

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**MANEJO DO NITROGÊNIO EM COBERTURA NA CULTURA DO
MILHO (*Zea mays* L.) EM SOLO ARENOSO BASEADO NO ÍNDICE
RELATIVO DE CLOROFILA**

LEANDRO JOSÉ GRAVA DE GODOY

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp - Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração em Agricultura.

BOTUCATU-SP

Fevereiro – 2002

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**MANEJO DO NITROGÊNIO EM COBERTURA NA CULTURA DO
MILHO (*Zea mays* L.) EM SOLO ARENOSO BASEADO NO ÍNDICE
RELATIVO DE CLOROFILA**

LEANDRO JOSÉ GRAVA DE GODOY

Orientador: **Prof. Dr. Roberto Lyra Villas Bôas**

Co-orientador: **Prof. Dr. Sílvio José Bicudo**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp - Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração em Agricultura.

BOTUCATU-SP

Fevereiro - 2002

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO
SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - FCA
UNESP - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Godoy, Leandro José Grava de, 1976-

G589m Manejo do nitrogênio em cobertura na cultura do milho (*Zea mays* L.) em solo arenoso baseado no índice relativo de clorofila / Leandro José Grava de Godoy. -- Botucatu, [s.n.], 2002
x, 94 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) -- Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas

Orientador: Roberto Lyra Villas Bôas

Co-orientador: Sílvio José Bicudo

Inclui bibliografia

1. Clorofilômetro 2. Adubação nitrogenada 3. Milho - Nutrição 4. Solos arenosos I. Villas Bôas, Roberto Lyra II. Bicudo, Sílvio José III. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas II. Título

Palavras-chave: Clorofilômetro; Adubação nitrogenada; Milho; SPAD; Nutrição; Solos arenosos; Índice de suficiência; Medida indireta de clorofila

BIOGRAFIA DO AUTOR

Leandro José Grava de Godoy, nascido em 19/03/1976 em Botucatu, SP, Engenheiro Agrônomo pela Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP - Botucatu em 1999, tendo se classificado em primeiro lugar no Curso de Agronomia da FCA em 1999, pelo qual foi lhe conferido o “Diploma Faculdade de Ciências Agronômicas” e o “Prêmio CREA-SP de Formação Profissional”.

“Às vezes, não acreditamos no que vemos e precisamos acreditar no que sentimos. E se quisermos que os outros confiem em nós, precisamos sentir que nós confiamos neles. Mesmo que estejamos no escuro. Mesmo quando estamos caindo”. Mitch Albom

AGRADECIMENTOS

- A Deus, meu grande colega e companheiro dos momentos mais difíceis e mais felizes,
- Ao meu pai, Ney (*in memoriam*) por sempre acreditar em mim,
- À minha mãe, Darcy e irmãos Ney e Gisleine por todo apoio, carinho e compreensão,
- A todos os docentes do curso de Pós Graduação em Agronomia, em especial ao Prof. Dr. Roberto Lyra Villas Bôas por ter me orientado nesse trabalho e pela amizade, fundamental na minha formação,
- Ao Prof. Dr. Sílvio José Bicudo pela co-orientação no experimento e amizade,
- À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão da bolsa de estudo e financiamento de materiais para a realização do trabalho,
- À Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de São Paulo – FAPESP pela concessão do Auxílio à Pesquisa permitindo a compra de equipamentos e reagentes necessários para a realização das análises realizadas no experimento,
- Aos funcionários do Departamento de Recursos Naturais/Ciência do Solo pelo apoio na realização das análises de meu experimento, em especial ao amigo José Carlos Coelho pela grande ajuda na instalação do laboratório e adaptação de metodologia,
- Aos funcionários da Fazenda Experimental São Manuel pelo apoio na instalação, condução e conclusão do experimento de campo,
- Aos funcionários da Fazenda Lageado pelo apoio na instalação do experimento de campo,

- Ao Prof. Dr. Affonso Maria Carvalho pela amizade e apoio na liberação de serviços nas Fazendas São Manuel e Lageado,
- A todos colegas do curso de Pós Graduação em Agronomia, pelo companheirismo e apoio,
- Ao Dr. Heitor Cantarella (IAC-Campinas) pelo incentivo e encorajamento inicial na realização desta pesquisa,
- Ao Prof. Dr. Maurício Zanotto pela compreensão e apoio nos assuntos administrativos,
- A Dow Agro Science pelo fornecimento das sementes de milho,
- A todos meus amigos e amigas pelo convívio, em especial a Elaine que me deu muita força e carinho.

SUMÁRIO

	Página
1 RESUMO	01
2 SUMMARY	03
3 INTRODUÇÃO	05
4 REVISÃO DE LITERATURA	09
4.1 Importância da cultura do milho (<i>Zea mays</i> L.)	09
4.2 O nitrogênio na planta de milho	11
4.3 Adubação nitrogenada na cultura do milho	13
4.4 Nitrogênio no solo	17
4.5 Utilização do índice relativo de clorofila na adubação nitrogenada	20
5 MATERIAL E MÉTODOS	26
5.1 Localização e caracterização da área experimental	26
5.2 Caracterização do clima	26
5.3 Caracterização do solo	27
5.4 Caracterização do cultivar utilizado	29
5.5 Dados meteorológicos	29
5.6 Delineamento experimental e tratamentos	29
5.7 Procedimento experimental: implantação e condução da cultura do milho	32
5.8 Variável do solo avaliada: nitrogênio inorgânico (NO_3^- e NH_4^+)	34
5.9 Variáveis da planta avaliada	36
5.9.1 Índice relativo de clorofila	36
5.9.2 Análise do teor de N na lâmina foliar	38

5.9.3 Produtividade de grãos	39
5.10 Tratamento estatístico	39
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
6.1 Índice Relativo de Clorofila (IRC)	41
6.2 Índice de Suficiência de Nitrogênio (ISN)	47
6.3 Produtividade de grãos e teor de N no grão	55
6.4 Correlação IRC x Teor de N na folha	60
6.5 N inorgânico no solo	65
7 CONCLUSÕES	73
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

