

**USO DO CLOROFILÔMETRO E DE
AGRICULTURA DE PRECISÃO NO MANEJO
DA ADUBAÇÃO NITROGENADA DO MILHO**

SANDRO MANUEL CARMELINO HURTADO

2008

SANDRO MANUEL CARMELINO HURTADO

**USO DO CLOROFILÔMETRO E DE AGRICULTURA DE PRECISÃO
NO MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA DO MILHO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras
como parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Ciência do Solo, para a obtenção do
título de “Doutor”.

Orientador
Prof. Dr. Carlos Alberto Silva

Co-Orientador
Dr. Álvaro Vilela de Resende

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2008

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Hurtado, Sandro Manuel Carmelino

Uso do clorofilômetro e de agricultura de precisão no manejo da
adubação nitrogenada do milho / Sandro Manuel Carmelino Hurtado. --
Lavras: UFLA, 2008.

92 p. : il.

Orientador: Carlos Alberto Silva.

Tese (Doutorado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Nitrogênio. 2. *Zea Mays* (L.). 3. SPAD. 4. Geoestatística. 5. Variabilidade
espacial. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.15894
-631.422

SANDRO MANUEL CARMELINO HURTADO

**USO DO CLOROFILÔMETRO E DE AGRICULTURA DE PRECISÃO
NO MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA DO MILHO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras
como parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Ciência do Solo, para a obtenção do
título de “Doutor”.

APROVADA em 27 de fevereiro de 2008

Dr. Álvaro Vilela de Resende Embrapa-Cerrados

Dr. Heitor Cantarella IAC

Profª. Dra. Janice Guedes de Carvalho UFLA

Prof. Dr. Renzo Garcia Von Pinho UFLA

Prof. Dr. Carlos Alberto Silva
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2008

A DEUS, À VIRGEM e AOS SANTOS,
meus guias, força e auxílio em todo momento.

AOS MEUS PAIS,
testemunhas incondicionais desta trajetória.

A VOCÊS,
cúmplices do diário esforço e aprendizado.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), minha segunda Alma Matter, pela acolhida ao longo destes anos de especialização.

Ao Departamento de Solos (UFLA), pelos ensinamentos e oportunidade oferecidos.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos, no âmbito do Programa Estudante Convênio de Pós-Graduação (PEC/PG) - IEL Nacional - Brasil.

À Embrapa Cerrados, pelo apoio na etapa de experimentos em campo, desenvolvidos no âmbito do projeto MP1-01.02.05.1.01.02.05.

Ao Professor Carlos Alberto Silva, pela orientação, competência, amizade e confiança depositada na minha pessoa.

Ao pesquisador Álvaro Vilela de Resende, pela orientação, profissionalismo, amizade e oportunas sugestões traduzidas no crescimento profissional.

Aos professores e pesquisadores Renzo Garcia Von Pinho, Heitor Cantarella e Janice Guedes de Carvalho, pela atenção e apoio oferecidos no decorrer do curso, assim como pelas oportunas sugestões, como parte da banca examinadora.

À equipe de Agricultura de Precisão da Embrapa Cerrados, integrada pelos pesquisadores Luciano Shozo, Marina Vilela, João de Deus e Marcos Carolino, pela oportunidade, contribuições e amizade ao longo da fase experimental.

Aos proprietários da Fazenda Alto Alegre (Planaltina de Goiás, GO) e seus funcionários, pelo suporte oferecido na realização do presente trabalho.

Aos irmãos Edemar, Helder, Heitor e Eliseu Corazza, pelo total apoio, amizade e confiança durante a condução da etapa experimental.

Aos estagiários e amigos Satoshi e Vinitius, pela incalculável ajuda durante a coleta dos dados experimentais.

À minha amiga e companheira Mônica, pela diária compreensão, paciência e força oferecida.

Aos professores e funcionários do Departamento de Solos da UFLA, pela amizade e convívio.

Aos amigos que foram se juntando neste decorrer de experiências, cúmplices de tantas alegrias, “malanoches”, aprendizado, fofocas e emoções: Simone, Krisle, André, Tais, Gláucia, Amanda, Graz, Meire, Pati, Mario, Gigi, Bruno, Tácio, Giovana, Ivoney, Tiago, Pezão, Daniela, Euzi, Alê, Manú, Regi, Walfrido, Adriana, Zilton, Nadiel, María, Gabriel, Gabi, Junior, os amigos do “alojamento da Embrapa”, Marcito e Zezito.

Finalmente, a todos os colegas e companheiros que ajudaram, às vezes sem querer, na realização deste trabalho: meu eterno OBRIGADO!

“Os problemas da vida fazem dos fortes mais fortes e dos fracos mais fracos, porque os fracos costumam usá-los como desculpa”

Anônimo

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
CAPÍTULO 1	
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Solos do bioma Cerrado e o sistema plantio direto.....	3
2.2 Obtenção de altas produtividades de milho.....	4
2.3 Recomendações de adubação nitrogenada para o milho.....	6
2.4 Agricultura de precisão e manejo espacializado da adubação nitrogenada ..	11
2.4.1 Manejo sítio-específico da adubação nitrogenada.....	14
2.4.2 Uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de N para o milho	16
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20
CAPÍTULO 2	
1 RESUMO.....	27
2 ABSTRACT.....	28
3 INTRODUÇÃO.....	29
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	31
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
5.1 Experimento em condições controladas.....	35
5.2 Experimento em condições de lavoura.....	38
6 CONCLUSÕES.....	45
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
CAPÍTULO 3	
1 RESUMO.....	49
2 ABSTRACT.....	50
3 INTRODUÇÃO.....	51
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	52
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
5.1 Resposta do milho à adubação de cobertura.....	56
5.2 Uso do clorofilômetro no ajuste da dose de N em cobertura.....	61
6 CONCLUSÕES.....	64
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64

CAPÍTULO 4	
1 RESUMO.....	67
2 ABSTRACT	68
3 INTRODUÇÃO	69
4 MATERIAL E MÉTODOS	71
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	73
5.1 Respostas médias à adubação de cobertura	73
5.2 Variação espacial das respostas à adubação de cobertura.....	80
6 CONCLUSÕES	85
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85
CONCLUSÕES GERAIS.....	90
CONSIDERAÇÕES FINAIS	92

RESUMO

HURTADO, Sandro Manuel Carmelino. **Uso do clorofilômetro e de agricultura de precisão no manejo da adubação nitrogenada do milho.** 2008. 92 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG*

A complexa dinâmica do nitrogênio (N) no solo condiciona o manejo da adubação nitrogenada para a cultura do milho. Nesse sentido, ferramentas que visam detectar a variabilidade espacial e temporal dos atributos ligados à sua disponibilidade no solo, bem como a sincronização entre as adubações e os estádios fenológicos de maior demanda pelo nutriente, é estratégia para refinar o manejo do N. O presente estudo foi realizado com os seguintes objetivos: 1) avaliar e validar a sensibilidade do clorofilômetro em indicar o estado nutricional do milho em resposta ao N, ao longo do seu ciclo vegetativo, identificando e permitindo corrigir as possíveis deficiências e 2) relacionar, numa perspectiva espacializada, a produtividade de grãos e variáveis indicadoras do suprimento de N para o milho, em resposta a doses do nutriente na adubação de cobertura. Para atingir esses objetivos, foram desenvolvidos experimentos em condições controladas e de lavoura. A nutrição nitrogenada foi monitorada com uso do clorofilômetro. Foram avaliados os teores relativos de clorofila ao longo do ciclo da cultura, a produção de matéria seca da parte aérea, os teores de N na folha, nos grãos, matéria orgânica e N-mineral no solo, e a produtividade de grãos. Os resultados permitiram confirmar a sensibilidade do clorofilômetro em detectar variações no estado nutricional do milho, em resposta a diferentes características de solo e de suprimento de N, embora tenha levado a uma superestimativa da quantidade de nitrogênio a ser aplicada. Foram constatados menores coeficientes de correlação entre a leitura SPAD, N foliar e produtividade, quando considerada a sua variabilidade espacial. A interpretação conjunta dos mapas de leitura SPAD e de produtividade permitiu identificar subáreas com menor capacidade de suprimento de N pelo solo, subsidiando a delimitação de possíveis zonas para o manejo sitio-específico do nitrogênio.

Palavras-chave: nitrogênio, variabilidade espacial, SPAD, *Zea mays* (L.).

* Comitê Orientador: Carlos Alberto Silva - UFLA (Orientador). Álvaro Vilela de Resende – Embrapa Cerrados (Co-orientador).

ABSTRACT

HURTADO, Sandro Manuel Carmelino. **Chlorophyll meter and precision agriculture use in nitrogen sidedressing management for corn**. 2008. 92 p. Thesis (Doctorate in Soil Science) – Federal University of Lavras, Lavras, MG*

The complex dynamics of nitrogen (N) exerts influence on the management of nitrogen fertilization for corn crop. In this sense, tools which aim to detect the spatial and temporal variability of the factors linked to its availability, as well as, the timing between topdressings and the phenological stages of highest demand for the nutrient are essential strategies to refine its N management. The present study aimed to: 1) evaluate and validate the sensitivity of the chlorophyll meter in predicting the nutritional status of corn in response to N along its vegetative cycle, identifying and correcting the possible nutrient deficiencies, and, 2) correlate, in a spatialized perspective, the grain yield and variables indicating the N supply for corn, in response to the doses of the nutrient topdresse. To reach those objectives, experiments under controlled and field conditions have been developed. Nitrogen nutrition was monitored with the use of the chlorophyll meter. Along the crop cycle, the relative contents of chlorophyll, the weight of shoot dry matter, the N contents in leaf, in grain, organic matter and mineral-N in soil and grain yield were evaluated. The results showed that the chlorophyll meter is sensitive in detecting variations in corn nutrient status in response to different characteristics of soil and of the N supply, though, it overestimated the amount of N topdressing necessary to optimize corn yield. Lower correlation coefficient among SPAD reading, leaf N and yield were found when it was considered their spatial variability. Nevertheless, the joint interpretation of the maps of SPAD reading and yield allowed to identify sub-areas with smaller capacity of N supply by soil, subsidizing the delimitation of zones for the site-specific nitrogen management.

Key words: Nitrogen, spatial variability, SPAD, *Zea mays* (L.).

* Guidance Committee: Carlos Alberto Silva - UFLA (Adviser). Álvaro Vilela de Resende – Embrapa Cerrados (Co-adviser).

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

Altas produtividades de milho são dependentes da interação de fatores ligados ao clima, ao solo e ao manejo da cultura. Dentre esses, o manejo da adubação nitrogenada é um dos principais condicionantes da produtividade, pela complexa dinâmica do nitrogênio (N) no solo. É com base no entendimento dessa dinâmica que se busca estimar a eficiência de uso do N pelas culturas e definir as recomendações de adubação. Por se tratar de sistema com dinâmica particular de N, e com grande adoção no Brasil, a definição correta de doses de N em cobertura em áreas sob plantio direto assume grande importância.

A maioria das variáveis que exerce influência sobre a necessidade de N na adubação pode mudar no espaço e no tempo, como é o caso das características edafoclimáticas que interferem no potencial de suprimento do nutriente pelo solo. Assim, para se refinar o manejo da adubação nitrogenada, é interessante considerar a variabilidade espacial e temporal, especialmente dos atributos do solo, assim como a melhor sincronização entre as aplicações de N em cobertura e os estádios fenológicos de maior demanda pelo nutriente. Tal refinamento no manejo de N pode ser obtido pela utilização do sistema de informações geográficas (GIS), do sistema de posicionamento global (GPS), da geoestatística e de sensores, ferramentas que vêm sendo utilizadas na agricultura de precisão.

Entretanto, sob condições de lavoura, tem sido observada instabilidade nas produtividades de milho em resposta às aplicações de fertilizantes nitrogenados, baseadas na variabilidade espacial do solo. Aliado a esse fato,

tem-se também um custo relativamente elevado e certa demora na obtenção de informações espacializadas para a determinação de adubação a taxas variáveis.

Por outro lado, tem sido proposta a utilização de indicadores da disponibilidade de N, destacando-se os relacionados à avaliação do tecido foliar, por integrar todos os fatores de solo e do ambiente. Dentre esses, os medidores de clorofila portáteis têm sido considerados como alternativa, pela rapidez na identificação de deficiências de N, possibilitando viabilizar intervenções para a sua correção, ainda durante a safra.

O presente estudo foi realizado com os seguintes objetivos: 1) avaliar e validar a sensibilidade do clorofilômetro em indicar o estado nutricional do milho em resposta ao N, ao longo do seu ciclo vegetativo, identificando e permitindo corrigir possíveis deficiências nutricionais e 2) relacionar, numa perspectiva espacializada, a produtividade de grãos e as variáveis indicadoras do suprimento de N para o milho, em resposta a doses do nutriente na adubação de cobertura.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Solos do bioma Cerrado e o sistema plantio direto

O Cerrado é considerado o segundo maior bioma brasileiro, com área de 125 milhões de hectares disponíveis para agricultura, dos quais cerca de 12 milhões são explorados com culturas anuais, 49 milhões com pastagens cultivadas e 2 milhões com culturas perenes (Resck et al., 2006). O bioma apresenta importância estratégica respondendo por cerca de 50%, 30% e 18% da produção nacional de soja, milho e feijão, respectivamente (Bernardi et al., 2003).

Atualmente, o Cerrado é uma das áreas de maior potencial agrícola do mundo, devido, em grande parte, ao notável desenvolvimento tecnológico verificado em relação às práticas de correção e adubação. Esse fator permitiu incorporar ao sistema produtivo solos originalmente ácidos e com baixa disponibilidade de nutrientes.

A obtenção de altas produtividades nesses solos requer investimento na construção da sua fertilidade. A calagem, além de reduzir a toxidez por Al e elevar os teores de bases, promove também aumento na CTC, menor fixação de P e estímulo ao desenvolvimento de raízes. Adubações corretivas com fósforo, potássio e micronutrientes são, normalmente, necessárias e, juntamente com adubações de manutenção bem manejadas, são as principais práticas agrônômicas relacionadas à produtividade agrícola no Cerrado (Sousa & Lobato, 2004).

Cabe ressaltar que a obtenção de produtividades elevadas encontra-se, geralmente, vinculada a solos com boas características de agregação, aeração e infiltração de água, e com maiores teores de matéria orgânica (MOS). Sistemas de manejo com menor revolvimento do solo, como o sistema plantio direto

(SPD), contribuem eficientemente nesse sentido, elevando os estoques de MOS e oferecendo, entre outros benefícios, maior disponibilidade de nutrientes, temperaturas mais amenas, melhor armazenamento de água e maiores taxas de infiltração (Lopes et al., 2004, Moreira & Siqueira, 2006). A elevação dos teores de MOS, via adoção do SPD, tem papel precípua na construção da fertilidade, uma vez que a matéria orgânica é responsável por quase 90% da capacidade de troca de cátions (CTC) dos solos no Cerrado (Sousa & Lobato, 2004).

Além das vantagens atribuídas ao SPD, o sistema possibilita também maior liberação de N via mineralização, em função do maior estoque e reserva natural de N na MOS (Bayer & Mielniczuk, 1997). Devido à baixa capacidade de fornecimento de N pelos solos do bioma, a adoção do SPD possibilita a elevação das produtividades.

O Brasil tem a segunda maior área cultivada sob plantio direto no mundo, com quase 25,5 milhões de hectares (FEBRAPDP, 2007), dos quais quase 10 milhões encontram-se no Cerrado*. Desde os anos 1990, esse sistema vem apresentando forte evolução na região, devido, em parte, aos custos de produção atrativos e a outras facilidades oferecidas pelo sistema (Lopes et al., 2004).

2.2 Obtenção de altas produtividades de milho

O cultivo do milho responde pela maior parte da produção de grãos no Brasil. Somando-se a safra normal e a safrinha, alcança cerca de 51,1 milhões de toneladas, colhidas numa área de quase 13,6 milhões de hectares (CONAB, 2007). Apesar da diversidade climática e edáfica do país, altas produtividades podem ser alcançadas em diferentes regiões (Figura 1). Produtividades de grãos de 10-14 t ha⁻¹ são obtidas por bons produtores, tendo sido relatados até mesmo

*John N. Landers. Coordenador da Associação de Plantio Direto no Cerrado (APDC). Comunicação pessoal. Junho 2007.

16 t ha⁻¹ (Bernardes, 1989). Contudo, a média nacional é ainda muito baixa quando comparada à dos principais países produtores, da ordem de 3,6 t ha⁻¹ (CONAB, 2007).

O rendimento do milho é afetado por uma gama de fatores, tais como a população e o espaçamento de plantas adotados, a época de semeadura e os híbridos selecionados, a qualidade do solo e as adubações realizadas, a disponibilidade hídrica e a interferência por plantas daninhas, pragas e doenças (Dobermann, 2006). Condições desfavoráveis desses fatores resultam em até 70% de perdas em produtividade (Fancelli & Dourado-Neto, 2000).

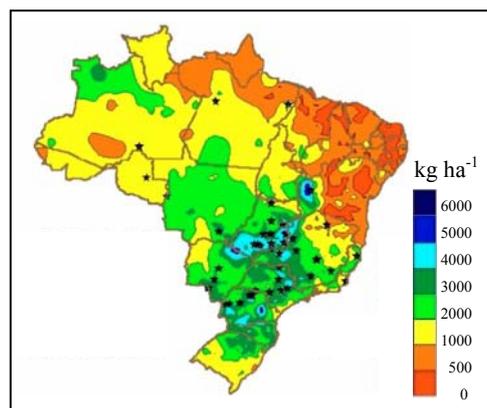


FIGURA 1. Produtividade de milho no Brasil (Fonte: Durães, 2007).

A altitude interfere na fotossíntese, na respiração e na absorção de água e nutrientes pelo milho. Em áreas tropicais, maiores rendimentos estão associados a altitudes intermediárias ou altas (Durães, 2007) que, no Brasil, correspondem às regiões por volta de 1.000 m acima do nível do mar, onde ocorrem temperaturas diurnas e noturnas ideais.

Dado que o potencial produtivo da cultura é atingido quando não há limitações ao seu desenvolvimento, aspectos ambientais, genotípicos e de manejo podem ser decisivos quando se buscam altas produtividades. Dentre os fatores que afetam o rendimento do milho, Vitti et al. (2003) destacam, como mais limitantes, aqueles associados ao manejo químico do solo e às suas interações com as condições climáticas. Para Fancelli (2006), o conhecimento da fisiologia e das exigências edafoclimáticas, direcionando o manejo adequado da lavoura, garante o lucro desejado, por ser o milho uma das plantas melhor dotadas fisiologicamente, com alta capacidade de conversão de nutrientes e fotoassimilados em grãos.

Como principais estratégias para propiciar condições ideais de ambiente e máximo potencial produtivo do milho, Dobermann (2006) e Fancelli (2006) indicam, dentre outras: a correção de áreas compactadas, da acidez e da disponibilidade de nutrientes no solo, visando ao aprofundamento radicular; a construção da fertilidade do solo mediante o uso do SPD e o manejo de resíduos; a redução de estresses ambientais, visando uma nutrição equilibrada e a adubação nitrogenada de acordo com as demandas por estágio fenológico.

2.3 Recomendações de adubação nitrogenada para o milho

O nitrogênio é o nutriente mais exigido pela cultura do milho e o exportado em maior quantidade nos grãos. Segundo Oliveira (2004), a concentração adequada de N no tecido foliar é de 28 a 35 g kg⁻¹. De acordo com as indicações de Sousa & Lobato (2004), para se produzir uma tonelada de grãos, são necessários cerca de 20 kg de N, o que corresponde a 180 kg ha⁻¹ do nutriente para uma produtividade de 9 t ha⁻¹. Essa quantidade, normalmente, não pode ser suprida exclusivamente pelo solo.

A demanda de N pela planta pode ser afetada por numerosos fatores, encontrando-se variadas recomendações de adubação na literatura. No Brasil, as

mesmas mudam de acordo com as particularidades de cada região. Em geral, a definição da quantidade de N na adubação do milho é realizada previamente à semeadura, sem monitoramento posterior à emergência das plantas. Isso pode acarretar sub ou superestimativa dos requerimentos da cultura (Rambo et al., 2004) e, conseqüentemente, algumas áreas podem apresentar deficiência tardia enquanto outras recebem excesso de N.

No estado de São Paulo, as doses de N recomendadas para o milho variam de acordo com a expectativa de rendimento e a probabilidade de resposta ao nutriente, sendo sugeridas doses que variam de 20 a 170 kg ha⁻¹ de N (Raij et al., 1996). Doses adicionais de 20 a 40 kg ha⁻¹ devem ser aplicadas quando da utilização de palhada com alta relação C/N. Segundo Cantarella & Duarte (2004), a tendência de se aplicar mais N, verificada nos últimos anos, é explicada pela maior expectativa de produção, maior demanda sob plantio direto e devido à elevada demanda em estádios iniciais de desenvolvimento do milho.

Em Minas Gerais, a recomendação é de 10 a 20 kg ha⁻¹ de N no plantio, elevando-se esta dose para 20-30 kg ha⁻¹ nos sistemas que envolvem o uso de palhadas com alta relação C/N. Em cobertura, são indicadas doses de 60 a 140 kg ha⁻¹ de N, considerando a produtividade esperada (Alves et al., 1999).

Na região Sul, considera-se, além das expectativas de produção, os teores de MOS (CFS-RS/SC, 1995). O aumento da área plantada sob SPD e as diferentes relações C/N das palhadas utilizadas sugerem a atualização das doses recomendadas, considerando também a cultura antecedente (Amado et al., 2002).

A matéria orgânica destaca-se como a principal reserva de nitrogênio no solo, podendo a ela estar associado cerca de 95% do N total (Bayer & Mielniczuk, 1997). É devido a esse fato que, no Brasil, para a definição da quantidade de N nas adubações, consideram-se créditos de 20-30 kg ha⁻¹ de N disponível à cultura para cada 1% de MOS, ou 15 a 30 kg ha⁻¹ de N, quando

houve cultivo anterior de espécies recicladoras/fixadoras de N ou, ainda, 25 a 35 kg ha⁻¹ de N, dependendo da relação C/N da cultura anterior, em razão da maior ou menor intensidade de imobilização de N no sistema (Vitti et al., 2003).

Todavia, a MOS abrange um grande número de moléculas heterogêneas com variados graus de decomposição, onde se incluem diferentes compartimentos contendo N em formas mais ou menos disponíveis: a liteira, a fração leve, a biomassa microbiana, os compostos orgânicos solúveis em água e a matéria orgânica estabilizada, conhecida como húmus (Stevenson, 1994).

A reserva de N-orgânico encontra-se sujeita a transformações por ação dos microrganismos, sendo o aporte anual de N via mineralização, cerca de 1% a 4% do N-orgânico total. Segundo Stevenson (1994), Bissani et al. (2004) e Sousa & Lobato (2004), a intensidade da mineralização depende de diversos fatores, como tipo de solo, conteúdos de matéria orgânica e N total, relação C/N, pH, temperatura, umidade, secamento do solo, suprimento de nutrientes inorgânicos e interações solo-planta. O pH é um dos fatores que mais influenciam o processo nos solos ácidos, nos quais a calagem aumenta a taxa de mineralização (Silva et al., 1994; Freire, 2000).

