v. 8, n. 1, p. 63-73, 2007.

KOLCHINSKI, E. M.; SCHUCH, L. O. B. **Eficiência no uso do nitrogênio por cultivares de aveia branca de acordo com a adubação nitrogenada.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 1033-1038, 2003.

LARA CABEZAS, W. A. R.; COUTO, P. A. **Imobilização de nitrogênio da ureia e do sulfato de amônio aplicado em pré-semeadura ou cobertura na cultura de milho, no sistema plantio direto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 739-752, 2007.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

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

MARQUARD, R. D.; TIPTON, J. L. **Relationship between extractable chlorophyll and an in situ method to estimate leaf greenness.** Horticultural Sciences, Alexandria, v. 22, n. 6, p. 1327, 1987.

MINOLTA CAMERA Co., Ltda. **Manual for chlorophyll meter SPAD 502.** Osaka, Minolta, Radiometric Instruments divisions. 1989. 22 p.

MORAIS, T. P.; BRITO, C. H.; FERREIRA, A. S.; LUZ, J. M. Q. **Aspectos morfofisiológicos de plantas de milho e bioquímico do solo em resposta à adubação nitrogenada e à inoculação com Azospirillum brasilense.** Revista Ceres, Viçosa, MG, v. 62, n. 6, p. 589-596, 2015.

OKUMURA, R. S.; MARIANO, D. de C.; ZACCHEO, P. V. C.; ALBUQUERQUE, A. N. de; GIEBELMEIER, C. G.; LOBATO, A. K. da S.; FRANCO, A. A.; OLIVEIRA, N. C. de; SALDANHA, E. C.; CONCEICÃO, H. E. da; SILVA, R. T. da. **efficiency of utilization of nitrogen coated with urease inhibitor in maize.** Pakistan Journal of Biological Sciences, Faisalabad, v.16, n. 17, p. 871-876, 2013.

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

PENG, S.; GARCÍA, F. V.; LAZA, R. C.; CASSMAN, K. G. **Adjustment for specific leaf weight improves chlorophyll meter's estimate of rice leaf nitrogen concentration.** *Agronomy Journal*, Madison, v. 85, n. 5, p. 987-990, 1993.

PIEKIELEK, W. P.; FOX, R. H. **Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize.** *Agronomy Journal*, Madison, v. 84, n. 1, p. 59-65, 1992.

PORTZ, G.; MOLIN, J. P.; JASPER, J. **Active crop sensor to detect variability of nitrogen supply and biomass on sugarcane fields.** *Precision Agriculture*, Cham, v. 13, n. 1, p. 33-44, 2012.

PRANDO, A. M.; ZUCARELI, C.; FRONZA V.; OLIVEIRA, F. Á.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. **Características produtivas do trigo em função de fontes e doses de nitrogênio.** *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 43, n. 1, p. 34-41, 2013.

RAUN, W. R.; JOHNSON, G. V. **Improving nitrogen use efficiency for cereal production.** *Agronomy Journal*, Madison, v. 91, n. 3, p. 357-363, 1999.

RAUN, W. R.; SOLIE, J. B.; JOHNSON, G. V.; STONE, M. L.; MULLEN, R. W.; FREEMAN, K. W.; THOMASON, W.; LUKILA, E. **Improving nitrogen use efficiency in cereal grain production with optical sensing and variable rate application.** *Agronomy Journal*, Madison, v. 98, n. 4, p. 815-820. 2002.

RAUN, W. R.; SOLIE, J. B.; STONE, M. L.; MARTIN, K. L.; FREEMAN, K. W.; MULLEN, R. W.; ZHANG, H.; SHEPERS, J. S.; JOHNSON, G. V. **Optical sensor-based algorithm for crop nitrogen fertilization.** *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Londres, v. 36, n. 19-20, p. 2759-2781, 2005.

REEVES, D. W.; MASK, P. L.; WOOD, C. W.; DELANEY, D. P.

Determination of wheat nitrogen status with a hand-held chlorophyll meter: influence of management practices. Journal of Plant Nutrition, Londres, v. 16, n. 5, p. 781-796, 1993.

SANGOI, L.; ERNANI, P. R.; LECH, V. A.; RAMPAZZO, C. **Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de ureia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório.** Ciência Rural, Santa Maria, v. 33, n. 4, p. 87-692, 2003.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

SCHRÖDER, J. J.; NEETESON, J. J.; OENEMA, O.; STRUIK, P. C. **Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of the art.** Field Crops Research, Amsterdam, v. 66, n. 1, p. 151-164, 2000.

SILVA, E. C.; BUZETTI, S.; LAZARINI, E. **Aspectos econômicos da adubação nitrogenada na cultura do milho em sistema de plantio direto.** Revista Brasileira de Milho e Sorgo, Sete Lagoas, v. 4, n. 3, p. 286-297, 2005.

SILVA, F. C. da (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** 2. ed. rev. apl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 627 p. il.

SIMS, J. T.; VASILAS, B. L.; GARTLEY, K. L.; MILLKEN, B.; GREEN, V. **Evaluation of soil and plant nitrogen tests for maize on manured soils of the Atlantic coast pain.** Agronomy Journal, Madison, v. 87, n. 2, p. 213-222, 1995.

SMEAL, D.; ZHANG, H. **Chlorophyll meter evaluation for nitrogen management in corn.** Communications in Soil Science and Plant Analysis, Londres, v. 25, n. 9-10, p. 1495-1503, 1994.

STOKING, C. R.; ONGUN, A. **The intracellular distribution of some metallic elements in leaves.** American Journal of Botany, St. Louis, v. 49, n. 3, p. 284- 289, 1962.

TURNER, F. T.; JUND, M. F. **Chlorophyll meter to predict nitrogen topdress requeriment for semidwarf rice.** Agronomy Journal, Madison, v. 83, n. 5, p. 926- 928, 1991.

URQUIAGA, S.; ZAPATA, F. Fertilización nitrogenada en sistemas de producción agrícola. In: URQUIAGA, S.; ZAPATA, F. (Ed.). **Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales em América Latina y el Caribe.** Porto Alegre: Gênese, 2000. p. 77-88

VARVEL, G. E.; SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D. D. **Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters.** Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 61, n. 4, p. 1233-1239, 1997.

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, Londres, v. 27, n. 1-3, p. 545-560, 1996.



Tabuleiros Costeiros

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