LISTA DE QUADROS

Quadro	Página
1 Análise química do Latossolo Vermelho Distrófico da área experimental na FESM antes de ser corrigido	28
2 Análise física do Latossolo Vermelho Distrófico da área experimental na FESM antes de ser preparado	28
3 Tratamentos aplicados às parcelas experimentais	31
4 Índice relativo de clorofila (IRC) determinado pelo clorofilômetro (SPAD-502, MINOLTA) nos estádios fenológicos da cultura do milho influenciado pelo manejo do nitrogênio na FESM, São Manuel, SP, no ano de 2000/01	42
5 Índice de Suficiência de Nitrogênio calculado (ISN) e predição da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura baseada em diferentes ISNs, no estágio de 4 a 5 folhas totalmente desenroladas na cultura do milho (25 DAE) em função dos tratamentos, na FESM, São Manuel, SP, no ano de 2000/01	48
6 Índice de Suficiência de Nitrogênio calculado (ISN) e predição da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura baseada em diferentes ISNs, no estágio de 7 a 8 folhas totalmente desenroladas na cultura do milho (37 DAE) em função dos tratamentos, na FESM, São Manuel, SP, no ano de 2000/01	51
7 Índice de Suficiência de Nitrogênio calculado (ISN) e predição da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura baseada em diferentes ISNs, no estágio de dez a onze folhas totalmente desenroladas na cultura do milho (44 DAE) em função dos tratamentos, na FESM, São Manuel, SP, no ano de 2000/01	53
8 Índice de Suficiência de Nitrogênio calculado (ISN) e predição da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura baseada em diferentes ISNs, no estágio de doze folhas totalmente desenroladas na cultura do milho (53 DAE) em função dos tratamentos, na FESM, São Manuel, SP, no ano de 2000/01.....	54

9	Produtividade de grãos, produtividade relativa e teor de N nos grãos na cultura do milho submetida a diferentes manejos de nitrogênio na FESM, São Manuel, SP, no ano de 2000/01	56
10	Coeficiente de correlação entre a produtividade de grãos e o índice relativo de clorofila (IRC) e índice de suficiência de nitrogênio (ISN) em diferentes estádios fenológicos da cultura do milho	59
11	Coeficiente de correlação entre o índice relativo de clorofila (x) e o teor de N na lâmina foliar (y) em diferentes estádios fenológicos da cultura do milho	61
12	Teor de N total, amônio (N-NH_4^+), nitrato (N-NO_3^-) e N inorgânico ($\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$) no perfil do solo (até 1 m de profundidade), determinado em amostras coletadas em diferentes profundidades na área do experimento, dez dias antes da semeadura	66
13	Teor de amônio (N-NH_4^+), nitrato (N-NO_3^-) no perfil do solo (até 1 m de profundidade), determinado em amostras coletadas em diferentes profundidades na área do experimento, vinte dias após da aplicação do adubo. Média de quatro repetições	67
14	Teor de N nítrico (N-NO_3^-) e N amoniacal (N-NH_4^+) em épocas de coleta no período do experimento e profundidades de coleta no perfil do solo em função do manejo de nitrogênio em cobertura nas parcelas que não receberam N antes da semeadura na FESM, São Manuel, SP, no ano de 2000/01	69
15	Teor de N nítrico (N-NO_3^-) e N amoniacal (N-NH_4^+) em épocas de coleta no período do experimento e profundidades de coleta no perfil do solo em função do manejo de nitrogênio em cobertura nas parcelas que receberam a doses de 60 kg ha^{-1} de N antes da semeadura na FESM, São Manuel, SP, no ano de 2000/01.....	70

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Local de amostragem na folha da planta de milho (a) e o clorofilômetro (b) (Chlorophyll meter SPAD-502, da MINOLTA) utilizado para determinar o Índice Relativo de Clorofila (IRC) (adaptado de Peterson et al., 1993)	38
2 Alteração do IRC (sem unidade) em função da dose de N aplicada no estágio de quatro a cinco folhas (25 DAE)	45
3 Temperatura máxima, média e mínima do ar no período de condução do experimento na FESM, São Manuel, SP	47
4 Comportamento do Índice de Suficiência de Nitrogênio (ISN) em diferentes estádios fenológicos do milho influenciado por manejos do nitrogênio em cobertura	52
5 Precipitação pluvial e irrigação na área do experimento durante a fase de condução, na FESM, São Manuel, SP (safra agrícola de 2000/01)	58
6 Relação entre o índice relativo de clorofila e o teor de N na folha no estágio de 7 a 8 folhas desenroladas na cultura do milho	62
7 Relação entre o índice relativo de clorofila e o teor de N na folha no estágio de 10 a 11 folhas desenroladas na cultura do milho	63
8 Relação entre o índice relativo de clorofila e o teor de N na folha no estágio de 12 folhas (pendoamento) desenroladas na cultura do milho	64
9 Relação entre o índice relativo de clorofila e o teor de N na folha no estágio uma semana após o florescimento feminino na cultura do milho	65

1 RESUMO

O nitrogênio é o nutriente que proporciona as maiores respostas em produtividade na cultura do milho, entretanto, devido sua complexa dinâmica no solo e a falta de um índice do N no solo o seu manejo adequado é difícil. Com um medidor (portátil) da intensidade da coloração verde da folhas (Clorofilômetro SPAD-502, da MINOLTA) é possível estimar o teor de N nas folhas no campo baseado na correlação entre o teor de clorofila e N nas folhas de milho. O objetivo específico do experimento foi avaliar o manejo da adubação nitrogenada em cobertura baseado na utilização do clorofilômetro e do índice de suficiência. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental São Manuel - UNESP, São Manuel, SP, em um Latossolo Vermelho Distrófico, em preparo convencional, utilizando irrigação suplementar por aspersão. Foi utilizado o híbrido simples de milho DAS 8410, realizando a semeadura em novembro de 2000 com 330 kg ha⁻¹ de 08-28-16+0,4Zn. O experimento foi delineado em blocos casualizados adotando duas doses de N um dia antes da semeadura: 0 e 60 kg ha⁻¹. Nas parcelas que não receberam N antes da semeadura foram estabelecidos os seguintes tratamentos: (1) 0 kg ha⁻¹ de N, (2) 60 e 40 kg ha⁻¹ de N

respectivamente nos estádios V_5 e V_7 , (3) 42 e 28 kg ha⁻¹ de N respectivamente nos estádios V_5 e V_7 , (4) 20 kg ha⁻¹ de N quando necessário e (5) 35 kg ha⁻¹ de N quando necessário. Nas parcelas que receberam 60 kg ha⁻¹ de N antes da semeadura foram estabelecidos os seguintes tratamentos: (6) 24 e 16 kg ha⁻¹ de N respectivamente nos estádios V_5 e V_7 , (7) 20 kg ha⁻¹ de N quando necessário; (8) 35 kg ha⁻¹ de N quando necessário; (9) 80 e 60 kg ha⁻¹ de N respectivamente nos estádios V_5 e V_7 (área de referência). A necessidade de N em cobertura nos tratamentos (4), (5), (7) e (8) foi considerada de acordo com o Índice de Suficiência de N (*ISN*) obtido através da média das leituras do clorofilômetro (SPAD-502) na parcela (*LA*) e na área de referência (*LR*) pelo cálculo: $ISN = (LA/LR)$. Quando o $ISN \geq 0,95$ não foi aplicado o N e quando o $ISN < 0,95$ foi aplicado, 24 horas após, a dose de acordo com o tratamento. O monitoramento do *ISN* foi realizado a cada quinze dias, aproximadamente, definindo a necessidade da adubação de cobertura nos seguintes estádios fenológicos: plantas com 4 a 5 folhas, com 7 a 8, com 10 a 11 folhas, e início do pendramento. Após a leitura nesses estádios foram coletadas as folhas amostradas para determinação do N. Houve correlação positiva significativa entre a leitura do clorofilômetro (IRC) e o teor de N na lâmina foliar para todos os estádios fenológicos avaliados a partir do V_7 . O índice relativo de clorofila (IRC) e o índice de suficiência de nitrogênio discriminaram os diferentes manejos de cobertura nitrogenada no milho a partir do estágio de sete a oito folhas. As doses de N aplicadas não permitiram manter o $ISN \geq 0,95$.