No Cerrado, o processo de mineralização da palhada resultante do SPD é acelerado pela presença de umidade combinada a altas temperaturas durante a estação de cultivo, situação em que, possivelmente, não seria necessário adubar com N nas mesmas quantidades indicadas para sistemas de cultivo com revolvimento do solo (Sousa & Lobato, 2000). Já de acordo com Lopes et al. (2004), períodos de chuva irregular podem ocasionar imobilização de N pela biomassa por períodos longos de tempo, razão pela qual, no Cerrado, uma máxima resposta econômica requereria aumento da adubação nitrogenada normalmente realizada no plantio.

As necessidades de N para o milho mostram-se dependentes também dos aportes de água no solo, que afetam drasticamente o potencial de rendimento da

cultura, sendo necessárias coberturas de 50 a 90 kg ha⁻¹ de N em cultivo sob sequeiro e de 120 a 150 kg ha⁻¹ de N nas áreas irrigadas (Souza et al., 2003).

Como observado, diversos fatores podem ser utilizados como subsídio à definição da quantidade necessária de fertilizante nitrogenado para lavouras de milho. A aplicação de N costuma ser dimensionada considerando-se um ou mais dos seguintes aspectos: expectativa de rendimento, histórico da área, tipo de solo, teor de MOS, teor de N potencialmente mineralizável, teor de N mineral no solo, uso ou não de adubos verdes ou adubação orgânica, entre outros (Amado et al., 2002; Cantarella & Duarte, 2004).

Todavia, pode-se buscar maior refinamento na determinação de doses de N para o milho, utilizando-se modelos matemáticos que comportam, na forma de parâmetros matemáticos, diferentes fatores condicionantes. Fancelli & Dourado-Neto (2000) propõem formas de indicação de adubações de cobertura considerando como fatores condicionantes: o rendimento esperado, a quantidade relativa de N fornecido pelo solo com base no teor de MOS, a profundidade efetiva do sistema radicular, a cultura anterior, a eficiência da aplicação e o híbrido utilizado.

Outros métodos encontrados na literatura para cálculo da fertilização nitrogenada para o milho são os propostos pelas universidades de Nebraska e Minnesota, nos EUA, onde se dá ênfase aos níveis de nitrato (NO₃⁻) e de matéria orgânica no solo (Frank & Roeth, 1996). Outro método, proposto pela Universidade de Illinois e adaptado para as condições do Brasil (Vitti et al., 2003), considera os créditos de N do sistema devido à cultura anterior, MOS, adubação verde, além dos rendimentos médios correspondentes aos últimos três anos.

Para as condições do Cerrado, Sousa & Lobato (2004) propuseram o uso da seguinte equação, baseados em Stanford & Legg (1966) e Grove (1968):

$$N_f = (N_a - N_s) / E_f$$

em que N_f é a quantidade de N demandada na adubação para a cultura (kg ha^{-1}); N_a é o N acumulado na matéria seca da parte aérea (kg ha^{-1}) para a produção desejada, considerando-se a produtividade esperada e o requerimento de 20 kg de N por tonelada de grãos; N_s , é o N suprido pelo solo (kg ha^{-1}), estimado de acordo com os teores de NH_4^+ e NH_3^- no perfil do solo, de MOS (suprimento de 30 kg ha^{-1} de N para cada 1% de MOS) na camada arável e a contribuição das palhadas conforme as produtividades obtidas nas três últimas safras (considerando um fator de 0,11; 0,22 e 0,45, respectivamente, para as leguminosas cultivadas há três, dois e um ano antes da nova cultura, e um fator de 0,1 para as gramíneas para os três anos) e E_f , o fator de eficiência de utilização do fertilizante (normalmente igual a 75%).

Outros modelos matemáticos empregados no cálculo de dose de N em diversos países são disponibilizados em compilação feita por Hofman & Cleemput (2004). A escolha dos parâmetros das diversas equações matemáticas baseia-se na capacidade de o solo suprir N, na expectativa de extração/exportação do nutriente pelas plantas e em índices de perdas de N por lixiviação, volatilização, erosão, etc.

A determinação do teor de nitrato na base do colmo (Sims et al., 1995), especialmente ao final do período vegetativo, tem sido usada no diagnóstico de N para a obtenção de altas produtividades de grãos na safra seguinte. Entretanto, para Binder et al. (2000), um bom critério para adubações de N em milho deve considerar o grau de deficiência com relação ao balanço entre a quantidade de N suprido pelo solo e a sua demanda nutricional, para cada estágio fenológico. Outros trabalhos têm demonstrado que leituras dos teores de clorofila em folha podem auxiliar na determinação das necessidades de N em cobertura. Esse aspecto será mais detalhado no decorrer desta revisão.

2.4 Agricultura de precisão e manejo especializado da adubação nitrogenada

Agricultores, pesquisadores e técnicos ligados à agricultura têm reconhecido, por longo tempo, que as produções das culturas não são uniformes no campo (Coelho, 2003). Em relação ao solo, a variabilidade dos seus atributos pode apresentar grande diferença de magnitude no espaço e no tempo. Wilding (1985), citado por Marques Junior & Corá (1998), classificou alguns desses atributos como de alta, média e baixa variabilidade, segundo o seu coeficiente de variação (CV), pelo qual atributos com altos CV requerem amostragens mais intensivas para uma caracterização ideal. Embora dê uma idéia da variabilidade dos dados, o CV não é o melhor indicador para atributos do solo, sendo mais apropriadas as avaliações geoestatísticas.

A geoestatística tem sua origem na teoria das variáveis regionalizadas e é utilizada em presença de dependência espacial, permitindo inferir sobre fatores do solo e da planta que influenciam na variabilidade espacial e temporal da produtividade. O semivariograma descreve a estrutura da dependência espacial presente entre as amostras (Vieira, 2000a).

É a partir do semivariograma que modelos podem ser ajustados ao conjunto de dados avaliados (Cressie, 1991). Definido o semivariograma, os valores das propriedades em locais não amostrados dentro do campo podem ser estimados por meio da técnica de interpolação por krigagem.

Em resposta à presença da variabilidade dos fatores que influenciam as produtividades, surgiu a agricultura de precisão (AP), um conjunto de ferramentas capaz de aplicar princípios e tecnologias para manejar a variabilidade espacial e temporal associada à produção agrícola, com o objetivo de aumentar a produtividade das culturas e a qualidade ambiental (Pierce & Nowak, 1999). Assim, por meio do manejo sítio-específico de insumos, a AP também visa minimizar perdas, otimizando os sistemas de produção.

A variabilidade de atributos da fertilidade do solo pode se dar tanto horizontal quanto verticalmente, sendo causas da primeira a forma de adubação e a orientação das linhas no plantio, enquanto que, para a segunda, as causas podem ser as particularidades de dinâmica e mobilidade dos nutrientes e o sistema de manejo adotado (Chitolina et al., 1999).

Com base nisso, as recomendações de adubação deveriam ser revisadas, sendo considerada, na etapa de coleta de amostras de solo, a maneira que o adubo é aplicado. Contudo, os protocolos de recomendação foram criados para condições de áreas homogêneas, com calibrações baseadas em valores médios, o que, dada a existência da variabilidade espacial, não representa a realidade do campo.

Entre as diversas metodologias para se acessar a variabilidade espacial, o mapeamento baseado na utilização de grades regulares é a mais utilizada, sendo comum a realização de amostragens de solo em grades densas, com grande número de amostras a serem analisadas em laboratório. Cabe ressaltar que o aumento da célula, ou malha amostral, reduzindo o número de pontos por hectare, leva a distorções nos mapas obtidos, como observado por Pierce & Novak (1999). A influência da densidade amostral para a elaboração de mapas de recomendação de N foi estudada por Ferguson et al. (1996), demonstrando que a utilização 6,75 amostras por hectare seria suficiente para a sua confecção. Em condições brasileiras, Silva et al. (2002) sugeriram o uso de 14 amostras por hectare para a identificação da variabilidade espacial de atributos da fertilidade do solo. Com base em trabalho em lavoura na região do Cerrado, Resende et al. (2006) verificaram que a maioria dos atributos apresentou dependência espacial quando utilizada grade amostral de um ponto a cada 2,25 hectares.

Um parâmetro da geoestatística que auxilia na definição da célula amostral para os atributos de solo é o alcance, definido como a distância a partir da qual as observações tornam-se independentes, sendo a distância máxima em

que ainda se verifica dependência espacial dos valores de um dado atributo (Vieira, 2000b).

Uma solução prática e viável para reduzir os elevados custos de amostragens adensadas consiste na utilização de mapas de produtividade e de condutividade elétrica, fotografias aéreas, histórico da área, características topográficas e uso de sensores, associados a amostragens direcionadas, para a identificação de áreas no talhão denominadas “zonas de manejo”, que apresentem semelhante produção potencial, eficiência do uso de insumos e risco de impacto ambiental (Luchiari Jr. et al., 2000). Assim, é possível implementar manejo diferenciado no talhão, conforme as distintas zonas de manejo identificadas. De acordo com Clay et al. (2004), dois critérios para chegar ao manejo por zonas são: 1) agrupar áreas com resultados similares de análise de solo e 2) agrupar áreas com produtividade similares.

Dentre as ferramentas utilizadas na AP, o sensoriamento remoto é considerado o mais promissor, em função da possibilidade de redução de custos na aquisição de dados e da facilidade de processamento, podendo mostrar-se viável no reconhecimento de “manchas” de variabilidade. Mapas de teores de MOS e textura, assim como dos teores relativos de clorofila em folha com uso de sensores (Luchiari et al., 2004), podem ser obtidos mediante seu uso.

Outra ferramenta utilizada na AP e que merece destaque, e uma das mais validadas pela pesquisa, é a utilização de monitores de produtividade para auxiliar na identificação das causas da sua variabilidade, na definição de possíveis zonas de manejo e na avaliação do sistema de produção como um todo.

Um dos maiores desafios para a agricultura de precisão está na obtenção de grande volume de dados a baixo custo. Nesse sentido, o desenvolvimento de sensores para o monitoramento e manejo localizado em tempo real pode trazer vantagens nas avaliações dos atributos do solo (Pierce & Novak, 1999). Porém,

os mapas obtidos a partir desses dados devem ser utilizados apenas como parte do processo de decisão.

2.4.1 Manejo sítio-específico da adubação nitrogenada

Na agricultura de precisão, o manejo sítio-específico da adubação surge em contraposição à visão tradicional que preconiza o manejo baseado nas condições médias da lavoura (Molin, 2001). Implica na adoção de tratamento diferenciado segundo variações nas condições do campo (Verhagem, 1997), diminuindo a possibilidade de sub ou superdosagens de fertilizantes, o que levaria a condições de desenvolvimento não ideais da cultura, além de maiores possibilidades de perdas de nutrientes, sobretudo de nitrogênio.

O dimensionamento do fornecimento de nitrogênio, de modo espacializado, pode resultar em maior eficiência de uso de N no solo, a qual é estimada mundialmente na média de 33%, considerando os sistemas de produção de cereais (Raun & Johnson, 1999). O manejo espacializado do nutriente nas lavouras se justifica também em função de outros aspectos: a) ocorrência de variações de 30% a 50% nos índices de rendimento de grãos dentro dos talhões de cultivo (Kitchen et al., 1995); b) dependência espacial e influência do relevo no tocante aos teores de nitrato e de matéria orgânica no solo (Ferguson et al., 1995; Vetsch et al., 1995; Machado et al., 2004); c) possibilidade de se utilizar mapas de colheita como ferramenta de predição das doses de adubo nitrogenado (Kitchen et al., 1995, Welsh et al., 2003); d) possibilidade de uso de técnicas de monitoramento dos teores de N nas folhas (Blackmer & Schepers, 1994; Argenta et al., 2001) e e) chance de minimizar as perdas de N e aumentar a produtividade (Bailey et al., 2001) e a lucratividade (Li & Yost, 2000) das lavouras.

O primeiro passo para o manejo sítio-específico do N deve focar o estudo do histórico do campo e a consideração dos possíveis efeitos da MOS,

textura, drenagem e precipitação. De acordo com Vetsch et al. (1995), o manejo de N pode ser também influenciado pelo declive do terreno, em função das diferentes produtividades e aportes de N pelo solo conforme o relevo.

Para Schroder et al. (2000), recomendações baseadas simplesmente nas expectativas de produtividade são questionáveis, devendo-se atentar para o estado de fertilidade do solo e o potencial de mineralização nas diferentes áreas do talhão, tal como observado por Mahmoudjafari et al. (1997). Dado que os teores de MOS, de nitrato e o rendimento de milho variam de uma parte para outra na lavoura, é conveniente espacializar a adubação nitrogenada (Mulla & Schepers, 1997).

Ferguson et al. (1996), baseados em mapas de recomendação de N para a cultura de milho, seguindo a fórmula de cálculo proposta pela Universidade de Nebraska, observaram que os padrões exibidos nos mapas apresentavam alta correlação com os teores de nitrato e de matéria orgânica no solo, sendo necessárias menores taxas de adubação nitrogenada nas áreas com maior presença de MOS e nitrato.

Numa simulação para as condições do Cerrado, Resende et al. (2007) tentaram relacionar a distribuição espacial dos teores de MOS e estimativas da necessidade de N para o milho numa lavoura comercial, tomando como referência as indicações de adubação nitrogenada para a região (Sousa & Lobato, 2004). O fornecimento de N foi uniforme no talhão. Contrariando as expectativas, foram observadas produtividades de grãos similares em pontos contrastantes quanto ao teor de MOS e estimativa da necessidade de N na adubação. A ausência de resposta diferenciada foi atribuída à influência de condições climáticas favoráveis à mineralização (Below, 2000), garantindo, em toda a área, suprimento de N condizente com o potencial produtivo do híbrido.

Depreende-se, portanto, a dificuldade de definição de padrões para o diagnóstico e o manejo do nitrogênio e de respostas da cultura do milho, o que

inviabiliza a simples extrapolação de informações e estratégias de manejo desenvolvidas em uma região para outras.

O comportamento do N pode mudar entre locais de cultivo e anos, além de variar em diferentes pontos de um mesmo talhão. Nesse sentido, comparações de manejo da adubação em taxas uniformes e variáveis têm revelado poucas vantagens na otimização das produtividades decorrentes da estratégia de aplicação. Para minimizar esses inconvenientes, Ferguson et al. (1999) sugeriram a utilização de faixas de N, objetivando visualizar a resposta das culturas nas diferentes zonas de manejo.

Para o caso do milho, o uso de sensores para avaliação do estado nutricional de N também foi testado, permitindo corrigir as deficiências durante o período de desenvolvimento. Métodos baseados na reflectância de luz para a estimativa do conteúdo de clorofila na folha ou no dossel, para reconhecimento das condições de estresse, possibilitam a geração de mapas de recomendação de N em cobertura (Luchiari et al., 2004).

2.4.2 Uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de N para o milho

Teores elevados de N nos tecidos das plantas, normalmente, estão relacionados com níveis elevados de clorofila e a altas taxas fotossintéticas (Piekielek & Fox, 1992). Essas relações são explicadas pelo fato de que 50% a 70% do nitrogênio total das folhas se encontram formando enzimas associadas aos cloroplastos (Chapman & Barreto, 1997; Below, 2000). As mudanças nos teores de clorofila, ocasionadas pelas deficiências de N em folhas de milho, são detectadas pelos índices de reflectância (Blackmer et al, 1996). Assinaturas espectrais específicas nos comprimentos de ondas de verde (550-580 nm) e infravermelho próximo (700-720 nm) podem ser utilizadas na identificação das deficiências (Zhao et al., 2003). Contudo, as diferenças de reflectâncias medidas

em folhas de milho entre os estádios de suficiência e de moderado estresse por N podem não ser tão consistentes quanto as diferenças observadas em condições de deficiência (Reum & Zhang, 2007).

Uma grande vantagem das medidas da refletância espectral de folhas é viabilizar, com rapidez, facilidade e baixo custo, uma alternativa para detectar o estado nutricional de N em milho. A utilização de sensores baseados nesse princípio, para a determinação do teor relativo de clorofila, constitui ferramenta prática na estimativa das necessidades de adubação nitrogenada (Argenta et al., 2001; Varvel et al., 1997).

Nesse sentido, foram desenvolvidos os medidores de clorofila portáteis, cujas leituras apresentam boas correlações com o N absorvido pelas plantas. Dentre outros, pode ser citado, como exemplo, o *Soil-Plant Analysis Development*, ou SPAD (Blackmer et al., 1994; Blackmer et al., 1995), que mede, como um índice de intensidade da cor verde ou de concentração relativa de clorofila, a diferença de luz transmitida na folha por meio de dois detectores nos comprimentos de 650 e 940 nm.

No Brasil, o SPAD tem sido o clorofilômetro mais testado na avaliação do estado nutricional de N em milho (Godoy et al., 2007; Argenta et al., 2004; Argenta et al., 2001). As recomendações gerais para o milho indicam a tomada de 10 a 30 leituras, em 5 a 30 plantas, realizando a medida no terço médio da primeira folha expandida a partir do ápice e considerando, para registro, a média dos valores lidos (Blackmer & Schepers, 1994; Varvel et al., 1997; Argenta et al., 2001)

As avaliações dos teores relativos de clorofila apresentam como vantagem adicional o fato de as leituras não serem influenciadas pelo consumo de luxo de nitrogênio, o qual, nessa situação, acumula-se na forma de nitrato nas plantas (Schepers et al., 1992; Blackmer & Schepers, 1994), ou seja, as leituras

do clorofilômetro são relacionadas ao N que foi efetivamente metabolizado e que, conseqüentemente, modula o potencial de produção da cultura.

Uma limitação para o caso do milho é que as leituras do clorofilômetro realizadas em estádios iniciais (anteriores ao estágio V₆, antes de seis folhas totalmente desenvolvidas) podem não ser consistentes para o diagnóstico nutricional de N, conforme reportado por Waskom et al. (1996) e Argenta et al. (2002). Assim, essa constatação acaba por restringir a possibilidade de intervenção no manejo para a aplicação de fertilizantes nitrogenados em cobertura ainda no início do ciclo, portanto, no período ideal para a máxima resposta da cultura.

Cabe destacar que as medidas do clorofilômetro podem variar não só com o estágio fenológico (Smeal & Zhang, 1994; Varvel et al., 1997; Argenta et al., 2004), mas também conforme o local de tomada de leitura na folha (Schepers et al., 1992), mostrando-se também dependente do híbrido utilizado (Argenta et al., 2001).

Visto que numerosos fatores afetam a demanda e a resposta ao nitrogênio em cobertura, a dose requerida não pode ser definida de forma direta, com base apenas na leitura do clorofilômetro (Cantarella & Duarte, 2004), o que representa um entrave ao seu uso pelos agricultores. Todavia, o estabelecimento de parcelas de referência com N abundantemente fornecido, de forma a garantir que o suprimento do nutriente não seja limitante, constitui uma maneira de contornar a ausência de significado direto das leituras do clorofilômetro (Schepers et al., 1992), mesmo em condições de lavoura. Esses autores evidenciaram que menores produtividades estavam associadas a leituras abaixo de 95% do valor obtido nas parcelas de referência.

No Brasil, são relativamente escassos os trabalhos avaliando o uso do clorofilômetro na cultura de milho e quase inexistentes os que tentam relacionar suas leituras com a identificação de zonas contratantes de disponibilidade de N

em lavouras. A presente tese trata da obtenção de informações relacionadas à otimização da produtividade de milho, por meio do manejo da cobertura nitrogenada, apoiado por medições com clorofilômetro, em condições de lavoura da região do Cerrado.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, V.M.C.; VASCONCELLOS, C.A.; FREIRE, F.M.; PITTA, G.V.E.; FRANÇA, G.E.; RODRIGUES FILHO, A.; ARAÚJO, J.M.; VIEIRA, J.R.; LOUREIRO, J.E. Milho. In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: UFV, 1999. p.314-316.
- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.241-248, 2002.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; 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**, v.13, p.158-167, 2001.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; MIELNICZUK, J.; BERTOLINI, C.G. Parâmetros de planta como indicadores do nível de nitrogênio na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.4, p.519-527, 2002.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; SANGOI, L. Leaf relative chlorophyll content as an indicator parameter to predict nitrogen fertilization in maize. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, p.1379-1387, 2004.
- BAILEY, J.S.; WANG, K.; JORDAN, C.; HIGGINS, A.A. Use of precision agriculture technology to investigate spatial variability in nitrogen yields in cut grassland. **Chemosphere**, v.42, p.131-140, 2001.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Nitrogênio total de um solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p.235-239, 1997.
- BELOW, F.E. Physiology, nutrition, and nitrogen fertilization of corn in the Unites States. In: SIMPÓSIO SOBRE FISIOLOGIA, NUTRIÇÃO, ADUBAÇÃO E MANEJO PARA PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DE CITROS, 2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Potafos, 2000.
- BERNARDES, L.F. A management program for 16 000 kg/ha corn. **Better Crops International**. Atlanta, v.5, p. 6-7, 1989.
- BERNARDI, A.C.C.; MACHADO, P.L.O. de A. ; FREITAS, P. L.; COELHO, M.R.; LEANDRO, W.M.; OLIVEIRA JÚNIOR, J.P.; OLIVEIRA, R.P. de; SANTOS, H.G. dos; MADARI, B.E.; CARVALHO, M.C.S. **Correção do solo**

e adubação no sistema de plantio direto nos cerrados. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 22p. (Série Documentos, 46).

BINDER, D.L.; SANDER, D.H.; WALTERS, D.T. Maize response to time of nitrogen application as affected by level of nitrogen deficiency. **Agronomy Journal**, v.92, p.1228-1236, 2000.

BISSANI, C.A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J.; CAMARGO, F.A.O. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas.** Porto Alegre: Gênese, 2004. 328p.

BLACKMER, M.; SCHEPERS, J.S. Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.25, p.1791-1800, 1994.

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

BLACKMER, T.M.; SCHEPERS, J.S.; VARVEL, G.E.; WALTER-SHEA, E.A. Nitrogen deficiency detection using reflected shortwave radiation from irrigated corn canopies. **Agronomy Journal**, v.88, p.1-5, 1996.

CANTARELLA, H.; DUARTE, A.P. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: GALVÃO, J.C.C.; MIRANDA, G.V. **Tecnologias de produção do milho.** Viçosa, MG: UFV, 2004. p.139-182.

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

CHITOLINA, J.C.; PRATA, F.; SILVA, F.C.; MURAOKA, T.; VITTI, A.C. Amostragem, acondicionamento e preparo de amostras de solo para análise de fertilidade. In: SILVA, F.C. (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília: Embrapa, 1999. p.13-48. (Comunicação para Transferência de Tecnologia).

CLAY, D.E.; CARLSON, C.G.; CHANG, J. Determining the “best” approach to identify nutrient management zones: a south Dakota example. In: Potash & Phosphate Institute. **Site specific management guidelines.** Georgia, n.41, 2004. Disponível em: <<http://www.potafos.org/regionalpublications>>. Acesso em: 15 mar. 2007.

COELHO, A.M.; CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A. Rendimento do milho no Brasil: chegamos ao máximo. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.101, p.11-12, 2003.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO. **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 3.ed. Passo Fundo, RS: Núcleo Regional Sul/Embrapa, 1995. 223p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Oitavo levantamento de avaliação da safra 2006/2007**. Brasília, 2007. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/8_levantamento_mai2007.doc>. Acesso em: 23 maio 2008.

CRESSIE, N.A.C. **Statistics for spatial data**. New York: John Wiley, 1991. 900p.

DOBERMANN, A. Estratégias de manejo para alta produtividade de milho e soja nos Estados Unidos. **Informações agronômicas**, Piracicaba, n.113, p.6-7, 2006.

DURÃES, F.O.M. **Limitações fisiológicas do milho nas condições de plantio nas regiões tropicais baixas**. Disponível em: <http://www.infobiboscom/Artigos/2007_1/LimiteMilho/Indez.htm>. Acesso em: 14 fev. 2007.

FANCELLI, A.L. Estratégias de manejo para alta produtividade de milho no Brasil. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.113, p.2-3, 2006.

FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. **Evolução área de plantio direto no Brasil**. Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br>>. Acesso em: 12 jun. 2007.

FERGUSON, R.B.; CAHOON, J.E.; HERGERT, G.W.; PETERSON, T.A.; GOTWAY, C.A.; HARTFORD, A.H. Managing spatial variability with furrow irrigation to increase nitrogen use efficiency. INTERNATIONAL CONFERENCE ON SITE-SPECIFIC MANAGEMENT FOR AGRICULTURAL SYSTEMS, 2., 1995, Madison. **Proceeding...** Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1995. p.443-464.

FERGUSON, R.B.; GOTWAY, C.A.; HERGERT, G.W.; PETERSON, T.A. Soil sampling for site-specific nitrogen management. INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRECISION AGRICULTURE, 3., 1996, Madison. **Proceeding...** Madison: ASA/CSSA/SSSA. 1996. p.13-22.

FERGUSON, R.B.; HERGERT, G.W.; SCHEPERS, J.S.; CRAWFORD, C.A. Site-specific nitrogen management of irrigated corn. INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRECISION AGRICULTURE, 4., 1999, Madison. **Proceeding...** Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1999. p.733-743.

FRANK, K.D.; ROETH, F.W. Using soil organic matter to help make fertilizer and pesticide recommendations. In: MAGDOFF, F.R.; TABATABAI, M.A.; HANLON JR., E.A. (Ed.). **Soil organic matter: analysis and interpretation**. Wisconsin: Soil Science Society of America 1996. p.33-40.

FREIRE, F.M.; VASCONCELLOS, C.A.; FRANÇA, G.E. de. Manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.22, n.208, 2000. p.49-62.

GODOY, L.J.G. de; SOUTO, L.S.; FERNANDES, D.M.; VILLA BÔAS, R.L. Uso do clorofilômetro no manejo da adubação nitrogenada para milho em sucessão a pastagem de *Brachiaria decumbens*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, p.38-44, 2007.

HOFMAN, G.; CLEEMPUT, O. van. **Soil and plant nitrogen**. Paris: IFA, 2004. 29p.

KITCHEN, N.R.; HUGHES, D.F.; SUDDUTH, K.A.; BIRRELL, S.J. Comparison of variable rate to single rate nitrogen fertilizer application: corn production and residual soil NO₃-N. INTERNATIONAL CONFERENCE ON SITE-SPECIFIC MANAGEMENT FOR AGRICULTURAL SYSTEMS, 2., 1995, Madison. **Proceeding...** Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1995. p.427- 439.

LI, M.; YOST, R.S. Management-oriented modeling: optimizing nitrogen management with artificial intelligence. **Agricultural Systems**, v.65, p.1-27, 2000.

LOPES, A.S.; WIETHOLTER, S.; GUILHERME, L.R.G.; SILVA, C.A. **Sistema plantio direto: bases para o manejo da fertilidade do solo**. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2004. 115p.

LUCHIARI JR, A.; SILVA, A.D.; BUSCHINELLI, C.C.A.; HERMES, L.C. CARVALHO, J.R. P.; SHANAHAN, J.; SCHEPERS, J.S. Agricultura de precisão e meio ambiente. In: MACHADO, P.L.O.A.; SILVA, C.A.; BERNARDI, A.C.C. (Ed.). **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema de plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. p.19-36.

LUCHIARI JR, A.; SHANAHAN, J; FRANCIS, D; SCHLEMMER, M; SCHAPERS, J; LIEBIG, M; SCHEPERS, A. Strategies for establishing management zones for site specific nutrients management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE SITE ESPECIFIC MANAGEMENT FOR AGRICULTURAL SISTEM, 5., 2000, Bloomington. **Proceeding...** Bloomington: ASA/CSSA;SSSA/ASAE, 2000. p.475-484.

MACHADO, P.L.O.A.; BERNARDI, A.C.C.; SILVA, C.A. **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 209p.

- MAHMOUDJAFARI, M.; KLUITENBERG, G.J.; HAVLIN, J.L.; SCHWAB, A.P. Spatial variability of nitrogen mineralization at field scale. **Soil Science Society America Journal**, v.61, p.1214-1221, 1997.
- MARQUES JUNIOR, J.; CORÁ, J.E. Atributos do solo para agricultura de precisão. In: SILVA, F.M. da. (Ed.). **Mecanização e agricultura de precisão**. Poços de Caldas: UFLA, 1998. p. 31-70.
- MOLIN, J.P. **Agricultura de precisão: o gerenciamento da variabilidade**. Piracicaba, 2001. 83p.
- MOREIRA, F.M. de S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 729p.
- MULLA, D.J.; SCHEPERS, J.S. In: **The state of site-specific management for agriculture**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1997. p.1-18.
- OLIVEIRA, S.A. de. Análise foliar. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2.ed. Planaltina, GO: Embrapa Cerrados, 2004. p.245-256.
- PIEKIELEK, W. P.; FOX, R. H. Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. **Agronomy Journal**, v.84, p.59-65, 1992.
- PIERCE, F. J.; NOWAK, P. Aspects of precision agriculture. **Advances in Agronomy**, v. 67, p.1-85, 1999.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).
- RAMBO, L.; SILVA, P.R.F. da; ARGENTA, G.; SANGOI, L. Parâmetros de planta para aprimorar o manejo da adubação nitrogenada de cobertura em milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, p.1637-1645, 2004.
- RAUM, W.R.; JOHNSON, G.V. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. **Agronomy Journal**, Madison, v.91, n.3, p.357-363, 1999.
- RESCK, D.V.S.; SILVA, J.E.; LOPES, A.S.; COSTA, L.M. Management Systems in Northern South America. In: PETERSON, G.A.; UNGER, P.W.; PAYNE, W.A. (Org.). **Dryland agriculture**. 2.ed. Madison, Wisconsin: ASA/CSSA/SSSA, 2006. v.23, p. 427-525.
- RESENDE, A.V.; HURTADO, S.M.C.; SHIRATSUCHI, L.S.; CORAZZA, E.J.; SILVA, C.A.; PALUDO, V. Mapeamento da matéria orgânica do solo e da produtividade das culturas como subsídio ao manejo sítio-específico da adubação nitrogenada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2007, Gramado. **Anais...** Gramado: SBCS, 2007.

RESENDE, A.V.; SHIRATSUCHI, L.S.; SENA, M.C.; KRAHL, L.L.; OLIVEIRA, J.V.F.; CORRÊA, R.F.; ORO, T. Grades amostrais para fins de mapeamento da fertilidade do solo em área de Cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2006, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 2006.

REUM, D.; ZHANG, Q. Wavelet based multi-spectral image analysis of maize leaf chlorophyll content. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.56, p.60-71, 2007.

SCHEPERS, J.S.; FRANCIS, D.D.; VIGIL, M.; BELOW, F.E. Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings. **Communications in soil Science and Plant Analysis**, v.23, p.2173-2187, 1992.

SCHRODER, 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**, v.66, p.151-164, 2000.

SILVA, C.A.; MACHADO, P.L.O.A.; BERNARDI, A.C.C.; CARMO, C.A.F.S.; VALENCIA, L.I.O.; ANDRADE, A.G.; MEIRELLES, M.S. **Amostragem de solo em área de soja sob plantio direto: uso de técnicas de agricultura de precisão.** Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2002. 8p. (Embrapa Solos. Comunicado Técnico, 10).

SILVA, C.A.; VALE, F.R.; GUILHERME, L.R.G. Efeito da calagem na mineralização do nitrogênio em solos de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, p.471-476, 1994.

SIMS, J.T.; VASILAS, B.L.; GARTLEY, K.L.; MILLIKEN, B.; GREEN, V. valuation of soil and plant nitrogen tests for mayze on manured soils of the Atlantic Coastal-Plain. **Agronomy Journal**, v.87, p.213-222, 1995.

SMEAL, D.; ZHANG, H. hlorophyll meter evaluation for nitrogen management in corn. **Communication in Soil Science Plant Analysis**, v.25, p.1495-1503, 1994.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: experiência no cerrado. REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 25., 2000, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria:SBCS, 2000.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Adubação com nitrogênio. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação.** Planaltina, GO: Embrapa Cerrados, 2004. p.129-145.

SOUZA, L.C.F.; GONÇALVES, M.C.; ALVES SOBRINHO, T.; FEDATTO, E.; ZANON, G.D.; HASEGAWA, E.K.B. Culturas antecessores e adubação

nitrogenada na produtividade do milho em plantio irrigado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, p.55-62, 2003.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry**: genesis, composition, reactions. New York: J. Wiley, 1994. 496p.

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**, v.61, p.1233-1239, 1997.

VERHAGEN, J. **Spatial soil variability as a guiding principle in nitrogen management**. 1997. 109p. Tese (Doutorado) - Universidade de Wageningen, Wageningen.

VETSCH, J.A.; MALZER, G.L.; ROBERT, P.C.; HUGGINS, D.R. Nitrogen specific management by soil condition: managing fertilizer nitrogen in corn. In: ROBERT, P.C.; RUST, R.H.; LARSON, W.E. (Ed.). INTERNATIONAL CONFERENCE ON SITE-SPECIFIC MANAGEMENT FOR AGRICULTURAL SYSTEMS, 2., 1995, Madison. **Proceeding...** Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1995. p.465-473.

VIEIRA, S. R. . Geoestatística aplicada a agricultura de precisão. In: Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão, 2000, Viçosa. Anais... Viçosa: Editora UFV, 2000a.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F. de.; ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2000b. p.1-54.

VITTI, G.C.; TEIXEIRA, L.H.B.; BARROS JR., M.C. Diagnóstico da fertilidade do solo e adubação para alta produtividade de milho. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. (Ed.). **Milho**: estratégias de manejo para alta produtividade. Piracicaba: ESALQ/USP/LPV, 2003. p.174-197.

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**, v. 27, p. 545-560, 1996.

WELSH, J.P.; WOOD, G.A.; GODWIN, R.J.; TAYLOR, J.C.; EARL, R.; BLACKMORE, S.; KNIGHT, S.M. Developing strategies for spatially variable nitrogen application in cereals. Part I: Winter barley. **Biosystems Engineering**, v.84, p.481-494, 2003.

ZHAO, D.; RAJA REDDY, K.; KAKANI, V.G.; READ, J.J.; CARTER, G.A. Corn (*Zea mays* L.) growth, leaf pigment concentration, photosynthesis and leaf hyperspectral reflectance properties as affected by nitrogen supply. **Plant and Soil**, v.257, p.205-217, 2003.

CAPÍTULO 2

HURTADO, Sandro Manuel Carmelino. Sensibilidade do clorofilômetro para diagnóstico nutricional de nitrogênio no milho. In:_____. **Uso do clorofilômetro e de agricultura de precisão no manejo da adubação nitrogenada do milho**. 2008. Cap.2, p. 27-48. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG[†]

1 RESUMO

A obtenção de altas produtividades torna-se difícil devido, dentre outros fatores, à complexa quantificação dos requerimentos de nitrogênio (N) para a cultura do milho ao longo do seu ciclo, o que dificulta o seu dimensionamento, ainda mais considerando a sua baixa capacidade de suprimento em solos brasileiros. Nesse sentido, os teores relativos de clorofila surgem como uma opção para o manejo do N. O estudo objetivou avaliar a sensibilidade do clorofilômetro em indicar o estado nutricional do milho em resposta ao N, tanto ao longo do seu período vegetativo como em solos com teores de argila contrastantes. Para atingir este objetivo foram realizados experimentos em condições controladas e de lavoura. Em condições controladas, foram testados três solos com teores de argila contrastantes e cinco doses de N, sendo avaliados, no final do período vegetativo, os teores relativos de clorofila, de N foliar e a produção de matéria seca da parte aérea. Em condições de lavoura, foram avaliados seis tratamentos, resultantes da combinação de três doses de nitrogênio em cobertura, na presença e na ausência de calcário, sendo a maior dose de N correspondente à condição na qual não haveria limitação de disponibilidade quanto ao suprimento do nutriente. A nutrição nitrogenada foi monitorada semanalmente, com o uso do clorofilômetro. Foram avaliados também os teores de N na folha e no grão, de N mineral no solo, a matéria seca da parte aérea e a produtividade. Os resultados permitiram concluir que há sensibilidade do clorofilômetro em detectar diferenças no estado nutricional do milho em resposta a diferentes características de solo e de suprimento de N, servindo como indicador da necessidade de adubação nitrogenada de cobertura.

[†] Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Silva.

CHAPTER 2

HURTADO, Sandro Manuel Carmelino. Sensitivity of the chlorophyll meter for nutritional diagnostic of nitrogen in corn. In:_____. **Chlorophyll meter and precision agriculture use in nitrogen sidedressing management for corn.** 2008. Chap.2, p. 27-48. Thesis (Doctorate in Soil Science) – Federal University of Lavras, Lavras, MG[‡]

2 ABSTRACT

High corn yields are conditioned by the different factors involved in the quantification of nitrogen requirements for the crop along its cycle, and becomes difficult considering the varying capacity of Brazilian soils in supplying N. In this sense, the relative contents of chlorophyll is a tool which helps to improve soil N management. The study aimed to evaluate the sensitivity of the chlorophyll meter to predict the nutrient status of corn in response to N applied in soil in different corn vegetative period, as well as, its behavior in soils with contrasting clay contents. To reach that objective, experiments under controlled and in field conditions were carried out. Under controlled conditions, three soils with contrasting clay contents and five doses of N were tested. At the end of the vegetative period, the relative contents of chlorophyll, leaf N and the weight of the shoot dry matter were evaluated. Under crop conditions, six treatments, resulting from the combination of three doses of nitrogen topdressing, in the presence and absence of limestone, were evaluated, the highest dose of N being corresponding to the ideal condition of N supply for corn. Nitrogen nutrition was monitored weekly with a chlorophyll meter. Also, the contents of N in leaf, in grain, mineral N in soil, shoot dry matter and grain yield were evaluated. The results allowed to conclude that there is a sensitivity of the chlorophyll meter to detect differences in the nutritional status of corn in response to different characteristics of soil and N supply, acting as an indicator of the need for nitrogen topdressing.

[‡] Adviser Professor Dr. Carlos Alberto Silva.

3 INTRODUÇÃO

No Brasil, elevadas produtividades de grãos de milho podem atingir patamares de 10 a 14 t ha⁻¹, associadas a fatores como manejo adequado da adubação, utilização de híbridos modernos e sistemas de cultivo mais tecnificados em plantio direto. Um dos principais aspectos que definem o impacto da adubação na produtividade é o atendimento da demanda por nitrogênio (N) ao longo do ciclo da cultura.

Na prática, a quantificação dos requerimentos de N para cultivos do milho não é tarefa simples, dadas as diversas reações das quais o nutriente participa no solo (Stockdale et al., 1997; Amado et al., 2002; Cantarella & Duarte, 2004) e considerando que os condicionantes da sua disponibilidade às plantas variam no espaço e no tempo (Mahmoudjafari et al., 1997; Welsh et al., 2003). Via de regra, os solos brasileiros não têm capacidade de suprir totalmente a demanda do nutriente para atingir as maiores produtividades, sendo essencial a complementação com fertilizantes nitrogenados. No dimensionamento das adubações, deve-se, sempre que possível, considerar, além da meta de rendimento de grãos, o histórico da área, os aportes de nitrogênio pelos resíduos da cultura anterior, o teor de matéria orgânica do solo, o uso de adubos verdes, o tipo e a quantidade de palhada presente (Amado et al., 2002), o que não é feito com muita frequência pelos técnicos e agricultores.

O N é importante, sobretudo, nos estádios iniciais, quando sua disponibilidade relaciona-se diretamente às maiores eficiências de utilização pelas plantas de milho. Nessa fase inicial (quatro folhas), quando se define o potencial produtivo (Ritchie et al., 2003), é particularmente importante detectar eventuais deficiências do nutriente. Não obstante, a falta de métodos laboratoriais eficientes para análise de rotina de N no solo representa um entrave

à determinação da necessidade de fornecimento do nutriente no decorrer dos estádios fenológicos das lavouras. Análises de tecido podem auxiliar na identificação de deficiências de N, estando o sucesso de seu emprego baseado na rápida detecção do estresse e em sua correção, antes que afete a produtividade.

O teor de N na folha é alta e positivamente correlacionado com a concentração de clorofila (Blackmer & Schepers, 1994). Assim, o uso de medidores portáteis que fornecem estimativas indiretas do teor de clorofila permite monitorar rapidamente as respostas do milho a condições variadas de disponibilidade de N nas lavouras (Varvel et al., 1997; Argenta et al., 2004), apresentando boa correlação entre as leituras e as produtividades obtidas (Piekielek & Fox, 1992). Dessa forma, o clorofilômetro pode conferir a agilidade necessária ao diagnóstico nutricional e a definição de estratégias de manejo do nitrogênio, ainda durante a fase de desenvolvimento da cultura.

No Brasil, experimentos com SPAD em milho têm visado a sua calibração, mediante a obtenção dos teores de clorofila com metodologia padrão, em laboratório (Zotarelli et al., 2003) e em campo (Argenta et al., 2001). Trabalhos têm buscado, também, relacionar as leituras de determinados estádios fisiológicos e híbridos às produtividades, segundo as doses de N (Argenta et al., 2004) e associadas ao uso de pastagens em sucessão (Godoy et al., 2007).

A experiência brasileira, contudo, ainda carece de informações relacionadas ao comportamento das leituras do clorofilômetro em diferentes condições de solo e manejo, assim como ao longo do período vegetativo do milho, o que permitiria melhor abordagem dos padrões de resposta da cultura numa perspectiva espaço-temporal. O presente trabalho objetivou avaliar a sensibilidade do clorofilômetro para indicar o estado nutricional, em relação ao nitrogênio, do milho cultivado em condições de solo contrastantes, assim como nos diferentes estádios de desenvolvimento, relacionando as leituras do clorofilômetro com N na planta, a produção de matéria seca e a produtividade.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos, um em colunas de PVC e outro em condições de campo. O primeiro foi conduzido em casa de vegetação, na Universidade Federal de Lavras, no período de outubro de 2005 a janeiro de 2006. Foram utilizadas amostras de terra fina seca ao ar das camadas superficial (0-0,2 m) e subsuperficial (0,2-0,4 m) de três solos com classes texturais contrastantes: Neossolo Quartzarênico (NQ), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Latossolo Vermelho distroférrico (LVd).

Análises químicas e granulométrica (Tabela 1) foram realizadas segundo metodologias descritas em Embrapa (1999). Posteriormente, fez-se a correção da acidez do solo da camada superficial pela aplicação de calcário dolomítico (PRNT=100%), visando alcançar saturação por bases de 60% (Raij et al., 1996). Após incubação com o corretivo, as amostras foram dispostas em colunas de 0,2 m de diâmetro e 0,4 m de altura, mantendo-se a ordem das camadas amostradas em campo e volume de solo, correspondente a 6 dm³ para cada camada.

TABELA 1. Atributos dos solos utilizados no experimento em colunas, após correção da acidez.

Solo	Argila g.kg ⁻¹	pH agua	M.O. g.dm ⁻³	P mg.dm ⁻³	K	Ca	Mg	Al	H+Al	T	V
					----- cmol _c .dm ⁻³ -----						
NQ (0-0,2 m)	70	5,8	14	9	0,07	1,6	0,4	0,0	1,9	4,0	52
NQ (0,2-0,4 m)	50	5,4	16	4	0,04	0,5	0,2	0,7	2,3	3,0	24
LVA (0-0,2 m)	250	6,4	9	1	0,05	1,1	0,8	0,0	1,2	3,2	61
LVA (0,2-0,4 m)	270	5,6	9	1	0,04	0,4	0,2	0,0	1,2	1,8	35
LVd (0-0,2 m)	680	6,0	38	1	0,13	3,8	2,1	0,0	2,6	8,6	70
LVd (0,2-0,4 m)	660	4,8	34	1	0,04	0,5	0,2	0,9	5,6	6,3	12

Foram cultivadas duas plantas de milho híbrido simples GNZ2004[®] por coluna. A adubação básica foi realizada na camada superficial com aplicações de K (300 mg dm⁻³), P (150 a 300 mg dm⁻³, de acordo o poder tampão de cada solo), S (30 mg dm⁻³) e micronutrientes (contendo 0,8; 1,3; 1,6; 4,0 e 4,0 mg dm⁻³ de B, Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente), para atender às demandas nutricionais da cultura.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com três repetições, num esquema fatorial 3x5, combinando os três solos e cinco doses de N (0, 50, 100, 200 e 400 mg dm⁻³) na forma de uréia. As aplicações de N e de K foram parceladas. Para as doses de N abaixo de 400 mg kg⁻¹, forneceram-se 50 mg kg⁻¹, a cada sete dias após a germinação, até que se completassem as respectivas doses pré-estabelecidas. O mesmo foi feito no caso da maior dose de N, porém, fornecendo-se 100 mg kg⁻¹ em cada aplicação. A dose de K foi dividida e adicionada nas datas correspondentes às duas primeiras coberturas com N.

Aos 55 dias após emergência, foram medidos os teores relativos de clorofila na última folha completamente expandida, utilizando o clorofilômetro Minolta SPAD 502[®]. Em seguida, a parte aérea das plantas foi colhida, determinando-se a matéria seca após secagem em estufa. O teor de N total (Tedesco et al., 1995) foi obtido por análise das mesmas folhas nas quais realizaram-se as leituras SPAD.

O segundo experimento foi conduzido sob condições de sequeiro, na Fazenda Alto Alegre (Planaltina de Goiás, GO), num talhão com sucessão milho-soja, sem preparo do solo há cinco anos. O talhão apresenta ocorrência expressiva de *Brachiaria decumbens* e outras gramíneas, as quais servem ao pastejo bovino nos períodos de pousio e produtividades médias de 3,1; 8,8 e 3,5 t ha⁻¹ para os cultivos de soja, milho e soja, correspondentes aos três últimos anos. A área apresenta Latossolo Vermelho-Amarelo, com teor de argila igual a

543 g kg⁻¹. As características químicas dos atributos do solo amostrados na camada de 0-0,2 m foram: MOS: 9 g dm⁻³; pH (água): 5,7; P (Mehlich 1): 9,0 mg dm⁻³; K: 0,5 cmol_c dm⁻³; Ca: 1,5 cmol_c dm⁻³; Mg: 0,5 cmol_c dm⁻³; Al: 0,1 cmol_c dm⁻³; CTC: 6,9 cmol_c dm⁻³ e V(%): 37. O milho, híbrido simples Pioneer 30F90[®] correspondente à safra 2006-2007, foi semeado em 16 de novembro de 2006.