Palavras-chave: índice de suficiência, clorofilômetro, SPAD, adubação nitrogenada.

SIDEDRESS NITROGEN MANAGEMENT IN CORN (*Zea mays* L.) IN SANDY SOIL BASED IN THE CHLOROPHYLL RELATIVE INDEX. Botucatu, 2001. 90p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: LEANDRO JOSÉ GRAVA DE GODOY

Adviser: ROBERTO LYRA VILLAS BÔAS

Co-adviser: SÍLVIO JOSÉ BICUDO

2 SUMMARY

Nitrogen is the nutrient that provides the largest response in corn grain yield, however, because of its dynamic in soil and the lack of an N soil index, the N management is difficult. With the invention of the handheld chlorophyll meter (SPAD-502, MINOLTA) it is possible to estimate N concentration in leaf corn in the field based on the correlation between chlorophyll and N concentration in corn leaf. The objective of this research was to determine the sidedress N management based on the use of chlorophyll meter and sufficiency index. The experiment was conducted in the experimental field of State University of São Paulo (SP, Brazil) in a Latosol Red (Oxisoil), in tillage system, using supplementary sprinkler irrigation. The hybrid utilized was DAS 8410 planted in November 2000 and fertilized with 330 kg ha⁻¹ of 08-28-16+0,4Zn. A complete randomized block design with four replications was used. Two N rates one day before planting were used: 0 and 60 kg ha⁻¹ and nine sidedress N management. In the plots that didn't receive N before planting the sidedress N management used was: (1) 0 kg ha⁻¹ N; (2) 60 and 40 kg ha⁻¹ N applied at the V₅

and V₇ stage; (3) 42 and 28 kg ha⁻¹ N applied at the V₅ and V₇ stage; (4) 20 kg ha⁻¹ N as needed; and (5) 35 kg ha⁻¹ as needed. In the plots that received N before planting the N management used was: (6) 24 and 16 kg ha⁻¹ N applied at the V₅ and V₇ stage; (7) 20 kg ha⁻¹ N as needed; and (8) 35 kg ha⁻¹ N as needed; and (9) 80 and 60 kg ha⁻¹ N applied at the V₅ and V₇ stage (reference plot). The N need of the treatments (4), (5), (7) and (8) was considered according to the Nitrogen Sufficiency Index (NSI) calculated as the relation between average chlorophyll meter reading in the plots (CRMP) and average chlorophyll meter reading in reference plot (CRMR) as follows: $NSI = CRMP / CRMR$. When $NSI \geq 0,95$ no N was applied and when $NSI < 0,95$ N were applied rates according with the treatments. The NSI was checked in the following stages: five leaf stage, seven leaf stage, ten leaf stage and approximately in the tasseling. After the chlorophyll meter reading (CRM) the leaves were collected for N determination. There was correlation between reading chlorophyll meter and N concentration in corn leaf in all stages. The CRM and NSI allowed the discrimination of sidedress N management in corn beginning in the V₇ stage. The N rates applied failed to maintain $NSI \geq 0,95$.

Key words: sufficiency index, chlorophyll meter, SPAD, nitrogen fertilization.

3 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays L.*) atualmente é o terceiro cereal mais cultivado no mundo (140 milhões de hectares), tendo papel fundamental na alimentação animal, principalmente de aves e suínos (produção de rações), na alimentação humana e na indústria (produção de cerveja, óleos, remédios, etc.).

Atualmente o milho deixou de ser cultivado somente na safra normal e vem ganhando campo na produção do milho "safrinha", semeado de janeiro a março geralmente após a lavoura de soja ou de milho. Maiores produtividades no milho vêm sendo alcançadas com a utilização da fertirrigação (aplicação de fertilizantes através da água de irrigação) pelo sistema de pivô central, devido à ausência de déficit hídrico e pela oportunidade de aplicação parcelada de fertilizantes podendo ser corrigidas eventuais deficiências durante o ciclo da cultura. Outro sistema de cultivo que vem ganhando grande importância na produção nacional de milho é o sistema de semeadura direta (conhecido como plantio direto) principalmente na região Sul do Brasil.

A cultura do milho no Brasil é a segunda em consumo de fertilizantes (19,4% do total no período de 1990-1996), especialmente nitrogenados que proporcionam as maiores respostas em relação ao aumento de produtividade.

No entanto, um dos grandes problemas está na baixa eficiência de utilização da adubação nitrogenada principalmente em solos arenosos (< 15 % de argila) devido às perdas por lixiviação, ficando o N indisponível para as plantas podendo também contaminar o lençol freático. Outro problema atual é predizer quando aplicar de e quanto é a necessidade em N da cultura do milho no sistema de rotação de culturas e semeadura direta, onde pode haver uma suplementação de N pela mineralização da matéria orgânica do solo, da palhada deixado sobre a superfície do solo e do N fixado quando a cultura antecessora é uma leguminosa e ao mesmo tempo uma imobilização do N pelos microorganismos do solo.

No Brasil não há um índice do teor de N no solo, que sirva como um indicativo para a adubação nitrogenada, devido à complexa dinâmica do elemento no solo, (lixiviação, imobilização-mobilização, desnitrificação, mineralização, etc.) podendo variar no campo logo após uma chuva e mesmo dentro de uma amostra de solo embalada, pela mineralização da matéria orgânica presente. As doses de N recomendadas baseiam-se no histórico da área e na expectativa de produtividade da cultura.

A recomendação tradicional da adubação nitrogenada para o milho no Estado de São Paulo tem como base o sistema de cultivo convencional, havendo apenas algumas indicações para o sistema de semeadura direta e para o milho fertirrigado, sendo de extrema importância a avaliação de um método que possa predizer a aplicação da adubação nitrogenada em cobertura, independente do sistema de cultivo, levando em consideração o teor de N no solo disponível para a planta através do nível de N na planta.

Um dos métodos de diagnosticar o estado nutricional da planta é através da diagnose visual, no entanto, é muito subjetiva podendo variar com a incidência da luz solar sobre a folha, com a cultivar utilizada e também com o técnico que está avaliando. Outro método menos subjetivo e mais eficiente para avaliação do estado nutricional é o uso da análise foliar. Esse método pode ser usado como indicativo da necessidade de adubação, porém para as culturas de ciclo curto, como o milho, tem o inconveniente de ser demorado e, muitas vezes impede que a absorção do nutriente ocorra dentro do período de maior demanda.