Utilizou-se o delineamento de blocos casualizados, com três repetições, num esquema fatorial 2x3 disposto em parcelas subdivididas, combinando a presença ou não de 1 t ha⁻¹ de calcário dolomítico aplicado a lanço, sem incorporação (parcelas), e as doses 0 (0N), 100 (100N) e 500 (500N) kg ha⁻¹ de N em cobertura, aplicadas de forma contínua a 20 cm das linhas (subparcelas). A dose do corretivo calcário tentou simular às práticas de manejo adotadas na região. As subparcelas compreenderam cinco linhas de 6 m de comprimento, espaçadas de 0,7 m, com 5 plantas por metro linear. As avaliações foram feitas nas três linhas centrais, com bordaduras de 1 m nas extremidades, sendo o solo amostrado a 20 cm da linha de plantio.

A dose de 100 kg ha⁻¹ N correspondeu à adubação de cobertura realizada rotineiramente pela fazenda, no estágio de quatro folhas. A dose de 500 kg ha⁻¹ foi parcelada semanalmente, a partir do estágio V₂ (2 folhas totalmente expandidas), sendo fornecidos 50 kg ha⁻¹ na primeira aplicação e 75 kg ha⁻¹ nas seguintes (correspondentes aos estádios V₃₋₄; V₄₋₅; V₅₋₆; V₇₋₈; V₉₋₁₀ e V₁₁₋₁₂), até completar a dose total. Essa elevada quantidade de N foi utilizada com o objetivo de garantir condição na qual não haveria limitação de disponibilidade do nutriente (tratamento referência). O adubo nitrogenado de cobertura consistiu de uma mistura comercial de grânulos (1:1) de uréia e sulfato de amônio (33% N e 11% S), sendo a uréia revestida com inibidor de urease (NBPT). O adubo foi aplicado superficialmente a 20 cm da linha de plantio.

A semeadura do milho e outros tratos culturais foram realizados com insumos, maquinário e procedimentos operacionais da fazenda. Na adubação de plantio, foram aplicados 350 kg ha^{-1} do formulado NPK 06-23-18 (contendo ainda 2; 4; 0,13; 0,09; 0,13 e 0,4% de Ca, S, B, Cu, Mn e Zn, respectivamente), fornecendo-se, portanto, 21, 80 e 63 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 e K_2O para todos os tratamentos.

O estado nutricional das plantas em relação ao nitrogênio foi monitorado semanalmente, ao longo dos estádios de desenvolvimento do milho (Ritchie, 2003), utilizando-se o clorofilômetro Minolta SPAD 502[®]. Iniciaram-se as leituras no estádio de duas folhas (V_2), finalizando-as três semanas após o florescimento feminino (R_3). Em cada época, foram obtidas dez leituras por subparcela, em cinco plantas marcadas, sendo uma leitura de cada lado do limbo foliar, desconsiderando a nervura central e as margens no terço médio da folha (Argenta et al., 2001). As leituras foram realizadas na última folha totalmente expandida nos estádios prévios ao florescimento e na folha indicadora (abaixo e oposta à espiga), a partir do florescimento.

Na fase de florescimento, em cinco pontos nas subparcelas, foram realizadas amostragens de solo a 20 cm de profundidade e de folhas indicadoras para análises de tecidos (Malavolta et al., 1997) e determinação de amônio e nitrato (Tedesco et al., 1995). Na colheita, quantificou-se a produção de matéria seca da parte aérea (exceto grãos) e de grãos (a 13% de umidade).

Os dados foram submetidos a análises de variância por meio do programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2003), determinando-se modelos de regressão e coeficientes de correlação de Pearson para as variáveis de interesse.

A análise econômica consistiu da determinação dos incrementos em produtividade, devido à adubação de cobertura (100 ou 500 kg ha^{-1} de N) e cálculo das respectivas receitas líquidas, considerando-se as cotações da saca de 60 kg de milho (R\$ 24,00) e da tonelada do fertilizante nitrogenado (R\$ 933,00),

em maio de 2007. Entretanto, não foram incluídos no cálculo os custos relativos à aplicação da adubação de cobertura. A equivalência dos valores em dólar pode ser obtida com base na cotação de R\$ 1,77 para o dólar americano (US\$).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Experimento em condições controladas

Houve efeito significativo das doses de N sobre os teores foliares do nutriente, apresentando um modelo de resposta linear (Figura 1A), sem, contudo, ocorrer interação com o tipo de solo. Os teores obtidos foram inferiores ao valor de 28 g kg⁻¹, considerado adequado para a cultura de milho (Malavolta et al., 1997; Oliveira et al, 2004). Cabe ressaltar que a folha que foi analisada é de estágio anterior ao indicado pelos autores citados, nas recomendações de amostragem para análise foliar.

Considerando-se as respostas em produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), para as quais houve interação entre solos e dose de N (Figura 1B), pôde-se estimar as doses e os teores foliares de N ótimos. As doses econômicas, referentes a 90% da produção máxima, foram de 195, 178 e 51 mg dm⁻³ de N, para os solos arenoso, textura média e argiloso, respectivamente. Tais doses corresponderiam a teores foliares de 16, 16 e 11 g kg⁻¹ de N, de acordo com o modelo da Figura 1A.

Maior MSPA foi obtida no solo arenoso, seguido dos solos argiloso e de textura média. O solo argiloso foi o que apresentou maior MSPA até a dose de 100 mg kg⁻¹ de N. Os valores para as demais doses não variaram fortemente, o que deve estar relacionado aos teores de MOS mais elevados (Tabela 1), que levariam a um maior tamponamento desse solo em relação ao N.

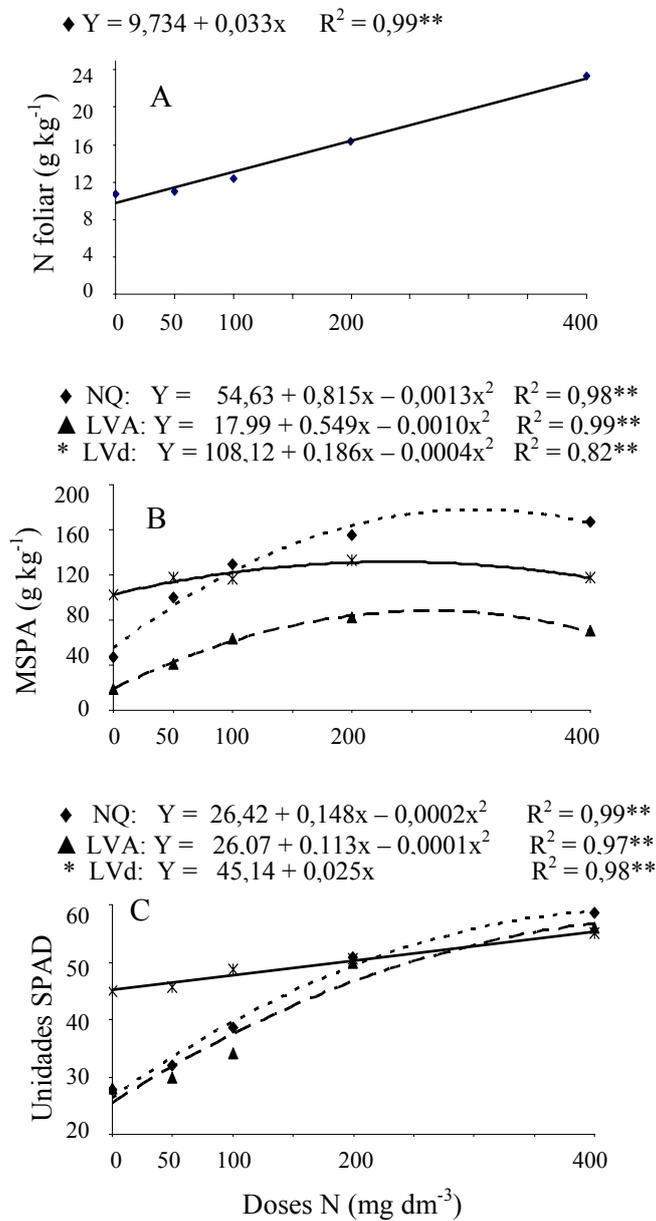


FIGURA 1. Nitrogênio foliar (A), produção de matéria seca da parte aérea – MSPA (B) e leitura SPAD (C), em função de doses de N em solos de texturas contrastantes.

Significância para a interação solos e doses de N foi também verificada para os teores relativos de clorofila (leituras SPAD). De maneira análoga à MSPA, as maiores leituras SPAD foram obtidas no solo arenoso, havendo menor variação no solo argiloso (Figura 1C). As menores leituras observadas para as doses mais baixas de N nos solos arenoso e de textura média devem-se, provavelmente, aos seus menores estoques de MOS (Tabela 1), um dos fatores mais importantes para a disponibilidade de N às plantas (Bayer & Mielniczuk, 1997).

Os dados da Figura 1 confirmam a sensibilidade do clorofilômetro para o monitoramento do estado nutricional do milho em relação ao nitrogênio na fase de pré-florescimento, discriminando condições variadas de disponibilidade do nutriente devido a diferenças no tipo de solo e no aporte de fertilizante nitrogenado nas adubações.

Essa sensibilidade revela-se um fator favorável à utilização do aparelho para o manejo da adubação nitrogenada em campo, no qual o reconhecimento da variação de leituras, especialmente, poderia dar suporte à agricultura de precisão (Piekielek & Fox, 1992). Tal possibilidade torna-se especialmente promissora se as variações puderem ser detectadas precocemente, nos estádios iniciais de desenvolvimento da lavoura.

As leituras SPAD podem também ser utilizadas para a simples indicação de valores referenciais (Argenta et al., 2004), mantendo-se as ressalvas necessárias para o fato de as leituras mudarem segundo as diferentes condições de local e híbrido, assim como entre safras (Waskom et al., 1996). No presente estudo, as leituras correspondentes às doses de N para a máxima resposta econômica em MSPA foram de 53,1; 49,3 e 50,7 unidades SPAD, para os solos arenoso, de textura média e argiloso, respectivamente.

É interessante destacar, ainda, os pequenos incrementos dos valores SPAD nas maiores doses de N aplicadas, contrastando com o aumento linear do

acúmulo de nitrogênio na parte aérea (dados não apresentados). Sob condições de elevada disponibilidade, parte do N absorvido não é convertida em clorofila ou outros compostos orgânicos (Schroder et al., 2000), caracterizando o consumo de luxo. Essa situação pode ser observada nos solos arenosos e de textura média (Figura 1C).

Ao se considerar todo o conjunto de dados (doses de N nos três solos, n=15) e relacionar as leituras SPAD com os teores foliares de N e produção de MSPA, foram obtidos coeficientes de correlação de Pearson de 0,60 e 0,70, respectivamente. As relações entre essas variáveis também podem ser visualizadas na Figura 2, que evidencia a influência do tipo de solo nos padrões de resposta. Destaca-se, assim, a resposta obtida para o solo argiloso, em que a amplitude de leituras SPAD foi influenciada pelo maior tamponamento do solo, produto dos elevados teores de MOS (Figura 2A). De qualquer forma, os resultados corroboram as informações de outros trabalhos, que mostram haver relações diretas entre essas variáveis e também com a produtividade de grãos do milho (Argenta et al., 2001; Argenta et al., 2004; Scharf et al., 2006).

As leituras SPAD obtidas em condições de casa de vegetação servem como referencial para o entendimento de possíveis mudanças nos teores foliares de clorofila em função de fatores que influenciam a disponibilidade de N às plantas. Entretanto, leituras para o monitoramento do estado nutricional e indicação de manejo da adubação nitrogenada devem ser obtidas em condições de campo, mediante uso de áreas de referência locais (Schepers et al., 1992).

5.2 Experimento em condições de lavoura

Não houve interação entre aplicação de calcário superficial e adubação de cobertura para nenhuma das variáveis avaliadas.

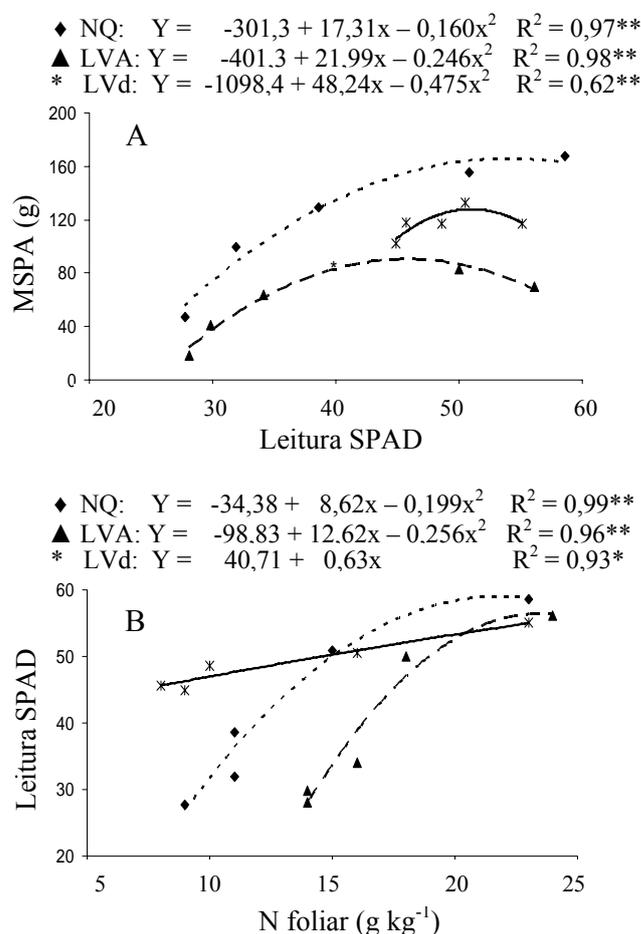


FIGURA 2. Relação entre leitura SPAD e matéria seca da parte aérea – MSPA (A), e entre leitura SPAD e teor de N total foliar (B) no milho cultivado em solos de texturas contrastantes.

A utilização do tratamento referência (aplicação de 500 kg ha⁻¹ de N em cobertura) permitiu identificar, por meio das leituras SPAD, prováveis deficiências de nitrogênio nos tratamentos correspondentes às doses 0 e 100 kg ha⁻¹ de N já a partir do estágio de 4-5 folhas (Tabela 2). O uso de parcelas referência, ou seja, pequenas áreas muito bem supridas com N, no campo

TABELA 2. Leituras do clorofilômetro, ao longo dos estádios fenológicos e produtividade do milho em resposta a diferentes doses de nitrogênio em cobertura (dados médios considerando a ausência e a presença de calcário).

Tratamento	Estádio de desenvolvimento											Produtividade (t ha ⁻¹)
	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	
	DAS*	DAS	DAS	DAS	DAS	DAS	DAS	DAS	DAS	DAS	DAS	
	V ₁₋₂ **	V ₃₋₄	V ₄₋₅	V ₅₋₆	V ₇₋₈	V ₉₋₁₀	V ₁₁₋₁₂	V ₁₄₋₁₆	R ₁ ***	R ₂	R ₃	
0 N	36,4 a	44,6 a	47,7 b	49,8 c	52,0 c	55,5 c	54,9 c	56,4 c	58,3 c	58,0 b	57,9 b	9,35 c
100 N	32,8 b	43,8 a	48,3 b	52,9 b	56,5 b	58,2 b	58,2 b	58,4 b	59,7 b	59,4 b	59,8 b	10,68 b
500 N	36,4 a	44,3 a	51,8 a	57,0a	60,9a	62,1a	62,1a	63,3a	63,5a	65,0a	64,8 a	11,32 a
CV(%)	3,8	1,2	1,3	2,6	1,6	2,7	2,5	1,9	1,7	3,2	3,5	4,4

Letras iguais, na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5%.

*Dias após germinação; **Estádio de desenvolvimento com o grifo indicando a folha na qual foi feita leitura SPAD;

***Leituras SPAD feitas na folha abaixo e oposta à espiga.

experimental ou mesmo em lavouras, justifica-se pelo fato de que as leituras do clorofilômetro podem ser afetadas por fatores, tais como híbrido utilizado, estágio fenológico, folha avaliada, tipo de solo e variáveis climáticas. Essas interferências podem ser superadas mediante a utilização de tais parcelas (Schepers et al., 1992; Cantarella, 2007).

As leituras SPAD nos tratamentos com cobertura nitrogenada diferiram estatisticamente do tratamento sem cobertura a partir do estágio V₅-V₆ (Tabela 2), indicando que a aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N no estágio de quatro folhas (V₄), como é a rotina da fazenda, foi uma estratégia acertada, embora essa dose não tenha possibilitado atingir o potencial máximo de clorofila a partir desse estágio (Figura 3). Situações de insuficiência de N frente à demanda do milho nos estádios iniciais geram estresse que compromete o tamanho e o número de grãos permanentemente (Fancelli, 2000; Francis & Piekielek, 2003).

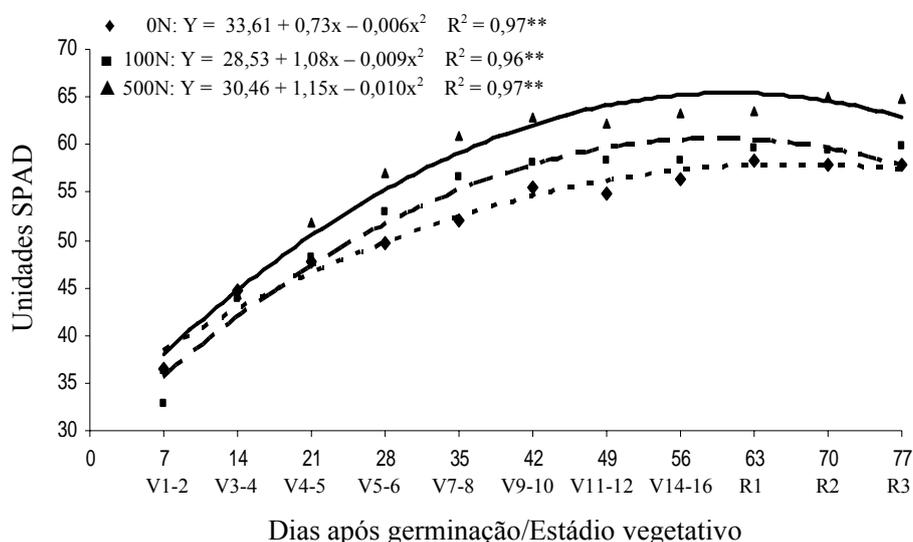


FIGURA 3. Valores de leituras SPAD, em função do estágio fenológico do milho sob diferentes condições de suprimento de N.

A ausência de diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos 0N e 100N, a partir do estágio de grãos leitosos (R₂) (Tabela 2), possivelmente se deve ao maior acúmulo de clorofila nas folhas em estádios próximos ao reprodutivo (Costa et al., 2001). Aumento nas leituras de clorofila em estádios próximos do florescimento foi também verificado por Godoy et al. (2003) e Argenta et al. (2004).

Na Tabela 3 são apresentados os coeficientes de correlação de Pearson entre as leituras SPAD em cada estágio de desenvolvimento do milho e as produtividades de grãos obtidas, considerando os dados médios de todos os tratamentos estudados (n=6).

TABELA 3. Coeficientes de correlação das leituras SPAD em cada estágio de desenvolvimento do milho com a produtividade de grãos, matéria seca da parte aérea (MSPA), teor de nitrogênio nas folhas, teor de nitrogênio nos grãos e nitrogênio mineral no solo.

Estádio de desenvolvimento	Produtividade de grãos	MSPA ¹	Nitrogênio foliar ²	Nitrogênio no grão	Nitrogênio mineral ³
V ₁ -V ₂	-0,23 ^{ns}	-0,33 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	0,47 ^{ns}
V ₃ -V ₄	-0,35 ^{ns}	-0,32 ^{ns}	-0,71 ^{ns}	-0,21 ^{ns}	0,13 ^{ns}
V ₄ -V ₅	0,79 [*]	0,70 [*]	0,62 ^{ns}	0,86 ^{**}	0,97 ^{***}
V ₅ -V ₆	0,87 ^{**}	0,82 ^{**}	0,47 ^{ns}	0,93 ^{***}	0,89 ^{**}
V ₇ -V ₈	0,94 ^{***}	0,89 ^{**}	0,55 ^{ns}	0,97 ^{***}	0,87 ^{**}
V ₉ -V ₁₀	0,87 ^{**}	0,79 [*]	0,61 ^{ns}	0,92 ^{***}	0,94 ^{***}
V ₁₁ -V ₁₂	0,93 ^{***}	0,85 ^{**}	0,61 ^{ns}	0,96 ^{***}	0,89 ^{**}
V ₁₄ -V ₁₆	0,87 ^{**}	0,88 ^{**}	0,34 ^{ns}	0,95 ^{***}	0,92 ^{***}
R ₁	0,86 ^{**}	0,82 ^{**}	0,35 ^{ns}	0,93 ^{***}	0,94 ^{***}
R ₂	0,83 ^{**}	0,79 ^{**}	0,49 ^{ns}	0,90 ^{***}	0,97 ^{***}
R ₃	0,87 ^{**}	0,83 ^{**}	0,40 ^{ns}	0,94 ^{***}	0,94 ^{***}

¹Matéria seca da parte aérea, exceto grãos.

²Referente à mesma folha na qual foram realizadas as leituras com clorofilômetro.

³NH₄⁺ + NO₃⁻ no solo no início do florescimento.

*, **, ***: significativo a 10%, 5% e 1%, respectivamente; ^{ns}: não significativo.

As leituras SPAD obtidas a partir do estágio V₄-V₅ mostraram boa correlação com o rendimento de grãos de milho. Da mesma forma, as leituras tiveram alta correlação com a produção de MSPA e com os teores de N nos grãos e de N mineral no solo à época do florescimento. Em relação ao teor foliar de N no florescimento, não foram obtidas correlações significativas em nenhum estágio de desenvolvimento avaliado.

No trabalho realizado por Piekielek & Fox (1992), foram reportadas correlações entre a produtividade de grãos e as leituras do clorofilômetro no estágio V₆. Já Waskom et al. (1996) reportaram tal correlação só a partir do estágio V₁₀. Os resultados obtidos no presente trabalho sugerem que o clorofilômetro pode ser utilizado para o diagnóstico nutricional precoce das lavouras (estágio V₄-V₅). Em princípio, isso possibilitaria obter subsídios para melhor definir a quantidade de N a ser fornecida nas adubações de cobertura, com base no monitoramento do milho nos estádios iniciais críticos para a resposta ao nitrogênio.

Houve significância estatística para o efeito de doses de N na produtividade de grãos, MSPA, teor de N no grão e N mineral do solo (Tabela 4). Os teores foliares de N à época do florescimento não se diferenciaram segundo as doses testadas, mostrando, portanto, baixa eficiência da análise foliar em discriminar condições de suprimento de nitrogênio contrastantes. Os teores de N nos grãos apresentaram comportamento estatístico similar ao observado para a produtividade. Os valores de MSPA diferiram estatisticamente, sendo menores na dose 0N. O oposto foi observado para os teores de N mineral no solo à época de florescimento, havendo grande incremento na dose 500N.

A despeito das diferenças estatísticas (Tabela 4), a análise econômica das produtividades obtidas demonstrou, como seria previsível, que apenas o tratamento com 100 kg ha⁻¹ de N foi viável, apresentando um ganho da ordem de R\$ 167,70 por hectare em relação à não aplicação de N em cobertura.

TABELA 4. Produtividade de grãos de milho, matéria seca da parte aérea (MSPA), teores de N na folha, nos grãos e de N mineral no solo em resposta a doses de N em cobertura.

Tratamento	Produtividade (t ha ⁻¹)	MSPA (t ha ⁻¹)	Teor de N foliar (g kg ⁻¹)	Teor de N nos grãos (g kg ⁻¹)	N mineral (mg kg ⁻¹)
0 N	9,4 c	13,0 b	29,5 a	12,0 c	39 B
100 N	10,7 b	14,3 a	30,2 a	14,1 b	43 B
500 N	11,3 a	14,8 a	31,3 a	15,9 a	205 A
CV (%)	4,4	4,2	9,3	5,4	24

Considerando uma dose total de 121 kg ha⁻¹ de N aplicada, a lucratividade obtida foi muito próxima da relatada por Silva et al. (2005) para a dose de 120 kg ha⁻¹ de N (R\$ 173,02 por hectare). Chama atenção a magnitude relativamente pequena das respostas à adubação de cobertura, fato decorrente da elevada produtividade verificada no tratamento testemunha (0N). Além de esse tratamento ter recebido 21 kg ha⁻¹ de N na semeadura, o cultivo de milho em sucessão à soja é favorecido pelo maior suprimento do nutriente pelo solo, levando a uma menor demanda na adubação (Sousa & Lobato, 2004).

O modelo ajustado (Figura 3), considerando o tratamento sem limitação no suprimento de nitrogênio (500N), permitiu estimar um valor de leitura SPAD referencial para cada um dos estádios fenológicos, de V₂ a R₃, nas condições da lavoura estudada: 38,1; 44,8; 50,6; 55,6; 59,7; 62,9; 65,2; 66,7; 67,2; 66,9; e 65,6. A leitura no estágio de 3-4 folhas está próximo ao encontrado por Argenta et al. (2004) para condições brasileiras, entretanto, para os outros estádios vegetativos, os valores são discrepantes. Confirma-se, assim, que os índices SPAD são próprios ao híbrido e ao estágio fenológico, sendo necessário manter ressalvas, também, na sua interpretação para diferentes condições ambientais e de manejo da lavoura.

6 CONCLUSÕES

Sob condições controladas, o clorofilômetro foi sensível em detectar o estado nutricional do milho em relação ao nitrogênio na fase de pré-florescimento, discriminando condições variadas de disponibilidade do nutriente para solos com diferente granulometria, tendo sido observadas altas correlações com a produção de matéria seca.

Sob condições de lavoura, o medidor de clorofila mostrou-se sensível em indicar o estado nutricional do milho em resposta ao N, já a partir de estádios iniciais de desenvolvimento, viabilizando sua utilização para o diagnóstico nutricional precoce das lavouras e servindo como indicador da necessidade de adubação nitrogenada de cobertura.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.26, p.241-248, 2002.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; 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**, v.13, p.158-167, 2001

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; SANGOI, L. Leaf relative chlorophyll content as an indicator parameter to predict nitrogen fertilization in maize. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, p.1379-1387, 2004.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Nitrogênio total de um solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p.235-239, 1997.

BLACKMER, M.; SCHEPERS, J.S. Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. **Communications in soil Science and Plant Analysis**, v.25, p.1791-1800, 1994.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: Novais, R.F.; Alvares V.; V.H.; Barros, N.F.; Fontes, R.L.F.; Cantarutti, R.B.; Neves, J.C.L.. (Org.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p.375-470.

CANTARELLA, H.; DUARTE, A.P. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: GALVÃO, J.C.C.; MIRANDA, G.V (Ed.). **Tecnologias de produção do milho**. Viçosa, MG: UFV, 2004. p.139-182.

COSTA, C.; DWYER, L.M.; DUTILLEUL, P.; STEWART, D.W.; MA, B.L.; SMITH, D.L. Inter-relationships of applied nitrogen, SPAD, and yield of leafy and non-leafy maize genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, v.24, n.8, p.1173-1194, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa Solos. Embrapa Informática Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa, 1999. 370p. (Comunicação para Transferência de Tecnologia).

FANCELLI, A.L. **Nutrição e adubação do milho**. Piracicaba: USP/ESALQ, 2000. 43p.

FRANCIS, D.D.; PIEKIELEK, W.P. Assessing crop nitrogen needs with chlorophyll meters, 2003. Disponível em: <<http://www.ppi-far.org/ssmg>>. Acesso em: 25 out. 2007

FERREIRA, D.F. **SISVAR software**: versão 4.6. Lavras: UFLA/DEX, 2003. Software.

GODOY, L.J.G. de; BÔAS, R.L.V.; FILHO, H.G. Adubação nitrogenada na cultura do milho baseada na medida do clorofilômetro e no índice de suficiência em nitrogênio (ISN). **Acta Scientiarum Agronomy**, v.25, n.2, p.373-380, 2003.

GODOY, L.J.G. de; SOUTO, L.S.; FERNANDES, D.M.; VILLA BÔAS, R.L. Uso do clorofilômetro no manejo da adubação nitrogenada para milho em sucessão a pastagem de *Brachiaria decumbens*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, p.38-44, 2007.

MAHMOUDJAFARI, M.; KLUITENBERG, G.J.; HAVLIN, J.L.; SCHWAB, A.P. Spatial variability of nitrogen mineralization at field scale. **Soil Science Society America Journal**, v.61, p.1214-1221, 1997.

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

OLIVEIRA, S.A. de. Análise foliar. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2.ed. Planaltina, GO: Embrapa Cerrados, 2004. p.245-256.

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

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. Como a planta de milho se desenvolve. **Informações agronômicas**, Piracicaba, n.103, p.1-11, 2003.

SCHARF, P.; BROUDER, S.M.; HOEFT, R.G. Chlorophyll meter readings can predict nitrogen need and response of corn in the North-Central USA. **Agronomy Journal**, v.98, p.655-665, 2006.

SCHEPERS, J.S.; FRANCIS, D.D.; VIGIL, M.; BELOW, F.E. Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings. **Communications in soil Science and Plant Analysis**, v.23, p.2173-2187, 1992.

SCHRODER, J.J.; NEETESON, J.J.; OENEMA, O.; STRUIK, P.C. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? **Field Crops Research**, v.66, p.151-164, 2000.

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

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado**: correção do solo e adubação. Planaltina, GO: Embrapa Cerrados, 2004. 416p.

STOCKDALE, E.A.; GAUNT, J.L.; VOS, J. Soil-plant nitrogen dynamics: what concepts are required? **European Journal of Agronomy**, v.7, p.145-159, 1997.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 175p.

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 American Journal**, v.61, 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**, v.27, p.545-560, 1996.

WELSH, J.P.; WOOD, G.A.; GODWIN, R.J.; TAYLOR, J.C.; EARL, R.; BLACKMORE, S.; KNIGHT, S.M. Developing strategies for spatially variable nitrogen application in cereals. Part I: Winter barley. **Biosystems Engineering**, v.84, p.481-494, 2003.

ZOTARELLI, L.; CARDOSO, E.G.; PICCINI, J.L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; TORRES, E.; ALVES, B.J.R. Calibração do medidor de clorofila Minolta SPAD-502 para avaliação do conteúdo de nitrogênio do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.1117-122, 2003.

CAPÍTULO 3

HURTADO, Sandro Manuel Carmelino. Uso do clorofilômetro no ajuste de doses de nitrogênio em cobertura para o milho. In: _____. **Uso do clorofilômetro e de agricultura de precisão no manejo da adubação nitrogenada do milho**. 2008. Cap.3, p.49-66. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG*

1 RESUMO

As diversas reações de que o nitrogênio (N) participa dificultam a avaliação da sua disponibilidade para o milho. Assim sendo, os teores relativos de clorofila podem auxiliar, buscando a melhor sincronização entre as adubações e os estádios fenológicos com maior demanda de N. O estudo foi realizado com o objetivo de validar o uso do clorofilômetro, identificando e corrigindo as possíveis deficiências nutricionais, em relação ao nitrogênio, ao longo do ciclo da cultura do milho. Com esse propósito foram realizados dois experimentos em condições de lavoura, diferenciados pela ausência e presença de 1 t ha⁻¹ de corretivo calcário. Foram avaliados seis tratamentos correspondentes às doses de N testemunha, referência (condição que visa garantir a ausência de limitação quanto ao suprimento de N) e quatro doses destinadas ao manejo da adubação de cobertura, segundo o critério de índice de suficiência de nitrogênio (ISN). A nutrição das plantas em relação ao nitrogênio foi monitorada semanalmente com uso do clorofilômetro e avaliada a produtividade de grãos. Com base nos resultados, conclui-se que a presença do corretivo calcário potencializou a resposta do milho à adubação de cobertura, não obstante ter sido indicada, por meio do clorofilômetro, a mesma necessidade de fornecimento de N para ambos os experimentos. Foi observada também, uma superestimação na quantidade de nitrogênio em cobertura necessária para otimizar a produtividade do milho.

* Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Silva.

CHAPTER 3

HURTADO, Sandro Manuel Carmelino. Use of the chlorophyll meter in the fit of doses of nitrogen topdressing for corn. In: _____. **Chlorophyll meter and precision agriculture use in nitrogen sidedressing management for corn.** 2008. Chap.3, p.49-66. Thesis (Doctorate in Soil Science) - Federal University of Lavras, Lavras, MG*

2 ABSTRACT

The several reactions in which nitrogen (N) takes part affect the evaluation of N supply for corn plants. The relative contents of chlorophyll can be used to coincide the timing of N fertilization with the phenological stages where N is more required by corn. The study aimed to validate the use of the chlorophyll meter to identify and correct possible nutritional deficiencies in relation to nitrogen along the cycle of corn crop. With this purpose, two experiments under field conditions were carried out, distinguished by the absence and presence of 1 t ha⁻¹ of amendment limestone. Six treatments corresponding to the doses of N control, reference (aiming to warrant condition in which there would be no limit of nutrient availability) and the four doses intended to the management of topdressing according to the criterion of nitrogen sufficiency index (ISN) were evaluated. Plant nutrition relative to nitrogen was monitored weekly with use of the chlorophyll meter and grain yield were also evaluated. On the basis of the results, the presence of lime potentiated the response of corn to the N topdressing fertilization. Corn in both experiments required the same amount of N topdressing. An overestimation of N fertilization was also verified for corn with the use of SPAD meter.

* Adviser: Professor. Dr. Carlos Alberto Silva.

3 INTRODUÇÃO

O nitrogênio é o nutriente mais exigido pela cultura do milho (Vitti et al., 2003). Além de ser afetado por condicionantes ligados ao clima, ao relevo e ao manejo, o nutriente participa em diversas reações no solo, dificultando a avaliação da sua disponibilidade para as plantas (Cantarella & Duarte, 2004). É com base no entendimento dessa dinâmica que se busca definir as recomendações de adubação, baseadas na expectativa de produtividade, capacidade de suprimento de N pelo solo e eficiência de uso do adubo pela cultura (Sousa & Lobato, 2004).

A definição da quantidade de N a aplicar na adubação é realizada previamente à semeadura, sem monitoramento posterior à emergência das plantas. Assim sendo, maior eficiência nas adubações com N pode ser atingida melhorando-se a sincronização entre as aplicações do adubo e os estádios de maior demanda pelo milho, sobretudo para estádios iniciais (quatro folhas), quando é definido o potencial produtivo da cultura (Ritchie et al, 2003). Nesse sentido, diversos indicadores da disponibilidade de N no solo e na planta têm sido propostos (Schroder et al., 2000). Desses indicadores, os relacionados à planta merecem destaque pela capacidade de integrar os fatores relacionados ao solo e ao ambiente (Cantarella, 2007).

Em condições brasileiras, o monitoramento da disponibilidade de N para o milho, por meio de indicadores em planta, tem se baseado, principalmente, nas leituras do teor relativo de clorofila com uso do SPAD (Argenta et al., 2003; Argenta et al., 2004, Godoy et al., 2007). Não obstante, a utilização de leituras pré-determinadas para inferir a disponibilidade de N nos diversos estádios da cultura (Argenta et al., 2003; 2004) pode representar riscos, dadas as mudanças nas leituras entre locais, híbridos, estádios e anos (Waskom et al., 1996).

O estabelecimento de parcelas de referência com suficiente suprimento de N é uma maneira de contornar a ausência de significado direto das leituras com o clorofilômetro (Blackmer & Schepers, 1994), além de estabelecer valores pontuais para as condições locais. Assim, leituras inferiores a 95% do valor obtido nas parcelas referência indicariam uma situação de deficiência nutricional em N (Blackmer & Schepers, 1994; Varvel et al., 1997). Entretanto, respostas em produtividade contrastantes devido à aplicação de nitrogênio em cobertura, com uso do SPAD, têm sido relatadas (Varvel et al., 1997; Godoy et al., 2003).

O presente trabalho foi realizado com objetivo de validar o uso do clorofilômetro na identificação e na correção de deficiências de nitrogênio, ao longo do ciclo da cultura do milho, visando compatibilizar a quantidade do nutriente na adubação com a demanda da planta.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em lavoura de grãos sob condições de sequeiro, na Fazenda Alto Alegre (Planaltina de Goiás, GO), num talhão com sucessão milho-soja, sem preparo do solo há cinco anos. O talhão apresenta ocorrência expressiva de *Brachiaria decumbens* e outras gramíneas, as quais servem ao pastejo bovino nos períodos de pousio. O histórico de produtividades para os três últimos anos indica valores médios de 3,1; 8,8 e 3,5 t ha⁻¹, para os cultivos de soja, milho e soja, respectivamente.

A área apresenta Latossolo Vermelho-Amarelo, com teor de argila igual a 543 g kg⁻¹. As características químicas dos atributos do solo amostrados na camada de 0-0,2 m foram: MOS: 9 g dm⁻³; pH (água): 5,7; P (Mehlich 1): 9,0 mg dm⁻³; K: 0,5 cmol_c dm⁻³; Ca: 1,5 cmol_c dm⁻³; Mg: 0,5 cmol_c dm⁻³; Al: 0,1

cmol_c dm⁻³; CTC: 6,9 cmol_c dm⁻³ e V(%): 37. O milho, híbrido simples Pioneer 30F90[®], foi semeado em 6 de novembro de 2006.

Foram conduzidos, de forma conjunta, dois experimentos, diferenciados segundo a aplicação de 1 t ha⁻¹ de calcário dolomítico a lanço, sem incorporação, previamente ao plantio. A dose aplicada do corretivo tentou simular as práticas de manejo adotadas na região.

As parcelas compreenderam cinco linhas de 6 m de comprimento, espaçadas 0,7 m, com 5 plantas por metro linear. As avaliações foram feitas nas três linhas centrais, com bordaduras de 1 m nas extremidades, sendo o solo amostrado a 20 cm da linha de plantio. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados com três repetições. Foram avaliadas seis doses de N (0, 45, 90, 135, 180 e 500 kg ha⁻¹) em cobertura, aplicadas de forma contínua, a 20 cm da linha de plantio. As doses corresponderam aos tratamentos testemunha (0N), referência (500N) e quatro tratamentos destinados ao manejo da adubação de cobertura (45N, 90N, 135N e 180N) com uso do clorofilômetro, segundo o critério do Índice de Suficiência de Nitrogênio (ISN). O tratamento referência (500N) foi utilizado visando garantir condição na qual não haveria limitação de disponibilidade do nutriente.

O ISN foi obtido com o uso do clorofilômetro Minolta SPAD 502[®], a partir da relação entre as leituras do teor relativo de clorofila das parcelas destinadas ao manejo da adubação de cobertura e as leituras obtidas no tratamento referência (500N). Assim, alocou-se um número suficiente de parcelas experimentais, recebendo adubação de cobertura na dose de 45 kg ha⁻¹ de N quando o ISN fosse menor que 0,95. Acusada uma nova necessidade de aplicação de cobertura nitrogenada (ISN < 0,95), uma parcela era deixada sem aplicação, recebendo as restantes uma nova dose de 45 kg ha⁻¹ de N. O procedimento foi repetido até não serem acusadas novas necessidades de aplicação de cobertura nitrogenada (Figura 1). As coberturas foram realizadas 24

horas depois de obtidos os ISN. Para cada dose cumulativa, as leituras iniciaram-se na semana seguinte à aplicação que a completava.

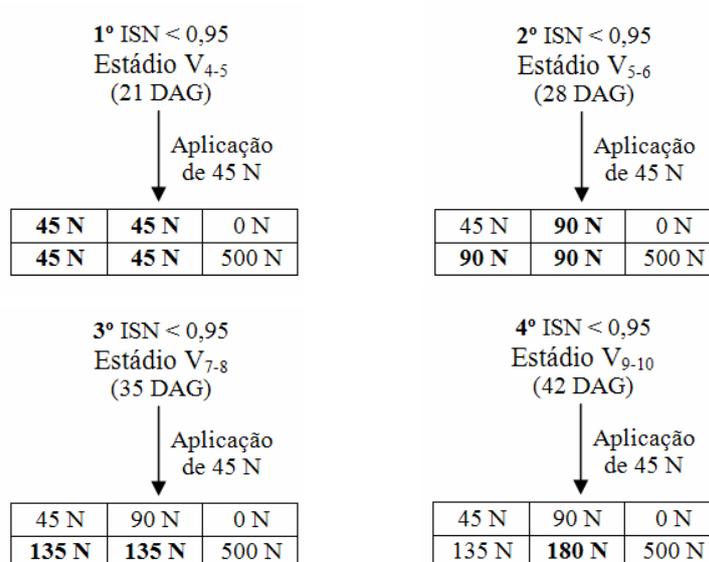


FIGURA 1. Esquema de parcelas destinadas ao manejo da adubação de cobertura nitrogenada (ISN = índice de suficiência de nitrogênio; DAG = dias após germinação).

A dose de 500 kg ha⁻¹ foi parcelada semanalmente, a partir do estágio V₂ (2 folhas totalmente expandidas), sendo fornecidos 50 kg ha⁻¹, na primeira aplicação e 75 kg ha⁻¹ nas seguintes (correspondendo aos estádios V₃₋₄; V₄₋₅; V₅₋₆; V₇₋₈; V₉₋₁₀ e V₁₁₋₁₂), até completar a dose total. O adubo nitrogenado de cobertura consistiu de uma mistura comercial de grânulos (1:1) de uréia e sulfato de amônio (33% N e 11% S), sendo a uréia revestida com inibidor de urease (NBPT). O adubo foi aplicado superficialmente.

Na adubação de plantio foram aplicados 350 kg ha⁻¹ do formulado NPK 06-23-18 (contendo 2; 4; 0,13; 0,09; 0,13 e 0,4% de Ca, S, B, Cu, Mn e Zn, respectivamente), fornecendo-se, portanto, 21, 80 e 63 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, para todos os tratamentos. A semeadura de milho e outros tratamentos culturais foram realizados com insumos, maquinário e procedimentos operacionais da fazenda.

O estado nutricional das plantas em relação ao nitrogênio foi monitorado semanalmente, ao longo dos estádios de desenvolvimento do milho (Ritchie, 2003), com uso do clorofilômetro SPAD, iniciando-se as leituras no estágio de duas folhas (V₂) e finalizando-as três semanas após o florescimento feminino (R₃). Em cada época, foram obtidas dez leituras por parcela, em cinco plantas marcadas, sendo uma leitura de cada lado do limbo foliar, desconsiderando a nervura central e as margens no terço médio da folha (Argenta et al., 2001). As leituras foram realizadas na última folha totalmente expandida, nos estádios prévios ao florescimento e, na folha indicadora (abaixo e oposta à espiga), a partir do florescimento.

Os dados pluviométricos referentes ao período de avaliação experimental são apresentados na Figura 2.

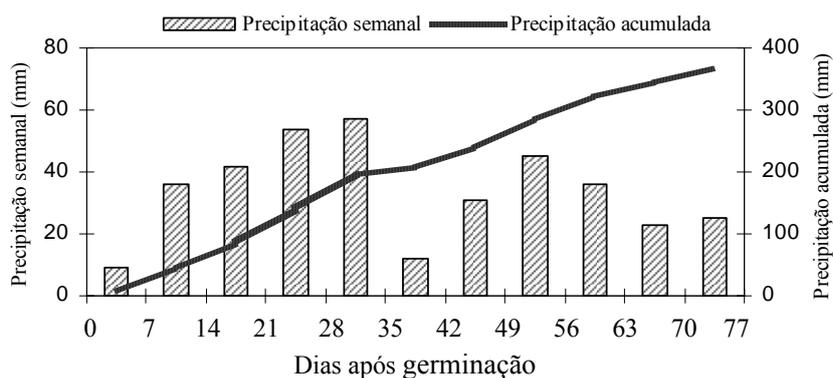


FIGURA 2. Dados pluviométricos referentes ao período de avaliação experimental.

Na fase de florescimento, em cinco pontos nas parcelas, foram realizadas amostragens de solo, na profundidade de 0-20 cm. Na colheita, foi quantificada a produção de grãos (a 13 % de umidade).

Os dados foram submetidos a análises de variância por meio do programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2003), determinando-se modelos de regressão para as doses de N avaliadas.

A análise econômica consistiu da determinação dos incrementos em produtividade devido à adubação de cobertura (45, 90, 135, 180 e 500 kg ha⁻¹ de N) e cálculo das respectivas receitas líquidas, considerando-se as cotações da saca de 60 kg de milho (R\$ 24,00), da tonelada do fertilizante nitrogenado (R\$ 933,00) e da tonelada do corretivo calcário (R\$ 38,00), em maio de 2007. Não foram incluídos no cálculo os custos relativos às aplicações da adubação de cobertura e do corretivo. A equivalência dos valores, em dólar, pode ser obtida com base na cotação de R\$ 1,77 para o dólar americano (US\$).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Resposta do milho à adubação de cobertura

Segundo o critério do índice de suficiência de nitrogênio (ISN) de 0,95 para as leituras do clorofilômetro (Blackmer & Schepers, 1995; Varvel et al., 1997; Godoy et al., 2003), ao longo da fase de crescimento vegetativo do milho, foram necessárias quatro aplicações consecutivas (a cada 7 dias) de 45 kg ha⁻¹ de N, até que os ISN se estabilizassem em valores iguais ou superiores a 0,95 (Figura 3). Portanto, somente quando as aplicações em cobertura chegaram a 180 kg ha⁻¹ de N, as leituras SPAD aproximaram-se das obtidas nas parcelas referência, cujas adubações em cobertura totalizaram 500 kg ha⁻¹ de N.