Com um medidor indireto de clorofila portátil (SPAD-502, Minolta Co., Osaka, Japão, 1989) tornou-se possível estimar o teor de N na planta (sem destruir a folha) através da intensidade da coloração verde das folhas, de modo simples e rápido.

O aparelho tem como base que a folha é o órgão que mais reflete o estado nutricional da planta segundo Malavolta et al., (1997) e que existe uma alta correlação positiva entre o teor de clorofila e teor de N na folha e deste com a produtividade do milho. Nos EUA vêm sendo realizadas várias pesquisas com este aparelho para prever a deficiência de N na cultura do milho e utilizá-lo para manejar a adubação nitrogenada com o objetivo de reduzir a contaminação do lençol freático.

A partir de todas essas considerações as hipóteses que fundamentam este trabalho são as seguintes: é possível monitorar o teor de N na planta de milho e conseqüentemente a disponibilidade de N no solo através da medida indireta de clorofila na planta de milho com a utilização de um medidor portátil (Minolta SPAD-502). Com as leituras obtidas é possível auxiliar na recomendação da adubação nitrogenada em cobertura para a cultura do milho baseada em um índice de suficiência, visando coincidir a exigência de N da planta com a disponibilidade de N no solo.

Visando testar as hipóteses, o presente trabalho tem como objetivos:

(1) verificar a correlação entre as leituras do medidor SPAD-502 e o teor de N da folha da planta de milho durante os estádios fenológicos; (2) verificar o comportamento do índice relativo de clorofila e do índice de suficiência em função dos diferentes manejos de N aplicado em cobertura; e (3) verificar se o índice de suficiência pode ser usado como indicativo da necessidade de N.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Importância da cultura do milho (*Zea mays* L.)

O milho é o terceiro cereal mais plantado no mundo em área de cultivo (140 milhões de hectares) ficando atrás apenas do arroz e do trigo, o que ressalta a importância desta cultura para o mundo (Fageria et al., 1997).

No Brasil, o milho vem ocupando um lugar de destaque na produção agrícola nacional durante os últimos anos com uma produção oscilando entre trinta e trinta e cinco milhões de toneladas, alcançando na safra de 1999/2000 trinta e oito milhões de toneladas de grãos de milho, cerca de 44% do total de grãos produzidos no país, devido, principalmente, à grande contribuição dos Estados de RS, SP, GO e MT e MS (Fnp, 2000).

A utilização do milho no Brasil está dividida entre o milho comercializado para a avicultura de corte e postura (24,3%), suinocultura (16,7%), indústrias (13,5%), outros animais (5,6%) e sementes (0,6%) e no milho não comercializado constituído

pelas perdas (9,9%), consumo humano (4,7%) e arraçamento na propriedade (24,7%) (Viegas, 1990).

Nos últimos anos o milho mostrou um crescimento de consumo mundial entre 10 e 30 milhões de toneladas ao ano, contra 3 a 5 milhões de toneladas de soja e 4 a 7 milhões de toneladas de trigo (Brandalizzi, 2000).

No Estado de São Paulo são plantados em média 1.250.000 hectares de milho anualmente, sendo aproximadamente 70% dessa área na safra normal e 30% na safrinha. A produtividade média brasileira está em torno de 3200 kg ha⁻¹ na safra normal e 2200 kg ha⁻¹ na "safrinha", produtividade baixa quando comparada com as alcançadas pelos produtores que adotam maior tecnologia e atingem 6 a 12 t ha⁻¹ na safra normal. Em função da baixa produtividade estadual o consumo de milho é maior que a produção o que requer importação de outros estados e/ou do exterior. (Cati, 1998).

Maiores produtividades (8,5 a 10 t ha⁻¹) no milho vêm sendo alcançada com a utilização da fertirrigação (aplicação de fertilizantes através da água de irrigação) pelo sistema de pivô central, devido à ausência de déficit hídrico e pela oportunidade de aplicação parcelada de fertilizantes, podendo ser corrigidas eventuais deficiências durante o ciclo da cultura (Resende et al., 1993).

A adoção do sistema de semeadura direta ("plantio direto") no Estado de São Paulo tem aumentado com a difusão desta tecnologia, sendo ainda um pouco limitada devido aos custos das semeadoras e da exigência de tratores de maior potência, além de dificuldade de formação de palha e do inverno seco (Cati, 1998).

4.2 O nitrogênio na planta de milho

O nitrogênio é constituinte de vários compostos como proteínas, enzimas, bases nitrogenadas, vitaminas além de sua importante função como integrante da molécula de clorofila, sendo o nutriente mais extraído e exportado pela cultura do milho, proporcionando importantes efeitos como o aumento da produtividade (Hanway, 1962a,b; Mengel & Kirby, 1987; Büll, 1993; Emani et al., 1996; Fageria et al., 1997; Fernandes et al., 1999) e aumento no teor de proteína (melhor qualidade) dos grãos (Neptune, 1977; Rending & Broadbent, 1979; Wu et al., 1993).

As exigências de nitrogênio variam de acordo com os estádios de desenvolvimento da planta de milho sendo mínimas nos estados iniciais e aumentando até ao redor de 80 dias após a emergência (quantidade média de 180 kg ha^{-1} de N) que coincide com o período compreendido entre o início do florescimento e início da formação de grãos (Amon, 1975).

Segundo Ritchie et al. (1993) citado por Yamada (1996) apesar da pequena exigência da planta de milho no estado inicial de desenvolvimento, altas concentrações de nutriente na zona radicular são benéficas na promoção de um bom arranque inicial da planta. Nesse estágio inicial está ocorrendo a diferenciação das várias partes da planta que começam a se desenvolver (Ritchie et al., 1993 citado por Yamada, 1996; Fancelli & Dourado-Neto, 1996; Cantarella, 1993).

Mengel & Barber (1974) em um estudo das taxas de nutrientes absorvidas por unidade de raiz da planta de milho, afirmam que um menor fluxo de N nas raízes da planta de milho no final do ciclo de desenvolvimento, devido a menor concentração

de N no solo e a menor eficiência de absorção podem ser compensadas pela maior extensão do sistema radicular.

Segundo Argenta et. al., (1999a) absorção de nitrogênio e produção de grãos pela planta de milho são influenciadas pelo local, pela espécie de cobertura no inverno, pela época de semeadura após a dessecação das plantas de cobertura do solo (plantio direto) e pelo sistema de manejo de N.

De acordo com Berger (1993) a deficiência de nitrogênio é menos provável de ser detectada em plantas jovens. A partir do estágio de quatro a seis folhas, a taxa de crescimento aumenta e a demanda por nitrogênio cresce, sendo comum exigência de $3,5 \text{ kg N ha}^{-1}$ por dia, podendo ser o dobro durante os períodos de maior demanda. Segundo Cantarella et al., (1993) a absorção de N pelo milho é mais intensa no período entre 40 e 60 dias após a germinação, mas a planta ainda absorve cerca de 50 % do nitrogênio que necessita após o início do florescimento.