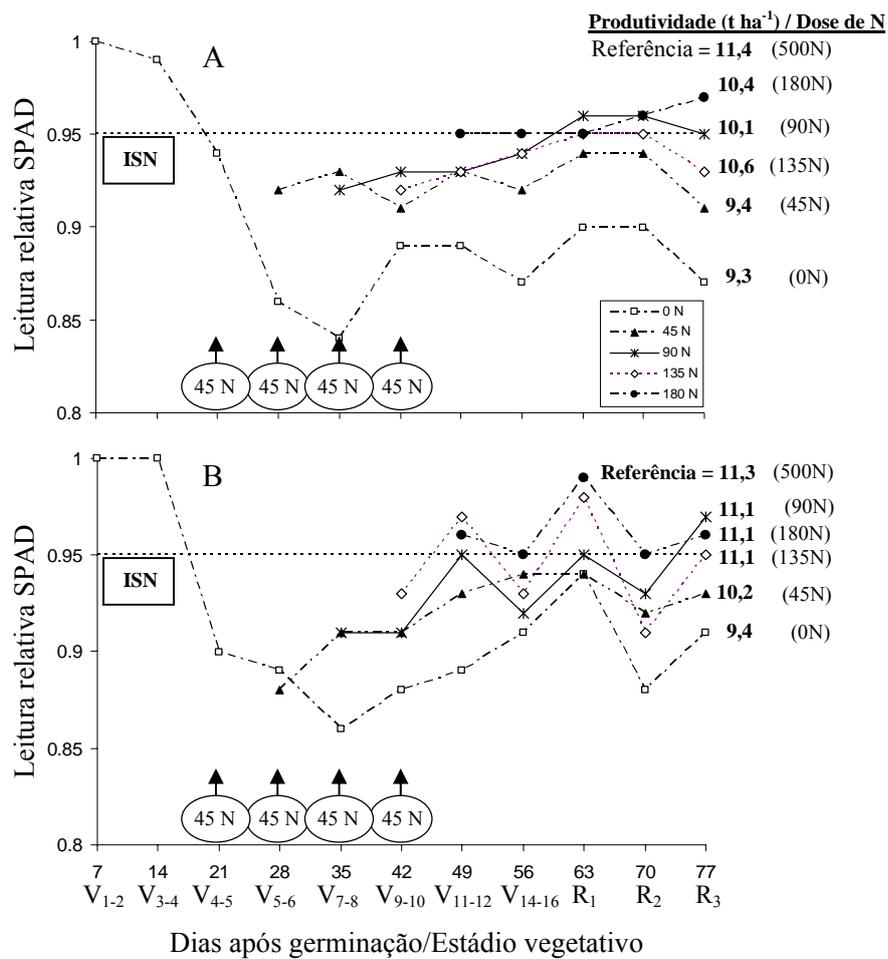


FIGURA 3. Dados de precipitação semanal e leituras relativas SPAD (tratamento referência = 1,0) ao longo dos estádios de desenvolvimento do milho em resposta a doses de N em cobertura, na ausência (A) e na presença (B) de calcário. As elipses indicam as épocas de aplicação com base no ISN. Para cada dose cumulativa, as leituras iniciaram-se na semana seguinte à aplicação a completava.

A demanda de N indicada pelo clorofilômetro foi a mesma para os experimentos sem e com calcário aplicado em superfície, embora a diferença de magnitude das respostas nas duas situações tenha sido considerável (Figura 3).

A partir das doses crescentes de N fornecidas aos tratamentos de manejo da cobertura com o clorofilômetro e do tratamento referência, foram ajustados os modelos de resposta em produtividade de grãos apresentados na Figura 4. Em ambos os experimentos, com ausência ou presença de calcário, houve efeito significativo de doses, conferindo produtividades máximas estimadas de 11,4 e 11,9 t ha⁻¹, respectivamente.

Comparando-se os padrões de resposta nos dois experimentos, observam-se ganhos de produtividade consistentemente maiores na presença de calcário (Figura 4), embora se igualem na dose máxima de N (500 kg ha⁻¹). Em valores absolutos (Tabela 1), na dose de 90 kg ha⁻¹, o milho produziu 1 t ha⁻¹ de grãos a menos na ausência do corretivo. Essa diferença é compreensível, devido à condição de acidez moderada do solo na área de estudo (Tabela 2), com saturação por bases abaixo da considerada ideal (V = 50%) para a região do Cerrado (Sousa & Lobato, 2004).

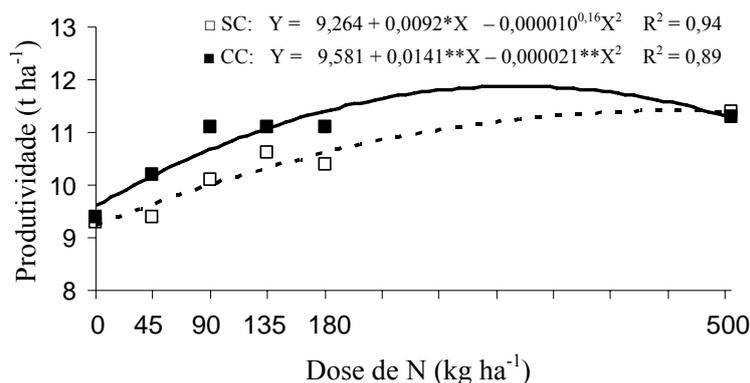


FIGURA 4. Produtividade de grãos em resposta a doses de nitrogênio em cobertura, na ausência (SC) e na presença (CC) de calcário.

TABELA 1. Produtividade de grãos do milho, eficiência relativa e receita líquida decorrentes de doses crescentes de N em cobertura, na ausência e na presença de calcário.

Doses de N	Produtividade (t ha ⁻¹)		Produção relativa (%)		Receita líquida (R\$ ha ⁻¹)	
	Sem calcário	Com calcário	Sem calcário	Com calcário	Sem calcário	Com calcário
0	9,3	9,4	81,6	83,2	---	---
45	9,4	10,2	82,5	90,3	-87,2	154,8
90	10,1	11,1	88,6	98,2	65,6	387,6
135	10,6	11,1	93,0	98,2	138,3	260,3
180	10,4	11,1	91,2	98,2	-68,9	133,1
500	11,4	11,3	100,0	100,0	-573,7	-691,7

A estimativa das doses econômicas (considerando a relação entre o preço do kg de N e o kg de milho), na ausência e na presença de calcário, foi de 105 e 164 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. A diferença observada refere-se à maior resposta do milho na presença do corretivo, evidenciando, por sua vez, um maior ponto de máximo retorno. Tal fato confere grande vantagem à prática de aplicação superficial moderada de calcário no sistema de manejo adotado na fazenda, sobretudo pelo custo relativamente baixo do corretivo (R\$ 38,00 t⁻¹), comparativamente ao preço do fertilizante nitrogenado (R\$ 933,00 t⁻¹). Assim, para a obtenção de uma produtividade igual a 10 t ha⁻¹, seriam necessários 89 e 31 kg ha⁻¹ de N, na condição de ausência e presença do corretivo calcário.

Tomando como referência a produtividade obtida no tratamento em que não haveria limitação no suprimento de nitrogênio (500N), observa-se que a produção relativa de cada dose de N foi menor na ausência do calcário (Tabela 1). Isso sugere a ocorrência de um efeito sinérgico, no qual as alterações induzidas pelo calcário, nas condições da lavoura estudada, levariam também a um maior aproveitamento da adubação nitrogenada pelo milho.

TABELA 2. Atributos químicos do solo utilizado no experimento nos estádios correspondentes à emergência e ao florescimento do milho.

Estádio	pH (água)	Ca	Mg	H+Al ----- (cmol _c dm ⁻³) -----	T	V (%)
Solo original	5,7	1,5	0,5	4,4	6,9	37
Solo no florescimento (sem calcário)	5,5	2,2	0,6	3,7	6,8	46
Solo no florescimento (com calcário)	5,8	2,8	0,8	3,0	6,8	56

As diferenças de resposta nos dois experimentos são reforçadas quando se avaliam as receitas proporcionadas pela adubação de cobertura (Tabela 1). Dada a produtividade relativamente elevada no tratamento sem cobertura, os incrementos de produção decorrentes da aplicação de N foram suficientes para cobrir os custos do fertilizante apenas entre as doses de 90 e 135 kg ha⁻¹ de N no experimento sem calcário, diferente do observado quando da utilização do corretivo. Neste caso, o maior retorno econômico foi proporcionado pela dose de 90 kg ha⁻¹ de N.

A influência do corretivo na maior resposta do milho à adubação de cobertura pode estar relacionada a diversos efeitos favoráveis, dentre eles, aumento do pH, da saturação por bases e da disponibilidade de cálcio e magnésio como nutrientes, e melhoria do equilíbrio de bases, considerando os elevados teores de potássio no solo. Em conjunto, esses efeitos promovem o crescimento radicular do milho, fator condicionante da capacidade de absorção de N (Sousa & Lobato, 2004). É também possível que tenha havido estímulo à atividade de microrganismos envolvidos no processo de mineralização do N (Silva et al., 1994; Moreira & Siqueira, 2006), favorecendo seu aproveitamento pela cultura.

5.2 Uso do clorofilômetro no ajuste da dose de N em cobertura

O comportamento das curvas de leituras do clorofilômetro ao longo do ciclo do milho foi similar para as diferentes doses de N monitoradas, apresentando, contudo, diferenças na magnitude dos valores conforme o fornecimento do nutriente (Figura 5). No decorrer dos estádios vegetativos, verificaram-se leituras crescentes, as quais tenderam a estabilizar-se próximas a um patamar máximo a partir do estágio de pré-florescimento (V₁₄-V₁₆), corroborando os dados obtidos por Godoy et al. (2003) e Argenta et al. (2004). Tal comportamento pode ser explicado em função de os máximos teores de clorofila em folha serem atingidos pela cultura do milho nesse estágio de desenvolvimento (Costa et al., 2001).

Observa-se que a dose 0N e o tratamento referência (500N) proporcionaram valores contrastantes de leitura SPAD (Figura 5), permitindo detectar precocemente, com base num ISN de 0,95, a necessidade de adubação de cobertura no estágio V₄-V₅, aos 21 dias após a germinação (Figura 3). Tal fato é relevante em áreas sob sequeiro, possibilitando a aplicação de coberturas em estádios iniciais, sem danificar o cultivo devido à aplicação mecanizada do insumo. Necessidades de cobertura baseadas em ISN de 0,95 têm sido relatadas a partir dos estádios V₇ (Godoy et al., 2003), V₈ (Varvel et al., 1997) e V₁₀ (Waskom et al., 1996), situação que viabiliza as aplicações de N em cobertura em áreas de cultivo irrigado.

Verifica-se que, em condições intermediárias de suprimento de N (doses 45N a 180N), as diferenças de leitura SPAD são menos perceptíveis (Figura 5).

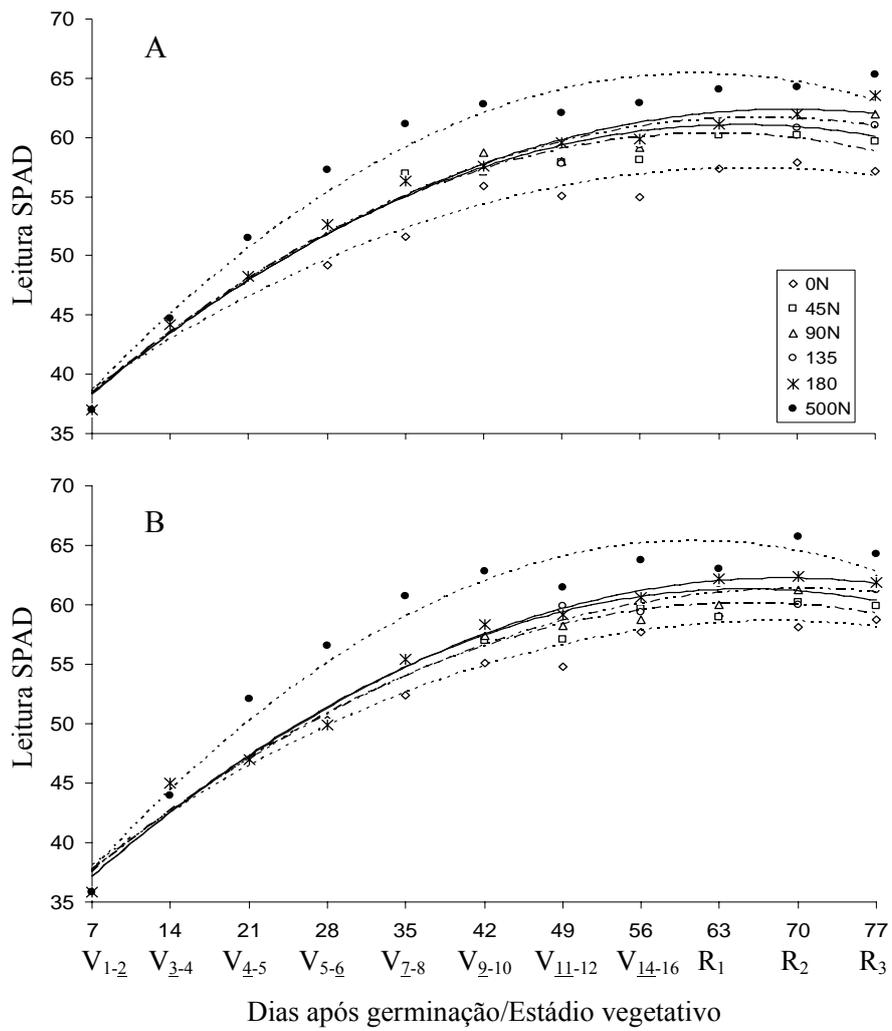


FIGURA 5. Leituras SPAD obtidas ao longo dos estádios de desenvolvimento do milho a partir do fornecimento de doses crescentes de N em cobertura, nos experimentos, sem (A) e com (B) calcário.

Esse aspecto comprova a necessidade de se estabelecerem parcelas referência como forma de viabilizar o uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de realização ou não da cobertura nitrogenada (Blackmer & Schepers, 1995). No presente estudo, o confronto das leituras tomadas nas parcelas de manejo da adubação de cobertura com as obtidas na parcela referência, considerando o ISN de 0,95, apontou a necessidade de quatro aplicações de 45 kg ha^{-1} de N ao longo da fase vegetativa do milho (Figura 3), totalizando um aporte de 180 kg ha^{-1} . No entanto, a resposta em produtividade de grãos não foi proporcional à quantidade de N fornecida em cobertura (Figura 4, Tabela 1), o que corrobora os dados obtidos por Varvel et al. (1997), em áreas cultivadas com a sucessão milho-soja, onde as produtividades foram pouco influenciadas após a aplicação de 50 kg ha^{-1} de N.

Assim sendo, sobretudo se for considerada a necessidade de N para o maior retorno econômico (135 e 90 kg ha^{-1} de N, nos experimentos sem e com calcário), depreende-se que o uso do clorofilômetro não permitiu o ajuste fino da dosagem, levando a uma superestimativa da quantidade de N a ser aplicada.

As razões para essa dissonância entre as medidas dos teores relativos de clorofila indicadas pelo SPAD e as respostas do milho em produtividade não ficaram claras. Uma possibilidade é que o limite de ISN utilizado (0,95) não seria o mais adequado ao longo do ciclo da cultura. A necessidade de melhor ajuste do limite de ISN em função do estágio tem sido sugerida por diversos autores (Piekielek et al., 1995; Godoy et al., 2003). Nesse sentido, um limite de 0,90 poderia ser considerado a partir do estágio V_8 (Figura 3). Já, de acordo com Varvel et al. (1997), índices menores do que 0,90 a partir desse estágio poderiam comprometer definitivamente as produtividades.

Outra razão poderia estar vinculada ao tempo necessário para a planta assimilar o nutriente, sendo possível obter respostas diferenciadas se forem considerados intervalos de tempo maiores que o intervalo semanal adotado entre

as leituras SPAD. Nesse sentido, ressaltam-se as condições de regime hídrico favorável durante a execução do presente estudo (Figura 2), descartando-se a possibilidade de perdas do adubo por volatilização para um determinado período experimental, contribuindo também o fato de o adubo apresentar revestimento com inibidor de urease.

6 CONCLUSÕES

O monitoramento das plantas com uso do clorofilômetro, baseado no índice de suficiência de nitrogênio, indicou necessidade de fornecimento de 180 kg ha⁻¹ de N em cobertura, tanto na ausência quanto na presença de calcário aplicado em superfície.

A presença do corretivo calcário potencializou a resposta do milho à adubação de cobertura, sendo a correção das deficiências de N otimizada quando realizada a correção da acidez do solo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; 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**, v.13, p.158-167, 2001.

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**, v.27, p.109-119, 2003.

- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; SANGOI, L. **Leaf relative** chlorophyll content as an indicator parameter to predict nitrogen fertilization in maize. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.5, p.1379-1387, 2004.
- BLACKMER, M.; SCHEPERS, J.S. Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. **Communications in Soil Science an Plant Analysis**, v.25, p.1791-1800, 1994.
- 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.
- CANTARELLA, H.; DUARTE, A.P. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: GALVÃO, J.C.C.; MIRANDA, G.V. **Tecnologias de produção do milho**. Viçosa, MG: UFV, 2004. p.139-182.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: Novais, R.F.; Alvares V.; V.H.; Barros, N.F.; Fontes, R.L.F.; Cantarutti, R.B.; Neves, J.C.L.. (Org.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p.375-470.
- COSTA, C.; DWYER, L.M.; DUTILLEUL, P.; STEWART, D.W.; MA, B.L.; SMITH, D.L. Inter-relationships of applied nitrogen, SPAD, and yield of leafy and non-leafy maize genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, v.24, n.8, p.1173-1194, 2001.
- FERREIRA, D.F. **SISVAR software**: versão 4.6. Lavras: UFLA/DEX, 2003. Software.
- GODOY, L.J.G. de; VILLAS BÔAS, R.L; GRASSI FILHO, H. Adubação nitrogenada na cultura do milho baseada na medida do clorofilômetro e no índice de suficiência em nitrogênio (ISN). **Acta Scientiarum, Agronomy**, Maringá, v.25, n.2, p.373-380, 2003.
- GODOY, L.J.G. de; SOUTO, L.S.; FERNANDES, D.M.; VILLA BÔAS, R.L. Uso do clorofilômetro no manejo da adubação nitrogenada para milho em sucessão a pastagem de *Brachiaria decumbens*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, p.38-44, 2007.
- MOREIRA, F.M de S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 729p.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. Como a planta de milho se desenvolve. **Informações agronômicas**, Piracicaba, n.103, p.1-11, 2003.

SCHRODER, 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**, v.66, p.151-164, 2000.

SILVA, C.A.; VALE, F.R.; GUILHERME, L.R.G. Efeito da calagem na mineralização do nitrogênio em solos de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, p.471-476, 1994.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado**: correção do solo e adubação. Planaltina, GO: Embrapa Cerrados, 2004. 416p.

PIEKIELEK, W.P.; FOX, R.H.; TOTH, J.D.; MACNEAL, K.E. Use of a chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate nitrogen sufficiency. **Agronomy Journal**, Madison, v.87, n.3, p.403-408, 1995.

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

VITTI, G.C.; TEIXEIRA, L.H.B.; BARROS JR., M.C. Diagnóstico da fertilidade do solo e adubação para alta produtividade de milho. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. (Ed.). **Milho**: estratégias de manejo para alta produtividade. Piracicaba: ESALQ/USP/LPV, 2003. p.174-197.

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**, New York, v.27, n.3-4, p.545-560, 1996.

CAPÍTULO 4

HURTADO, Sandro Manuel Carmelino. Variação espacial das respostas do milho à adubação nitrogenada em lavoura no Cerrado. In: _____. **Uso do clorofilômetro e de agricultura de precisão no manejo da adubação nitrogenada do milho**. 2008. Cap.4, p. 67-89. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG*

1 RESUMO

O manejo do nitrogênio é influenciado por diversos fatores, os quais podem padrões de distribuição espacial. Dessa maneira, o manejo do N em taxas variadas pode auxiliar na obtenção de altas produtividades para a cultura do milho. O estudo objetivou relacionar, numa perspectiva espacializada, a produtividade de grãos e as variáveis indicadoras do suprimento de N para o milho, em resposta a doses do nutriente na adubação de cobertura. Nesse sentido, foram testadas, sob condições de lavoura, quatro doses de N em parcelas experimentais correspondentes a faixas de 12,6 m x 1200 m. As avaliações foram feitas em 11 locais georreferenciados, distanciados a cada 100 m ao longo da cada parcela experimental. O estado nutricional da planta em nitrogênio foi monitorado com uso do clorofilômetro nos estádios fenológicos V_8 e V_T , correspondentes aos 25 dias antes do florescimento e ao florescimento, respectivamente. Foram determinados os teores de N mineral e de matéria orgânica em solo, os teores de N em folha, em grão e a produtividade. Foi realizada análise estatística clássica e espacial. Os resultados permitiram indicar uma dose ótima de cobertura igual a 143 kg ha^{-1} de N. Foram constatados também menores coeficientes de correlação entre a leitura SPAD, N foliar e produtividade, quando considerada sua variabilidade espacial. A interpretação conjunta dos mapas de leitura SPAD e de produtividade permitiu identificar subáreas com menor capacidade de suprimento de N pelo solo, fornecendo subsídios à delimitação de zonas para o manejo sítio-específico do nitrogênio.

* Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Silva.

CHAPTER 4

HURTADO, Sandro Manuel Carmelino. Spatial variation of the responses of corn to nitrogen fertilization in crop on the Cerrado. In: _____. **Chlorophyll meter and precision agriculture use in nitrogen sidedressing management for corn**. 2008. Chap.4, p. 67-89. Thesis (Doctorate in Soil Science) – Federal University of Lavras, Lavras, MG*

2 ABSTRACT

Nitrogen management is influenced by a number of factors, which present spatial variation. In that way, N management at different rates can help obtain high corn yields. The study aimed to relate, in a spatialized perspective, grain yield and variables indicating the N supply for corn, in response to the doses of the nutrient in sidedressing. In this sense, four doses of N were tested under field conditions, in experimental plots corresponding strips of 12.6m x 1,200 m. The evaluations were obtained in 11 georeferenced sites, 100 m apart along each experimental plot. Nitrogen nutrition was monitored with use of the chlorophyll meter in the phonological stages V_8 and V_T , corresponding to the 25 days before flowering and at flowering. The contents of mineral N and organic matter in soil, leaf N, grain N and yield were determined. The classic and spatial statistical analyses were performed. The results allowed to indicate an optimum dose of topdressing of 143 kg ha^{-1} of N. Lower correlation coefficients among leaf SPAD reading, leaf N and yield, when its spatial variability is considered, were also observed. The joint interpretation of the maps of SPAD reading and yield allowed to identify sub-areas with smaller N supply capacity by soil, allowing the delimitation of zones for site-specific management of nitrogen.

* Adviser: Professor Dr. Carlos Alberto Silva.

3 INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes mais limitantes à obtenção de altas produtividades de milho e as recomendações de adubação dependem de diversos fatores. Os principais aspectos a considerar estão ligados à estimativa de três parâmetros: extração/exportação do nutriente pela cultura, capacidade do solo em suprir N e índice de aproveitamento do fertilizante nitrogenado pelas plantas (Sousa & Lobato, 2004).

Assim, os critérios para definir a quantidade de N a ser fornecida costumam ser baseados na expectativa de rendimento, no histórico da área, no teor de matéria orgânica do solo (MOS), no tipo de solo, no uso ou não de adubos verdes e nos teores de N mineral ou potencialmente mineralizável (Amado et al., 2002; Cantarella & Duarte, 2004). O uso de irrigação (Souza et al., 2003), a densidade de plantio adotada (Amaral Filho et al., 2005) e a relação C/N da cultura anterior (Vitti et al., 2003) também influenciam na dose ótima do nutriente.

A quantidade de 20 kg de N tem sido apontada como o requerimento do milho para a produção de cada tonelada de grãos (Fancelli, 2000; Sousa & Lobato, 2004). Contudo, a máxima eficiência agrônômica pode não coincidir com esse pressuposto, como evidenciado por Silva et al. (2005). As recomendações de N em cobertura apresentam variações para os diferentes estados, sendo indicadas, de acordo com os critérios regionais, doses que vão de 20 a 180 kg ha⁻¹ (Raij et al., 1996; Alves et al., 1999; Sousa & Lobato, 2004). Essa amplitude de variação reflete a diversidade de ambientes nos quais o milho é cultivado no país e a complexidade dos fatores que influenciam a disponibilidade de N no solo e a eficiência das adubações, o que dificulta sobremaneira a tomada de decisão para o manejo do nutriente.

A consideração das condições médias da lavoura para definir a adubação, comumente, leva ao aparecimento de locais com sub ou superfertilização, o que pode resultar em variações de até 50% no rendimento de grãos dentro do talhão (Kitchen et al., 1995). Padrões de variação espacial podem ser igualmente evidenciados nos fatores relacionados ao potencial suprimento de N pelo solo como, por exemplo, nos teores de nitrato e MOS (Ferguson et al., 1995, Machado et al., 2004) e de N potencialmente mineralizável (Mahmoudjafari et al., 1997), o que certamente implica mudança na quantidade de N-fertilizante requerida pelas plantas em diferentes locais da lavoura. Desse modo, espera-se que aplicações diferenciadas de fertilizantes nitrogenados, dimensionadas segundo critérios espacializados, possam levar a uma maior eficiência de uso do N do solo, além de minimizar as perdas de fertilizantes por volatilização e lixiviação (Garcia & Daverede, 2007).

Dada a interferência de diversos fatores ligados ao clima, relevo, tipo de solo, manejo, genótipo, bem como de suas interações, a predição da quantidade de N necessária e da resposta produtiva do milho é dificultada. Nesse cenário, mesmo havendo existência de variabilidade espacial da produtividade (Welsh et al., 2003), existem entraves à adoção do manejo do N em taxas variáveis. De qualquer forma, os esforços nesse sentido passam, necessariamente, pela obtenção de informações que possibilitem melhor reconhecimento dos principais fatores condicionantes em âmbito local, ou seja, em cada talhão de cultivo.

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de relacionar, numa perspectiva espacializada, a produtividade de grãos e variáveis indicadoras do suprimento de N para o milho, em resposta a doses do nutriente na adubação de cobertura, sob condições de lavoura na região do Cerrado.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em lavoura de grãos, sob condições de sequeiro, na fazenda Alto Alegre (Planaltina de Goiás, GO), num talhão com sucessão milho-soja, sem preparo do solo há cinco anos. O talhão apresenta ocorrência expressiva de *Brachiaria decumbens* e outras gramíneas, as quais servem ao pastejo bovino nos períodos de pousio. O histórico de produtividades para os três últimos anos tem indicado valores médios de 3,1; 8,8 e 3,5 t ha⁻¹, para os cultivos de soja, milho e soja, respectivamente.

O solo, classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, apresentou composição granulométrica com média de 547 g kg⁻¹ de argila e os seguintes atributos químicos na camada de 0-0,2 m, antes do plantio do milho: MOS = 24 g dm⁻³; pH (água) = 5,7; P(Mehlich) = 6,1 mg dm⁻³; K = 195 mg dm⁻³; Ca = 2,1 cmol_c dm⁻³; Mg = 0,7 cmol_c dm⁻³; CTC = 6,5 cmol_c dm⁻³ e V = 50%. O milho, híbrido simples Pioneer 30F90[®], safra 2006-2007, foi semeado em 16 de novembro de 2006.

Utilizou-se o delineamento de blocos casualizados, com três repetições, sendo testadas quatro doses de N (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹), em cobertura. Para cada dose, cada repetição compreendeu 18 fileiras (correspondentes a três passadas de semeadora), espaçadas de 0,7 m, com 5 plantas por metro linear e 1.200 m de comprimento, abrangendo 15.120 m² e uma área experimental total de 18,1 hectares.

Na adubação de plantio foram aplicados 350 kg ha⁻¹ do formulado 06-23-18 (contendo, ainda, 2; 4; 0,13; 0,09; 0,13 e 0,4% de Ca, S, B, Cu, Mn e Zn, respectivamente), fornecendo-se, portanto, 21, 80 e 63 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O. As coberturas nitrogenadas iniciaram-se no estágio de quatro folhas, sendo a dose de 100 kg ha⁻¹ de N correspondente à adubação praticada rotineiramente na

fazenda. Os tratamentos de 200 e 300 kg ha⁻¹ de N foram parcelados em doses de 100 kg ha⁻¹ aplicadas em intervalos semanais, correspondendo aos estádios V₅-V₆ e V₆-V₇, respectivamente. O adubo nitrogenado consistiu de uma mistura comercial de grânulos (1:1) de uréia e sulfato de amônio (33% N e 11% S), sendo a uréia revestida com inibidor de urease (NBPT). O adubo foi aplicado por incorporação a cerca de 5 cm no solo. Todos os tratos culturais foram realizados com insumos, maquinário e procedimentos operacionais da fazenda.

O estado nutricional das plantas em relação ao nitrogênio foi monitorado com uso do clorofilômetro SPAD 502[®] da Minolta, nos estádios fenológicos V₈ e V_T (Ritchie et al., 2003). Para cada época e parcela experimental, foram obtidas leituras SPAD nas linhas centrais, em 11 locais georreferenciados, distanciados a cada 100 m ao longo do comprimento da parcela. Em cada local, 10 leituras foram realizadas em cinco plantas escolhidas aleatoriamente, num raio de dois metros, sendo uma de cada lado do limbo foliar, desconsiderando a nervura central e as margens, no terço médio da folha (Argenta et al., 2001). Avaliaram-se a primeira folha totalmente expandida a partir do ápice da planta no estádio V₈, e a folha indicadora (abaixo e oposta à espiga) no estádio V_T.

Cabe ressaltar que o regime hídrico foi constante durante o período de avaliação experimental (ver Figura 2, capítulo 3), tendo favorecido o tempo de reação entre a última cobertura aplicada e a primeira data de avaliação.

Na fase de florescimento, em cinco pontos para cada um dos 11 locais em cada parcela experimental, foram realizadas amostragens de solo de 0 a 20 cm de profundidade, para a determinação de amônio e nitrato (N mineral) e MOS (Tedesco et al., 1995), e de folhas indicadoras, as mesmas utilizadas nas leituras SPAD, para análises de tecido (Malavolta et al., 1997). Por essa metodologia, também foram determinados os teores de N nos grãos em amostras obtidas durante a colheita mecanizada das seis linhas centrais da parcela experimental, nos 11 locais de amostragem previamente georreferenciados.

A colheita foi realizada com uso de colhedora equipada com sensor de produtividade, ajustando-se a umidade a 130 g kg^{-1} . A produtividade final de grãos nas parcelas foi obtida após filtragem dos dados brutos, conforme proposto por Menegatti & Molin (2004). As produtividades, nos 11 locais de amostragem em cada parcela, foram estimadas considerando-se a média dos dados num raio de 12 m do ponto georreferenciado.

Foram efetuadas análises estatísticas clássica e espacial. Na clássica, os dados foram submetidos às análises descritivas e de variância, por meio do programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2003), sendo determinados modelos de regressão para as variáveis de interesse. Coeficientes de correlação de Pearson foram obtidos com o programa SAS (SAS Institute, 2000).

Na análise espacial, trabalhou-se com geoestatística, utilizando-se o programa Vesper (Minasny et al., 2002) e considerando os dados das variáveis avaliadas nos locais amostrais georreferenciados, para cada uma das quatro doses de N testadas. Ajustaram-se modelos de semivariograma esférico, gaussiano e exponencial (Cressie, 1991), escolhendo aquele com a menor soma de quadrados dos erros ou com o menor critério de informação de Akaike (Webster & McBratney, 1989). O grau de dependência espacial foi obtido segundo Cambardella et al. (1994). Após interpolação por krigagem, foram confeccionados mapas de superfície, com auxílio do programa ArcView 3.2.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Respostas médias à adubação de cobertura

As doses de N influenciaram significativamente as variáveis em estudo, apresentando, na maioria dos casos, ajuste de modelos quadráticos (Figura 1).

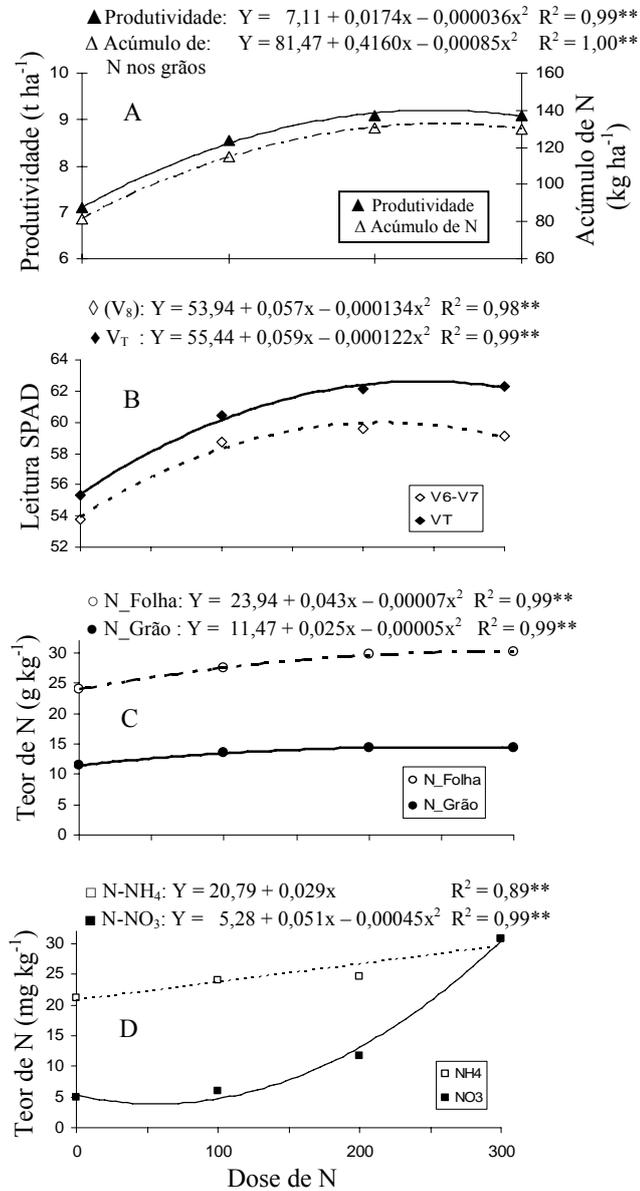


FIGURA 1. Dados médios de produtividade e acúmulo de N nos grãos (A), leituras SPAD nos estádios V₈ e V_T (B), teores de N foliar e nos grãos (C), e teores de amônio e nitrato no solo (d), em função de doses de N na adubação de cobertura do milho.

À estimativa da produtividade máxima de grãos ($9,2 \text{ t ha}^{-1}$) correspondeu a dose de 242 kg ha^{-1} de N, enquanto a dose econômica (considerando a relação entre o preço do kg de N e o kg de milho) seria de apenas 143 kg ha^{-1} (Figura 1A). Pode-se observar, ainda, que a variação das médias de produtividade obtidas sem ou com adubação de cobertura foi de magnitude relativamente baixa e praticamente inexistente entre as doses de 200 e 300 kg ha^{-1} de N. Essas mesmas tendências são verificadas quanto ao acúmulo de N nos grãos (Figura 1A).

A resposta pouco expressiva do milho à adubação de cobertura no presente caso pode ser atribuída ao patamar de produtividade já bastante elevado ($7,11 \text{ t ha}^{-1}$) no tratamento sem N em cobertura. Além de esse tratamento ter recebido 21 kg ha^{-1} de N na semeadura, o sistema de sucessão com soja favorece o suprimento do nutriente, comparativamente ao monocultivo de milho, levando a um menor potencial de resposta à adubação nitrogenada.

De acordo com os resultados, para uma produtividade máxima econômica estimada de $8,86 \text{ t ha}^{-1}$, a razão de fornecimento de N na adubação foi equivalente a $11,6 \text{ kg de N por tonelada de grãos produzida}$. Percebe-se que essa quantidade de N é bem menor que a referência de demanda do nutriente de 20 kg t^{-1} de grãos indicada na literatura (Fancelli, 2000; Sousa & Lobato, 2004), o que confirma a importante contribuição do solo para o suprimento de N ao milho no talhão em estudo.

A produtividade obtida no tratamento testemunha, para este ensaio ($7,11 \text{ t ha}^{-1}$), foi menor às observadas nos ensaios anteriores ($9,3$ a $9,4 \text{ t ha}^{-1}$), nos quais foi avaliada a produtividade em parcelas experimentais. A explicação provável pode ser a diferença de estande, uma vez que, no momento da instalação das parcelas experimentais, foram desconsiderados os locais com falhas no cultivo.

A contribuição da cultura anterior de soja reduzindo significativamente a dose de N necessária à otimização da produtividade do milho foi relatada por

Below (2000) em solo de alto potencial produtivo do estado de Illinois (EUA). Num local sob cultivo contínuo de milho, houve resposta a até 235 kg ha⁻¹ de N, ao passo que, onde se trabalhava com sucessão milho/soja, o potencial de rendimento de grãos do milho foi atingido com cerca de 135 kg ha⁻¹.

Os teores relativos de clorofila (leituras SPAD) foram afetados pela adubação de cobertura em ambos os estádios avaliados, observando-se valores mais elevados no estádio V_T (Figura 1B), o que corrobora os resultados observados por Argenta et al. (2004), bem como os obtidos nos capítulos 2 e 3. Os modelos ajustados indicam que o potencial metabólico de produção de clorofila pelo híbrido, em relação ao fornecimento de N, foi alcançado com as doses de 213 e 242 kg ha⁻¹ de N, para os estádios V₈ e V_T, respectivamente. Os maiores teores relativos de clorofila corresponderam a 60,0 e 62,6 unidades SPAD, em V₈ e V_T. Já os valores relacionados à produtividade econômica foram muito próximos (59,9 e 62,5 unidades SPAD) nos referidos estádios de desenvolvimento.

Os teores de N no tecido foliar (Figura 1C) enquadraram-se na faixa considerada adequada (Oliveira, 2004), a partir da dose de 100 kg ha⁻¹. Os teores correspondentes às produtividades máxima e econômica foram, respectivamente, de 30,2 e 28,6 g kg⁻¹. Por sua vez, os teores de N nos grãos (Figura 1C) não tiveram incrementos expressivos com o aumento das doses de N, apresentando um máximo próximo de 14 g kg⁻¹, que coincide com o valor médio relatado por Fancelli (2000). Assim, o acúmulo do nutriente nos grãos foi condicionado, principalmente, pelo padrão de resposta em produtividade (Figura 1A).

Em relação ao nitrogênio mineral no solo à época do florescimento do milho (Figura 1D), verificou-se aumento dos teores, principalmente de nitrato, a partir da dose de 100 kg ha⁻¹ de N. Esse acúmulo de N no solo, associado às respostas quadráticas para teor foliar de N, acúmulo nos grãos, produtividade e leituras SPAD, sugere que não deve ter havido consumo de luxo. Ao contrário, a

partir da dose de 200 kg ha⁻¹ de N, parece ter-se atingido o máximo da capacidade fisiológica de absorção do nutriente. Resultados similares foram obtidos por Fernandes et al. (1999) que, ao avaliarem doses de 0 a 240 kg ha⁻¹ de N em cobertura para o milho cultivado num Latossolo Vermelho distroférrico de Cerrado, quantificaram acúmulo nos grãos, de 71% a 77% do N contido na parte aérea, sem grande variação da absorção nas maiores doses.

Os modelos das Figuras 1A e 1B mostram forte semelhança no comportamento das leituras SPAD, da produtividade e do acúmulo de N nos grãos, como se comprova pela alta correlação positiva entre médias dessas variáveis (Tabela 1). A existência de correlação significativa do teor relativo de clorofila com a produtividade também foi relatada por Varvel et al. (1997) e Argenta et al. (2004), para medidas SPAD a partir do estágio V₈ e V₁₀, respectivamente, sendo indicados como os que fornecem os maiores coeficientes de correlação.

TABELA 1. Coeficientes de correlação (r) entre leitura SPAD nos estádios V₈ e V_T, nitrogênio mineral no solo, teor de N foliar, teor de N nos grãos, produtividade, acúmulo de N nos grãos e doses, considerando as médias dessas variáveis nas doses de N testadas (n=4).

	SPAD V _T	Nitrogênio mineral	Teor de N foliar	Teor de N nos grãos	Produtividade de grãos	Acúmulo N grãos	Dose de N
SPAD V ₈ ⁽¹⁾	0,98*	0,54 ^{ns}	0,94**	0,98 *	0,98*	0,98*	0,81 ^{ns}
SPAD V _T ⁽²⁾		0,67 ^{ns}	0,98**	0,99**	0,99**	0,99**	0,90 ^{ns}
N_mineral ⁽³⁾			0,75 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,91 ^{ns}
Teor de N_foliar				0,99**	0,99*	0,99**	0,95*
Teor de N nos grãos					1,00**	1,00**	0,90 ^{ns}
Produtividade						1,00**	0,90 ^{ns}
Acúmulo de N grãos							0,90 ^{ns}

^{1,2}Leitura SPAD nos estádios fenológicos do milho.

³Amônio + nitrato no solo.

^{ns} = não significativo; *, ** = significativo a 5% e 1%, respectivamente

Não se obteve correlação significativa do teor de N mineral (amônio + nitrato) no solo à época do florescimento, assim como da dose de N, em relação às demais variáveis apresentadas na Tabela 1. Da mesma forma, os teores de MOS e de argila não tiveram nenhuma correlação consistente com as respostas do milho.

Ao se estabelecer a relação entre as leituras SPAD e a produtividade a partir dos dados amostrais dos 11 locais de avaliação distribuídos em cada parcela, foram observados distintos padrões de resposta conforme a dose de N (Figura 2). A variação nos valores da relação foi maior na ausência da adubação de cobertura (dose 0N), o que sugere a ocorrência de variabilidade espacial nos atributos do solo relacionados com a disponibilidade de N às plantas. Tal variação tende a diminuir com o fornecimento do nutriente, situação em que a influência da capacidade original de suprimento pelo solo fica menos aparente.

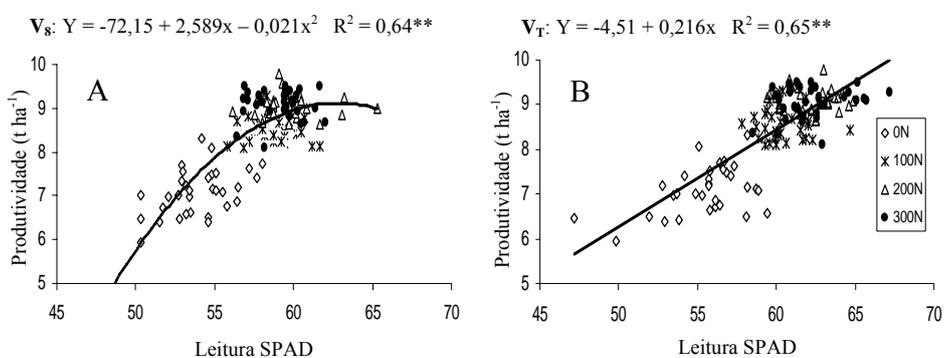


FIGURA 2. Relação entre leitura SPAD e produtividade de grãos nos estádios V₈ (A) e V_T (B), em resposta a doses de N em cobertura.

A ocorrência de variabilidade espacial pode ser inferida também a partir de correlações de dados amostrais dos locais de avaliação distribuídos ao longo das parcelas (Tabela 2). De modo geral, observa-se que os coeficientes de correlação são mais baixos que os apresentados na Tabela 1, reflexo da interação diferencial dos fatores condicionantes da disponibilidade de N e da resposta do milho em cada local amostrado, o que interfere na análise de correlação envolvendo todo o conjunto de dados em vez das médias dos tratamentos.

Quando se trabalha com os valores médios das respostas às doses de N, ignora-se a possibilidade de existência de variabilidade espacial dentro das parcelas experimentais. É bem documentada a variação, em curtas distâncias, dos fatores que influenciam a disponibilidade de N no solo e de outros ligados ao desenvolvimento e à produtividade do milho (Mahmoudjafari, et al., 1997; Ferguson, et al., 2002; Machado et al., 2004; Scharf et al., 2006).

TABELA 2. Coeficientes de correlação (r) entre leitura SPAD nos estádios V₈ e V_T, N mineral no solo, teor de N foliar, teor de N nos grãos, produtividade, acúmulo de N nos grãos e doses, considerando os dados amostrais dos 11 locais de avaliação distribuídos em cada parcela (n=132).

	SPAD V _T	Nitrogênio mineral	Teor N foliar	Teor N nos grãos	Produtividade de grãos	Acúmulo N grãos	Dose de N
SPAD V ₈ ⁽¹⁾	0,79**	0,31**	0,67**	0,62**	0,76**	0,76**	0,65**
SPAD V _T ⁽²⁾		0,45**	0,76**	0,66**	0,81**	0,79**	0,74**
N_mineral ⁽³⁾			0,46**	0,35**	0,49**	0,43**	0,71**
Teor de N_foliar				0,61**	0,74**	0,72**	0,77**
Teor de N nos grãos					0,68**	0,89**	0,81**
Produtividade						0,90**	0,81**
Acúmulo de N grãos							0,78**

^{1,2}Leitura SPAD nos estádios fenológicos do milho.

³Amônio + nitrato no solo.

^{ns} = não significativo; ** = significativo a 1%.

5.2 Variação espacial das respostas à adubação de cobertura

Na Tabela 3 é apresentada a análise descritiva das variáveis estudadas, para cada dose de N, ou seja, isolando-se cada situação de manejo da adubação de cobertura. De forma geral, os coeficientes de variação (CV) foram baixos (Warrick & Nielsen, 1980), à exceção do nitrogênio mineral no solo, para o qual os valores podem ser considerados médios (>12%). Destacam-se os menores CV encontrados para as leituras SPAD e N foliar. A distribuição dos dados foi simétrica para a maioria dos casos, evidenciada nos coeficientes de assimetria e curtose próximos de zero e três, respectivamente, assim como pelos valores próximos da média e da mediana. Tal comportamento confirma a presença de normalidade, favorável à análise geoestatística (Carvalho et al., 2002).