Não havendo nitrogênio disponível as folhas inferiores começam a amarelar no ápice com amarelecimento progressivo ao longo da nervura principal (forma de um "V deitado invertido"), uma vez que o nitrogênio é móvel na planta (Berger, 1993; Malavolta et al., 1997; Büll, 1993). O amarelecimento ocorre devido à redução da síntese de clorofila ocasionado pela falta de N, constituinte da estrutura da molécula da clorofila.

A diagnose da deficiência de nitrogênio pode ser feita de forma visual que é muito subjetiva podendo variar com a incidência dos raios solares e com a cultivar utilizada (Turner & Jund, 1991), da análise química das folhas, que servirá apenas para aferir a recomendação da adubação para a próxima safra (Dourado Neto & Fancelli, 2000), pois, é um

processo destrutivo e demorado, ou utilizando indicadores químicos ou eletrônicos não destrutivos como o medidor indireto de clorofila (Berger, 1993).

Coelho et al. (1992a) afirmam que a concentração média de nitrogênio na planta oferece uma base promissora para estimar o requerimento de nitrogênio pelo milho e poderá ser utilizada como um dos parâmetros no cálculo na necessidade da adubação nitrogenada.

4.3 Adubação nitrogenada na cultura do milho

A adubação nitrogenada associada à população de plantas na colheita e a disponibilidade de luz durante o ciclo da cultura de milho são os três principais fatores de produção (Fancelli & Dourado Neto, 2000).

Embora haja recomendações específicas para a adubação nitrogenada na cultura do milho, ainda há dúvidas quanto ao manejo do N, principalmente, em solos arenosos, tanto em sistema convencional, plantio direto e em milho sob irrigação. (Coelho, 1994; Sá, 1996). Além disso, atualmente há no mercado mais de cinquenta genótipos comerciais que combinados com os diversos ambientes resultam nos mais diferentes fenótipos que podem responder diferentemente à adubação nitrogenada.

O aumento da dose de nitrogênio na semeadura do milho de 30 para 60 kg ha⁻¹ não constituiu em estratégia eficiente para aumentar a absorção de N e o rendimento de grãos independentemente da espécie de cobertura de solo no inverno nas condições de Eldorado do Sul, RS (Argenta et al., 1999b).

Yamada (1996) sugere que para dada dose de N recomendada, a aplicação de 30 a 50 kg ha⁻¹ de N na semeadura e o restante em cobertura permite a obtenção de melhores resultados na produção de milho do que a aplicação de apenas 10 a 15 kg ha⁻¹ de N na semeadura muito utilizada pelos produtores.

Sá (1996) e Varvel et al. (1997b) afirmam que em sistemas com gramíneas antecedendo o milho em rotação, a utilização de 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura tem sido a melhor alternativa para reduzir o efeito da carência inicial de N devido à imobilização.

Segundo Basso (1999), no sistema de plantio direto a aplicação de N em pré-semeadura (junto com o manejo das plantas de cobertura de solo) do milho pode ser uma alternativa técnica, desde que o período de cultivo do milho não seja caracterizado pela ocorrência de intensas e freqüentes chuvas.

Nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina é utilizado o teor de matéria orgânica do solo como critério para a recomendação da adubação nitrogenada que foi abandonado no Estado de São Paulo devido às baixas correlações com o aumento de produção do milho (Raij et al., 1981; Cantarella, et al., 1989). Atualmente no Estado de São Paulo para a recomendação da adubação nitrogenada em cobertura é considerada a produtividade esperada e a classe de resposta esperada a aplicação de N que nada mais é que o histórico da área a ser cultivada. O parcelamento da adubação em cobertura com N em mais de uma época é recomendável quando a dose é maior que 80 kg ha⁻¹ de N ou o solo é arenoso. Para milho fertirrigado é recomendado que a adubação nitrogenada seja parcelada em três ou mais vezes até o florescimento. (Raij & Cantarella, 1996) não havendo definições de doses e épocas.

No Estado de Nebraska, EUA, a recomendação da adubação nitrogenada para o milho considera também o teor de matéria orgânica e o teor de nitrato no solo. Para solos arenosos a aplicação de N deve ser parcelada aplicando a maior parte em cobertura antes do pendoamento, 30 a 40 dias após a emergência (Hergebert, 1995).

Já Fancelli & Dourado Neto (2000) sugerem que a adubação nitrogenada do milho deve ser parcelada de acordo com tipo de solo e com a entrada de água na lavoura (precipitação ou irrigação) durante os estágios de quatro folhas até 10 a 12 folhas. Coelho (1994) e Resende et al. (1993) propõem tabelas divergentes com sugestões de aplicações parceladas de N na cultura do milho irrigado de acordo com a classe textural do solo e número de folhas totalmente emergidas do milho indicando a dose e a porcentagem da dose a ser aplicado nos diferentes estádios.

O parcelamento em duas, três ou mais vezes da adubação nitrogenada na cultura do milho em solos de textura argilosa (variando de 36 a 60% de argila) com dose de 60 a 120 kg ha⁻¹ de N não refletiram em maiores produtividades com relação a uma aplicação na semeadura e uma aos 45 dias após a semeadura (Novais et al., 1974; Neptune, 1977; Alves et al., 1992). Escosteguy et al. (1997) trabalhando em um Latossolo Vermelho escuro de textura argilosa também concluíram que o parcelamento de N das doses de 80 e 160 kg ha⁻¹ de N não proporcionou aumento no rendimento de grãos e não houve interação entre as doses e as épocas de aplicação de N.

Trabalhos realizados na Flórida, EUA, por Rhoads & Stanley (1981) comparando seis e doze aplicações parceladas de N via água de irrigação concluíram que houve maior produtividade no tratamento parcelado em seis aplicações.

Segundo Sá (1996) em áreas onde o plantio direto foi adotado recentemente (dois a três anos no máximo) e em solos arenosos (teor de areia maior que 70 %) há necessidade de maiores estudos, pois nessa fase o sistema está se alterando expressivamente.

Pöttker & Roman (1994) afirmam que a resposta do milho a N, em um Latossolo Vermelho escuro sob plantio direto, depende do tipo de cobertura vegetal precedente e que as leguminosas contribuíram com quantidades variáveis de N para o milho (chícharo > ervilhaca) e as produções obtidas sobre resíduo de aveia preta foram inferiores às obtidas em solo em pousio (sem resíduos).

Em trabalho realizado no período de inverno no Estado de São Paulo por Bassoi & Reichardt (1995) em um solo de textura argilosa, as aplicações de 120 kg ha⁻¹ de N em estádios mais avançados do milho proporcionou maior acúmulo de N na parte aérea e maior produção em plantas fertirrigadas quando comparadas com plantas que receberam adubação sólida.

Fernandes et al. (1999) trabalhando com diferentes preparos de solo (plantio direto, arado de disco e de aiveca) e adubação nitrogenada na produção de grãos de milho, em solo de textura muito argilosa, verificaram que há baixa recuperação aparente do N aplicado referente às doses mais elevadas (120 e 240 kg ha⁻¹ de N) sendo maior a recuperação do N no sistema de plantio direto na dose de 60 kg ha⁻¹ de N o que enfatiza a necessidade de ajustar as aplicações de fertilizantes nitrogenados mais próximo possível da quantidade requerida pela cultura.

Segundo Coelho (1994) mesmo em países onde a pesquisa está muito evoluída existe muitas controvérsias com relação ao manejo do N em solos arenosos. Para as

condições brasileiras há a necessidade de se definir não só o número de parcelamentos da adubação, como também, o melhor método ou combinação destes para a aplicação dos fertilizantes nitrogenados em solos arenosos.

4.4 Nitrogênio no solo

A determinação do nitrato no solo é válida no caso dos EUA em regiões ou épocas secas e pelo sistema de laboratório de análises químicas de solo que emitem resultados três a cinco dias após envio das amostras. No Brasil há a necessidade de implantar a análise de nitrato em rotina nos laboratórios de fertilidade do solo e trabalhar em épocas secas como no milho safrinha ou regiões mais secas onde o milho tem que ser irrigado.

O teor total de N na camada de 0 a 20 cm varia em geral de 0,05 a 0,5% (Sá, 1996). Do nitrogênio total da camada superficial dos solos agrícolas, mais de 85% encontra-se na forma orgânica (Fassbender, 1975), sujeito a mineralização por processos microbióticos, sendo convertido em amônio e posteriormente pela nitrificação transformando em nitrito (NO_2^-) e finalmente em nitrato (NO_3^-).

Em função das condições de aeração que predominam nos solos cultivados com milho a principal forma de nitrogênio existente no solo e absorvido pelas raízes é a nítrica (Büll, 1993).

O íon nitrato é fortemente repelido pelas cargas negativas dos colóides do solo, tendendo a permanecer na solução. Esse íon pode ser lixiviado pela água de percolação resultando em perda de N pelas plantas e em contaminação do lençol freático e cursos d'água (Dyner & Camargo, 1999).

Segundo Silva & Vale (1999), a calagem afeta a nitrificação, sendo notado nos solos que receberam calagem, maior disponibilidade de nitrato. Piccolo et al. (1999) conclui que a presença de nitrato no solo está relacionado com o pH do solo e o tempo de adoção do sistema de plantio direto aumentou os teores de N total e nitrato nos solos.

A imobilização biológica do N é também de grande relevância na redução da disponibilidade do N mineral do solo (Yamada, 1995; Muzilli, 1983). Na fase inicial do plantio direto observa-se maior necessidade da utilização de N devido à imobilização em função da oferta de carbono ao sistema, proporcionando o aumento da atividade da biomassa microbiana (Sá, 1993).

Coelho et al. (1992b) trabalhando com milho irrigado em um latossolo vermelho escuro textura argilosa que havia recebido as doses de 60 e 240Kg N ha⁻¹ verificaram que houve a predominância de N -NH₄⁺ até 61 dias após a adubação de cobertura (fase de enchimento de grãos) até a profundidade de 60 cm, onde a partir desta o nitrato passa predominar.

De acordo com Bassoi & Carvalho (1992) a concentração de N para milho irrigado ou não irrigado durante os 41 a 57 dias após a emergência, em um latossolo vermelho escuro com textura média argilosa, foi maior de 0 a 30cm de profundidade devido a adubação de cobertura e de 60 a 90cm da superfície devido às precipitações ocorridas, que carregam o nitrato, quando comparadas com a profundidade de 30 a 60 cm. A lixiviação de N aumentou com a profundidade para o milho irrigado comparado ao não irrigado em função do maior fluxo de H₂O descendente.

Os teores de N mineral em um solo arenoso imediatamente antes da aplicação do N em cobertura no milho, mostraram que onde foram aplicados 60 e 90 kg ha⁻¹

de N em pré-semeadura, quase não houve diferença nos teores de N mineral nas camadas de 0 a 5 e 20 a 40 cm, contrário ao observado imediatamente antes da semeadura do milho (Basso, 1999). Varvel & Peterson (1990) encontraram teores baixos de nitrato nas camadas do perfil do solo até 150 cm de profundidade no final do ciclo do milho (EUA) variando de 5 a 8 mg $\text{NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ para as áreas que receberam 180 kg N ha^{-1} .

Sá (1996) afirma que a utilização do sistema de rotação em plantio direto, cuja cultura antecessora ao milho seja uma leguminosa proporciona uma economia de 50% de N na adubação nitrogenada. Segundo Hergebert et al. (1995) a soja e a alfafa podem fornecer 50 e 170 kg ha^{-1} de N, respectivamente, para a cultura em sucessão. Segundo Amado et al. (2000) a equivalência em fertilizante nitrogenado foi estimada em 55 kg ha^{-1} de N para a ervilhaca e 38 kg ha^{-1} de N e aveia mais ervilhaca. Nas camadas de 5 a 20 cm da superfície do solo constatou-se maior presença de N na forma amoniacal, devido a redução da população microbiana responsável pela nitrificação, redução de matéria orgânica e aeração do solo, dificultando o processo de nitrificação (Gatto et al., 1999).

Basso (1999) encontrou que no florescimento do milho, os teores de N mineral no solo foram inferiores aos encontrados antes da semeadura e da aplicação de N em cobertura o que se justifica pela absorção intensa do N nesse estágio.

Blackmer & Voss (1997) adotam o teor de 25 mg dm^{-3} de nitrato na camada de 0 a 30 cm no estágio de quatro folhas do milho como valor crítico para definir a necessidade da adubação de cobertura, no estado de Iowa, EUA (“Pre-Sidedress Nitrate Test”).

A dinâmica do N no solo é complexa e a quantidade de N disponível é variável em função da cultura antecessora, dos processos de imobilização, mineralização, das

perdas, da cultura sucessora, das condições edafoclimáticas, do sistema de cultivo e outros fatores, que acabam por dificultar sobremaneira a utilização do solo como indicativo da necessidade ou não de aplicar N.

4.5 Índice relativo de clorofila e o manejo da adubação nitrogenada no milho

As folhas de milho sadias devem ter coloração verde escura brilhante que indicam altos níveis de clorofila, essenciais para captar a energia solar e produzir açúcares necessários para o crescimento e o desenvolvimento da planta (Berger, 1993). O teor de clorofila é um indicador do nível de nitrogênio na planta de milho e o teor de N nas folhas está altamente correlacionado com a produtividade do milho (Smeal & Zhang, 1994; Wood et al., 1992; Waskom et al., 1996; Blackmer et al., 1994; Ma & Dwyer, 1997 e Lee et al., 1999) por causa da associação entre a atividade fotossintética e o teor de N nas folhas (Evans, 1983; Ma, et al., 1995).