Na seqüência, um estudo de estrutura espacial dos dados pôde ser realizado, considerando o cálculo do semivariograma e posterior interpolação por krigagem (Vieira et al., 2000). A presença de comportamento espacial foi evidenciada para todas as variáveis, à exceção do nitrogênio foliar, na dose 100 kg ha⁻¹ de N (Tabela 3). Foram determinados alcances efetivos variando de 116 m a 755 m. O grau de dependência espacial (GDE), que permite a sua definição em classes segundo a razão entre a variância não-estruturada e a total (Cambardella et al., 1994), variou de fraco a moderado, para as leituras SPAD; de moderado a forte, para o N mineral no solo e de fraco a forte, para o N foliar. Grau de dependência espacial forte (Franzen et al., 2002) e variando de moderado a forte (Ferguson et al., 2002) têm sido relatados para o nitrato em solo cultivado com milho.

De maneira geral, os valores de alcance determinados não foram similares entre as doses de N (Tabela 3), não sendo possível assumir um padrão único de dependência espacial para uma dada variável. Nas condições do talhão estudado, ficou clara a dificuldade de se indicar critérios baseados no alcance para estratégias futuras de mapeamento em grades regulares, assim como

TABELA 3. Estatística descritiva, parâmetros de ajuste dos semivariogramas e grau de dependência espacial (GDE) para as leituras SPAD nos estádios V₈ e V_T, nitrogênio mineral no solo e nitrogênio foliar.

Variável	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	CV(%)	Coeficiente		Modelo	Ef. Pepita (C ₀)	Contribuição (C ₁)	Alcance efetivo	RMSE ¹	GDE ²
						Assimetria	Curtose						
0 N													
V ₈	48,1	58,0	53,5	53,8	4,2	-0,30	3,00	Gaussiano	2,03	3,62	537,9	2,57	Moderado
V _T	47,2	59,4	55,8	55,3	4,8	-1,03	4,18	Gaussiano	4,02	5,45	755,1	1,58	Moderado
N mineral	13,3	47,3	26,6	26,0	25,8	0,34	4,92	Esférico	7,95	42,15	364,3	1,32	Forte
N foliar	19,4	30,0	23,8	23,9	9,2	0,69	4,14	Esférico	0,44	4,39	174,1	1,36	Forte
100 N													
V ₈	55,8	61,7	58,6	58,7	2,3	0,06	2,75	Esférico	1,28	0,43	116,7	0,63	Fraco
V _T	57,8	64,7	60,2	60,5	2,2	0,75	4,03	Exponencial	0,54	1,39	175,1	0,67	Moderado
N mineral	14,7	36,6	30,6	30,1	12,5	-2,01	9,99	Esférico	8,10	10,80	275,9	6,46	Moderado
N foliar	24,7	30,4	27,2	27,4	4,9	0,31	2,50	EPP ³	---	---	----	----	----
200 N													
V ₈	56,1	65,3	59,3	59,6	3,0	1,20	5,04	Exponencial	2,79	0,48	205,9	0,88	Fraco
V _T	59,4	64,9	62,2	62,1	2,5	-0,04	1,95	Esférico	1,28	1,11	234,2	0,48	Moderado
N mineral	23,3	52,6	36,0	36,4	17,5	0,41	3,22	Esférico	17,34	22,12	195,8	6,39	Moderado
N foliar	25,7	33,8	29,9	29,7	6,7	-0,13	2,75	Esférico	1,37	2,03	257,5	1,93	Moderado
300 N													
V ₈	56,4	62,0	59,5	59,2	2,5	-0,19	2,22	Gaussiano	1,49	0,91	317,1	0,60	Moderado
V _T	58,5	67,2	62,2	62,3	3,1	0,59	2,96	Esférico	2,84	0,74	230,0	1,75	Fraco
N mineral	34,6	123,2	57,3	61,5	32,7	1,10	4,15	Exponencial	290,3	131,1	255,6	2,02	Moderado
N foliar	26,9	32,8	30,1	30,1	4,8	-0,09	2,39	Esférico	1,72	0,48	291,8	0,88	Fraco

¹RMSE = soma de quadrados dos erros.

²GDE = grau de dependência espacial (Cambardella et al., 1994)

³EPP = feito pepita puro.

critérios para o estabelecimento de zonas de manejo de nitrogênio, conforme se pode visualizar nos mapas gerados (Figura 3). O uso de outras técnicas georreferenciadas envolvendo sensoriamento remoto ou equipamentos acoplados a tratores, para a realização de aplicações de N em taxas variáveis, pode merecer destaque.

Observam-se variações dentro de cada faixa (parcela), porém, sem um padrão de continuidade entre faixas de doses de N, em que a pequena variação observada para as produtividades pode ter influenciado. Tais resultados evidenciam uma complexidade inerente à abordagem geoestatística na análise de conjuntos de dados obtidos em situações distintas (diferentes doses de N aplicadas), embora numa mesma área de cultivo, sobretudo em se tratando de aspectos ligados à dinâmica e às respostas ao nitrogênio, as quais já são naturalmente instáveis e sujeitas à grande variabilidade (Vetsch et al., 1995; Luchiari et al., 2004). No entanto, maior continuidade foi observada para as doses maiores a 100 kg ha⁻¹ de N, sendo, assim, a dose econômica (143 kg ha⁻¹ de N) um indicativo de níveis mais adequados do nutriente.

Semelhança no comportamento espacial pode ser notada entre a resposta de produtividade do milho e as leituras SPAD em V₈ (Figura 3), o que também ocorreu para as leituras em V_T. Ressalta-se a razoável coincidência entre as leituras acima de 57,0 unidades SPAD (no estágio V₈) e as produtividades superiores a 7,5 t ha⁻¹. Essa semelhança com os padrões de produtividade foi também observada para o mapa de teor de N foliar (Figura 3), em que níveis adequados corresponderam a doses maiores a 100 kg ha⁻¹. Via de regra, a identificação de eventuais tendências torna-se mais difícil nas faixas que receberam N em cobertura.

Análises de correlação feitas para cada dose de N em separado, a partir de valores extraídos dos mapas interpolados e referentes aos 11 locais amostrais nas parcelas, evidenciam baixa correspondência entre os mapas de produtividade

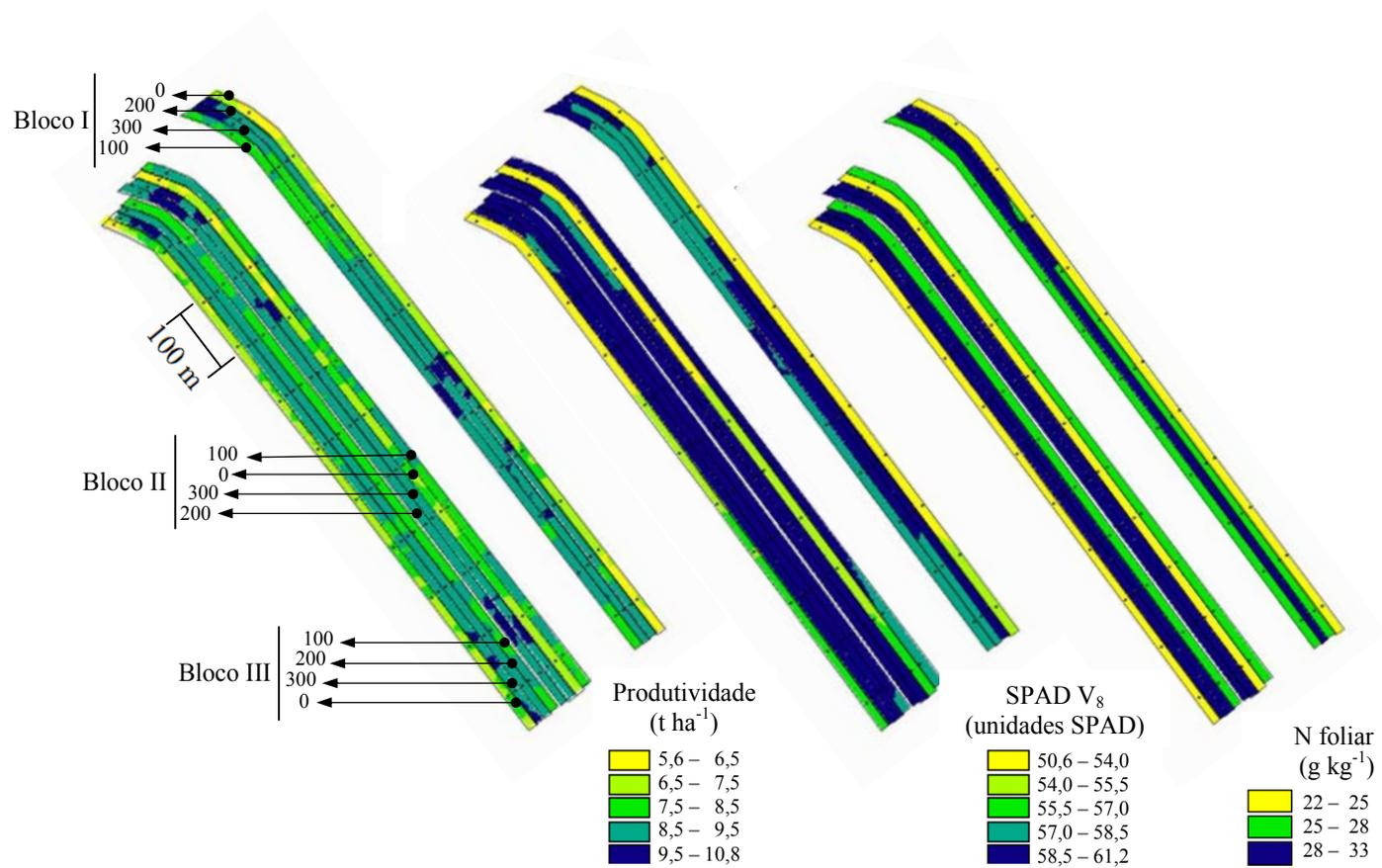


FIGURA 4. Mapas de produtividade de grãos de milho e de leitura SPAD no estágio V₈ em resposta às doses de 0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ de N em cobertura.

e das variáveis relacionadas ao suprimento de N. Correlação significativa entre leitura SPAD em V_8 e produtividade de grãos ($r = 0,36$) foi obtida na ausência de cobertura nitrogenada (dose 0N), ficando o valor do coeficiente bem abaixo dos apresentados nas Tabelas 1 e 2. Já as correlações entre a produtividade e os teores de N foliar e de N mineral no solo não foram significativas, em nenhuma das doses estudadas.

Diante dos resultados do presente estudo, é importante enfatizar que os elevados coeficientes de correlação obtidos nas análises tradicionais entre algumas variáveis associadas ao suprimento de N e a resposta em produtividade (Tabelas 1 e 2) foram reduzidos quando se trabalhou com a abordagem espacializada (Figura 3). Contudo, esta última permitiu mostrar semelhanças na resposta à aplicação crescente do adubo nitrogenado. Desprende-se, assim, em sistemas abertos (condições de lavoura) e em larga escala, um aumento nas chances de insucesso nas tentativas de integrar a variação espacial de indicadores da disponibilidade de N e a resposta produtiva do milho. Nesse sentido, é provável que a própria interpolação imponha distorções nos valores das variáveis avaliadas.

As medidas do clorofilômetro foram o indicador que melhor refletiu o potencial de resposta do milho, permitindo identificar subáreas com menor capacidade de suprimento de N pelo solo (Figura 3, parcelas 0N) e que, por isso, teriam maior probabilidade de resposta à adubação de cobertura. Nesse sentido, a interpretação conjunta dos mapas de leitura SPAD e de produtividade (Figura 3) pode fornecer subsídios na delimitação de zonas de manejo sítio-específico da adubação nitrogenada, visando à otimização do potencial produtivo do híbrido de milho naquele talhão.

6 CONCLUSÕES

O cultivo do milho sem adubação de cobertura proporcionou 77% da máxima produtividade de grãos obtida na adubação com doses crescentes de nitrogênio (9,21 t ha⁻¹). Nas condições da lavoura, a dose ótima seria 143 kg ha⁻¹ de N.

Não foi observada relação entre o teor de N mineral no solo à época do florescimento e a produtividade do milho. As altas correlações entre a leitura do clorofilômetro, o teor foliar de N e a produtividade do milho, verificadas na análise dos dados experimentais, não se confirmaram nos mapas interpolados representando sua variabilidade, indicando baixa correspondência no comportamento dessas variáveis, quando espacializadas.

A interpretação conjunta dos mapas de leitura do clorofilômetro e de produtividade do milho permitiu identificar subáreas com menor capacidade de suprimento de N pelo solo e com conseqüente maior potencial de resposta à adubação de cobertura, fornecendo subsídios à delimitação de possíveis zonas para o manejo sítio-específico do nitrogênio.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, V.M.C.; VASCONCELLOS, C.A.; FREIRE, F.M.; PITTA, G.V.E.; FRANÇA, G.E.; RODRIGUES FILHO, A.; ARAÚJO, J.M.; VIEIRA, J.R.; LOUREIRO, J.E. Milho. In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: UFV, 1999. p.314-316.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura

do solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.241-248, 2002.

AMARAL FILHO, J.P.R.; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, R.; BARBOSA, J.C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.467-473, 2005.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; 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**, v.13, p.158-167, 2001.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; SANGOI, L. Leaf relative chlorophyll content as an indicator parameter to predict nitrogen fertilization in maize. **Ciência Rural**, v.34, p.1379-1387, 2004.

BELOW, F.E. Physiology, nutrition, and nitrogen fertilization of corn in the Unites States. In: SIMPÓSIO SOBRE FISIOLOGIA, NUTRIÇÃO, ADUBAÇÃO E MANEJO PARA PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DE CITROS, 2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: POTAFOS, 2000.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.

CANTARELLA, H.; DUARTE, A.P. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: GALVÃO, J.C.C.; MIRANDA, G.V. (Ed.). **Tecnologias de produção do milho**. Viçosa, MG: UFV, 2004. p.139-182.

CARVALHO, J.R.P. de; SILVEIRA, P.M. da; VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.1151-1159, 2002.

CRESSIE, N.A.C. **Statistics for spatial data**. New York: J. Wiley, 1991. 900p.

FANCELLI, A.L. **Nutrição e adubação do milho**. Piracicaba: USP/ESALQ, 2000. 43p.

FERGUSON, R.B.; HERGERT, G.W.; SCHEPERS, J.S.; GOTWAY, C.A.; CAHOON, J.E.; PETERSON, T.A. Site-specific nitrogen management of irrigated maize: Yield and soil residual nitrate effects. **Soil Science Society of America Journal**, v.66, p.544-553, 2002.

FERNANDES, L.A.; VASCONCELLOS, C.A.; FURTINI NETO, A.E.; ROSCOE, R.; GUEDES, G.A. de A. Preparação do solo e adubação

nitrogenada na produção de grãos e matéria seca e acúmulo de nutrientes pelo milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.1691-1698, 1999.

FERREIRA, D.F. **SISVAR software**: versão 4.6. Lavras: UFLA/DEX, 2003. Software.

FRANZEN, D.W.; HOPKINS, D.H.; SWEENEY, M.D.; ULMER, M.K.; HALVORSON, A.D. Evaluation of soil survey scale for zone development of site-specific nitrogen management. **Agronomy Journal**, v.94, p.381-389, 2002.

GARCIA, F.O.; DAVEREDE, I.C. Diagnóstico para recomendação de adubação nitrogenada em culturas de interesse agrônomo. In: YAMADA, T.; STIPP E ABDALLA, S.R.; VITTI, G.C. **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI, 2007. p.277-320.

KITCHEN, N.R.; HUGHES, D.F.; SUDDUTH, K.A.; BIRRELL, S.J. Comparison of variable rate to single rate nitrogen fertilizer application: corn production and residual soil NO₃-N. INTERNATIONAL CONFERENCE ON SITE-SPECIFIC MANAGEMENT FOR AGRICULTURAL SYSTEMS, 2., 1995, Madison. **Proceeding...** Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1995. p.427- 439.

LUCHIARI JR., A.; SILVA, A.D.; BUSCHINELLI, C.C.A.; HERMES, L.C. CARVALHO, J.R. P.; SHANAHAN, J.; SCHEPERS, J.S. Agricultura de precisão e meio ambiente. In: MACHADO, P.L.O.A.; SILVA, C.A.; BERNARDI, A.C.C. (Ed.). **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema de plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. p.19-36.

MACHADO, P.L.O.A.; BERNARDI, A.C.C.; SILVA, C.A. **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 209p.

MAHMOUDJAFARI, M.; KLUITENBERG, G.J.; HAVLIN, J.L.; SCHWAB, A.P. Spatial variability of nitrogen mineralization at the field scale. **Soil Science Society America Journal**, v.61, p.1214-1221, 1997.

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

MENEGATTI, L.A.A.; MOLIN, J.P. Remoção de erros em mapas de produtividade via filtragem de dados brutos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.1, p.126-134, 2004.

MINASNY, B.; McBRATNEY, A.B.; WHELAN, B.M. **VESPER v1.6**. Sydney: The University of Sydney/Australian Centre for Precision Agriculture, 2002. Disponível em: <<http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa>>. Acesso em: 20 ago. 2006.

OLIVEIRA, S.A. de. Análise foliar. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2.ed. Planaltina, GO: Embrapa Cerrados, 2004. p.245-256.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. Como a planta de milho se desenvolve. **Informações agronômicas**, Piracicaba, n.103, p.1-11, 2003.

SAS INSTITUTE. **SAS: user's guide statistical v.8.0**. Cary, NC, 2000.

SCHARF, P.C.; BROUDER, S.M.; HOEFT, R.G. Chlorophyll meter readings can predict nitrogen need and yield response of corn in the North-Central USA. **Agronomy Journal**, v.98, p.655-665, 2006.

SILVA, E.C.; BUZZETTI, S.; GUIMARÃES, G.L.; LAZARINI, E.; SÁ, M.E. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.353-362, 2005.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Calagem e adubação para culturas anuais e semiperenes. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, GO: Embrapa Cerrados, 2004. p.283-315.

SOUZA, L.C.F.; GONÇALVES, M.C.; ALVES SOBRINHO, T.; FEDATTO, E.; ZANON, G.D.; HASEGAWA, E.K.B. Culturas antecessoras e adubação nitrogenada na produtividade do milho em plantio direto irrigado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, p.55-62, 2003.

TEDESCO, M.J. ; GIANELLO, C.; BISSANI, C.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 175p.

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 American Journal**, v.61, p.1233-1239, 1997.

VETSCH, J.A.; MALZER, G.L.; ROBERT, P.C.; HUGGINS, D.R. Nitrogen specific management by soil condition: managing fertilizer nitrogen in corn. In: ROBERT, P.C.; RUST, R.H.; LARSON, W.E. (Ed.). INTERNATIONAL CONFERENCE ON SITE-SPECIFIC MANAGEMENT FOR AGRICULTURAL SYSTEMS, 2., 1995, Madison. **Proceeding...** Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1995. p.465-473.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F. de, ALVAREZ, V. H., SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: SBCS, 2000. p.1-54.

VITTI, G.C.; TEIXEIRA, L.H.B.; BARROS JR., M.C. Diagnóstico da fertilidade do solo e adubação para alta produtividade de milho. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. (Ed.). **Milho: estratégias de manejo para alta produtividade**. Piracicaba: ESALQ/USP/LPV, 2003. p.174-197.

WARRICK, A, W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic, 1980. p.319-344.

WEBSTER, R., MCBRATNEY, A.B. On the akaike information criterion for choosing models for variograms of soil properties. **Journal of Soil Science**, v.40, p. 493-496, 1989.

WELSH, J.P.; WOOD, G.A.; GODWIN, R.J.; TAYLOR, J.C.; EARL, R.; BLACKMORE, S.; KNIGHT, S.M. Developing strategies for spatially variable nitrogen application in cereals. Part I: Winter barley. **Biosystems Engineering**, v.84, p.481-494, 2003.

CONCLUSÕES GERAIS

Nas condições experimentais do estudo conclui-se:

1. Foram observadas maiores produtividades para os tratamentos testemunha correspondentes aos ensaios envolvendo o uso de parcelas experimentais (9,3 a 9,4 t ha⁻¹), em comparação às obtidas envolvendo o uso de faixas experimentais (7,11 t ha⁻¹). Tal fato foi devido, provavelmente, à diferença de estande, uma vez que, no momento da instalação das parcelas experimentais foram desconsiderados locais com falhas de plantio.
2. O clorofilômetro mostrou-se sensível em detectar o estado nutricional do milho em resposta a diferentes características de solo e de suprimento de N, servindo como indicador da necessidade de adubação nitrogenada de cobertura.
3. Para uma mesma dose de nitrogênio aplicada, foram observadas variações nas leituras dos teores relativos de clorofila, tanto entre solos com teores contrastantes de argila e entre estádios de desenvolvimento do milho, assim como entre locais pertencentes ao mesmo talhão, não sendo viável a utilização de valores referenciais obtidos em condições experimentais distintas, para identificação de deficiências nutricionais para o nutriente.
4. Nas condições experimentais não foi possível verificar a presença de consumo de luxo por efeito das adubações nitrogenadas.

5. A presença do corretivo calcário potencializou a resposta do milho à adubação de cobertura, sendo a correção das deficiências de N otimizada quando realizada a correção da acidez do solo.

6. O uso do clorofilômetro associado a técnicas de agricultura de precisão representa um avanço, uma vez que essas ferramentas permitem identificar áreas com maior ou menor disponibilidade de N no solo, o que pode significar reduções inerentes ao alto custo de análise laboratorial e ajuste da adubação nitrogenada pela adoção de zonas de manejo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas condições experimentais, é razoável adotar-se o uso do medidor de clorofila como ferramenta auxiliar para o manejo da adubação nitrogenada em milho, dada a sua estreita relação com os valores de matéria seca e produtividade. Seu uso é particularmente importante na sincronização entre o momento de aplicação de N e os estádios de maior demanda da cultura pelo nutriente. Nesse sentido, o estudo leva a crer que a adoção de índices de suficiência de nitrogênio, baseado na instalação de áreas-referência, muito bem supridas em N, é uma estratégia viável, podendo vir auxiliar no manejo do nutriente, sobretudo, quando detectada deficiência em estádios iniciais de desenvolvimento (quatro folhas), momento em que é definido o potencial produtivo da cultura. No entanto, a utilização de tais índices deve ser melhor explorada no sentido de evidenciar mudanças nos valores ao longo do ciclo da cultura, como também, em concordância com as diferentes condições de manejo impostas na lavoura. Além disso, ressalvas referentes ao intervalo entre as leituras dos teores relativos de clorofila devem ser observadas, considerando o regime hídrico como fator atuante no tempo de resposta entre as aplicações de nitrogênio e a assimilação do nutriente pela planta, principalmente, em áreas sobre sequeiro.

Por sua vez, o uso do clorofilômetro associado a técnicas como a da agricultura de precisão, mostra vantagens na identificação de áreas com maior ou menor disponibilidade de N pelo solo, minimizando os entraves inerentes ao alto custo de análise laboratorial. Tal fato encoraja perspectivas futuras de utilização de sensores, especialmente no âmbito do bioma Cerrado, onde as extensas áreas abrem espaço à avaliação e correção de deficiências nitrogenadas em tempo real.