Os métodos de determinação de clorofila são destrutivos, demorados e realizados em laboratório o que impede a sua utilização para predizer deficiências de N de forma rotineira. Com a invenção de um medidor portátil (Minolta SPAD-502, Minolta Corporation LTD, Osaka, Japão, 1989) que mede intensidade da coloração verde da folha (quantidade de luz absorvida pela clorofila) é possível obter valores indiretos do teor de clorofila presente nas folhas de modo não destrutivo, rápido e simples.

A habilidade para determinar o conteúdo de clorofila nas folhas usando o medidor indireto de clorofila (Minolta SPAD-502) já foi demonstrado não somente o para milho (Dwyer et al., 1991; Piekielek & Fox, 1992; Schepers et al., 1992; Wood et al., 1992;

Bullock & Anderson, 1998) mas também para o algodão (Wood et al., 1993), batata (Minotti et al., 1994), sorgo (Marquard & Tipton, 1987), soja (Yadava, 1986), arroz (Peng et al., 1993; 1989; Turner & Jund, 1991) e trigo (Follet et al., 1992; Fox et al., 1994). Smeal & Zhang (1994) concluem em seu trabalho que o medidor de clorofila SPAD-502 proporciona uma precisa e rápida avaliação do nível de N na planta de milho ao longo dos estádios de crescimento.

O maior benefício do medidor SPAD-502 de acordo com Piekielek et al. (1992), é a conveniência de uso onde uma área de produção pode ser amostrada em minutos obtendo a resposta imediata. O custo do aparelho pode ser proibitivo para alguns produtores (US\$1400,00), mas não para grandes áreas, empresas de consultoria e associação ou cooperativas de produtores.

Uma das maneiras de melhorar a eficiência da adubação nitrogenada e reduzir os riscos de contaminação do lençol freático é sincronizar a disponibilidade de N no solo com a necessidade da planta o que pode ser conseguido com o uso da medida indireta de clorofila (Blackmer & Schepers, 1994; Peterson, et al., 1993).

De acordo com Bullock & Anderson (1998), o medidor portátil de clorofila pode ser uma importante ferramenta para detectar condições de deficiência de N na cultura do milho, mas não pode ser usado para predizer, com precisão, quanto adubo nitrogenado deve ser adicionado para o futuro crescimento da planta e identificar locais onde há excesso de N no solo.

O medidor portátil SPAD-502 mostra baixa sensibilidade ao consumo de luxo de N, porque o aparelho mede a intensidade de coloração verde e o nitrogênio que não estiver incorporado à moléculas de clorofila (absorvido pelo consumo de luxo) não refletirá na

variação da intensidade da coloração verde (Blackmer & Schepers, 1994). Piekielek et al. (1995) no entanto sugerem que para o milho no estágio de grão pastoso a leitura do medidor SPAD-502 na folha da espiga deve estar entre 52 a 56 unidades SPAD, acima da qual há 70 % de probabilidade de haver um excesso maior que 50 kg ha⁻¹ de N aplicado na adubação.

Peterson et al. (1993) e Blackmer & Schepers (1994) afirmam que o uso do medidor SPAD-502 utilizado como um instrumento no manejo da adubação nitrogenada, denominada "adubação quando necessário", é especialmente apropriado onde o nitrogênio adicional pode ser aplicado através do sistema de irrigação.

Em seu trabalho Bullock & Anderson (1998) observaram que as correlações entre as leituras de medidor de clorofila SPAD-502 e a dose de adubo nitrogenado aplicado no solo para o milho foram significantes, mas muito baixas (0,11, 0,22 e 0,22) para os três estágios de desenvolvimento (planta com sete folhas totalmente expandidas, início do florescimento feminino e início do enchimento de grãos) devido provavelmente aos altos teores de N inicial no solo que limitou as respostas.

O estágio de seis folhas foi considerado inadequado para separar áreas com plantas deficientes ou não deficientes em nitrogênio nas condições experimentais de Waskom et al. (1996) e Rozas & Echeverría (1998) utilizando o medidor de clorofila SPAD-502. Provavelmente o nitrogênio residual existente no solo atenda a necessidade das plantas até esse estágio. O SPAD-502 pode prever a suficiência ou deficiência de nitrogênio mais precisamente nos estágios de 10 folhas e no pendoamento do que no estágio de seis folhas. No entanto Piekielek et al. (1997), Peterson et al. (1993) e Blackmer & Schepers (1994) recomendam a amostragem a partir do estágio de seis folhas onde é mais acentuada a absorção de nitrogênio até 20 dias após o florescimento feminino. De acordo com os resultados de

Varvel et al. (1997) as medidas com o SPAD-502 devem ser tomadas antes do estágio de oito folhas do milho para que a deficiência possa ser corrigida.

Segundo SCHEPERS et al. (1992), folhas jovens mostram grande variabilidade na leitura com o SPAD-502 ao longo o comprimento da folha de milho. Varvel et al. (1997a) e Piekielek et al. (1997) recomendam que a leitura com o medidor SPAD-502 deve ser realizada na folha mais recentemente expandida, ou seja, na folha mais superior em que a inserção lâmina-bainha da folha chamada de "colar" esteja totalmente visível nos estádios vegetativos. Após o aparecimento da espiga a amostragem deve ser realizada na folha da espiga. (Blackmer & Schepers, 1994; Varvel et al., 1997a; Peterson et al., 1993; Piekielek et al., 1997). Já Chapman & Barreto (1997) estabeleceram num estudo com milho tropical que pelo menos quatro folhas por parcela devem ser amostradas tomando várias leituras na região da folha distante 40 a 70 % do comprimento da folha em relação a base (colar).

Leituras do SPAD-502 na porção mais próxima da ponta da folha do milho se correlaciona melhor ($r = 0,91$, $P < 0,01$) com o teor de N na folha do que na porção da lâmina mais próxima da bainha durante o estágio de florescimento feminino (Ma & Dwyer, 1997). A realização das leituras com o aparelho SPAD-502 após a aplicação do N em cobertura segundo Resende et al. (1994b) deve ser realizada após 10 dias da aplicação, correspondente à época de máxima resposta do teor de clorofila e preferencialmente no período da manhã e após um dia da irrigação ser realizada devido às melhores correlações obtidas entre as leituras do aparelho e o teor de N na folha da planta de milho.

De acordo com Waskom et al. (1996) a amostragem de 50 folhas de planta de milho por hectare em área comercial implica em um menor desvio padrão das

leituras do medidor SPAD-502, possibilitando uma melhor definição de locais com deficiência de N. No entanto, para as condições do experimento a amostragem de 30 folhas por hectare foi suficiente para diferenciar locais com deficiência de N, felizmente porque o aparelho tem a capacidade de armazenar trinta leituras.

Bullock & Anderson (1998), afirmam que nem todos os híbridos tem a mesma coloração e mesmo um determinado híbrido não apresenta a mesma coloração nas diferentes doses de adubo nitrogenado. Com o aumento do N disponível, mais clorofila é produzida nas folhas e a planta de milho intensifica o verde das suas folhas. O ambiente, os híbridos e a interação entre eles têm grandes efeitos nas leituras do medidor de clorofila SPAD-502.

De acordo com Schepers et al. (1992) e Costa et al., (2001) é necessário um método de normalização das leituras do medidor de clorofila SPAD-502 para cada área de cultivo, híbrido, estágio de crescimento, condições edafoclimáticas e práticas culturais porque esses fatores podem limitar a confiabilidade do uso do SPAD-502 na determinação no teor de N na folha da planta de milho.

A normalização dos dados através do índice de suficiência (IS = média das leituras do SPAD-502 nas amostras dividido pela média das leituras do SPAD-502 nas área de referência) utilizando uma área de referência otimamente adubada com nitrogênio, onde teoricamente não há deficiência de N, permite comparar dados entre diferentes híbridos, locais, condições edafoclimáticas e datas de amostragem. Blackmer & Schepers (1994), Peterson et al., (1993), Piekielek et al. (1997) e Varvel et al. (1997a) utilizaram em suas pesquisas o índice de suficiência igual a 95% para prever a deficiência de nitrogênio na cultura do milho. Rozas & Echeverría (1998) indicam um índice de suficiência entre 0,97 e

0,98 deve ser mantido nos estádios superiores ao de seis folhas para alcançar 95% de rendimento máximo. Índices de suficiência abaixo de 0,93 indicam situações de deficiência de N de acordo com Jemison & Lytle (1996). Segundo Varvel et al. (1997a) se o índice de suficiência for menor que 0,90 no estágio de oito folhas a deficiência de N não pode ser corrigida com a adubação de cobertura a ponto de maximizar a produtividade. Trabalhando com a medida indireta de clorofila Resende et al. (1994a) verificaram que plantas com estresse hídrico apresentam redução na leitura do aparelho e aumento no IS quando comparadas com plantas sem estresse.

Fox et al., (2001) observaram que a leitura do clorofilômetro corrigida com a leitura em uma área de referência com alto N no solo no estágio de grão pastoso no milho pode prever com precisão de 92% o estado nutricional em N do milho.

Piekielek et al. (1997) recomendam que área de referência para as condições norte americanas do milho irrigado devem ser adubadas manualmente com 170 a 200 kg ha⁻¹ de N e constituídas de duas áreas com quatro linhas de seis metros de comprimento ou por uma faixa longa adubada mecanicamente.

Quando a necessidade de N é indicada pelo índice de suficiência menor ou igual a 0,95 devem ser adicionados de 22 a 45 kg ha⁻¹ de N através de fertirrigação (Peterson et al.,1993). Blackmer & Schepers (1994) utilizaram em seu trabalho a aplicação de 33 kg ha⁻¹ de N por aplicação via fertirrigação toda vez que o IS ≤ 0,95 e Varvel et al. (1997a) a dose de 30 kg ha⁻¹ de N por aplicação.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização e Caracterização da Área Experimental

O experimento foi instalado e conduzido na área experimental da Fazenda Experimental São Manuel, localizada na cidade de São Manuel, SP e pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Botucatu, SP. As coordenadas geográficas da área são: 22°44'50", de latitude sul, 48°34'00" de longitude oeste de Greenwich e aproximadamente 765 m de altitude média.

A vegetação primária da área é descrita como Cerrado Tropical e anteriormente a área tinha sido cultivada com milho para produção da própria fazenda.

5.2 Caracterização do Clima

O clima de região segundo os dados médios coletados pela Cooperativa de Cafeicultores de São Manuel (CAFENOEL) numa série de 46 anos e adotando

os critérios citados por Köppen, é Cfa (clima temperado chuvoso), caracterizado pela existência de quatro ou seis meses consecutivos com temperaturas médias acima de 10°C, sendo a temperatura média do mês mais quente de 22,7°C e do mês mais frio de 16,7°C. A média da temperatura máxima no mês mais quente (dezembro) é 28,3°C e a média da temperatura mínima no mês mais frio (julho) é de 11,4°C. O total da precipitação pluvial média anual é de 1534 mm, apresentando o total médio para o mês mais chuvoso (janeiro) de 242 mm e de 38 mm para os meses mais secos (junho e agosto).

5.3 Caracterização do solo

O solo onde foi instalado o experimento é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico textura média A moderado fase cerrado tropical subcaducifolia relevo ondulado (Embrapa, 1999). O solo apresenta erosão laminar ligeira e pode ser considerado fortemente drenado de acordo com Lemos & Santos, (1996). A declividade do terreno é de 4 a 5 %.

Para a caracterização química do solo foram coletadas amostras (composta de 20 amostras simples) nas profundidades aproximadas de 0 a 20, 20 a 40, 40 a 60 cm em toda área experimental com a utilização de um trado tipo holandês, homogeneizadas em um balde e acondicionadas em sacos plásticos previamente identificados. A análise química foi realizada no Laboratório de Fertilidade do Solo Departamento de Recursos Naturais, Setor de Ciência do Solo da Faculdade de Ciências Agronômicas, determinando o pH (em CaCl_2), H^+ e Al^{+3} , Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^+ e matéria orgânica segundo a metodologia adaptada de Raij & Quaggio (1983); P(resina), S, B, Zn, Mn, Cu e Fe segundo a metodologia

adaptada de Raij et al., (2001). Para a caracterização física foram coletadas amostras até 100 cm (de 20 em 20 cm) e a análise física foi realizada no laboratório de Física do solo do mesmo departamento, determinando a composição granulométrica e a densidade das partículas e do solo e água retida a 0,03 e 1,5 MPa de acordo com a metodologia da Embrapa (1997). Os resultados obtidos são apresentados nos Quadros 1 e 2.

Quadro 1. Análise química do Latossolo Vermelho Distrófico da área experimental na FESM antes de ser corrigido.

Profund. cm	pH CaCl ₂	M.O. g dm ⁻³	P(resina) mg dm ⁻³	H ⁺ +Al ³⁺ ----- mmol _c dm ⁻³ -----	Al ³⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	CTC	V %	B	Cu	Fe	Mn	Zn
0 – 20	4,8	11	9	26	0	1,5	12	6	19	46	42	0,11	1,1	21	10	0,6
20 – 40	4,3	9	3	26	3	1,1	8	3	12	38	32	0,08	1,1	21	10	0,2
40 – 60	4,2	6	2	25	3	1,0	7	2	10	35	29	0,04	1,7	16	10	0,3

Quadro 2. Análise física do Latossolo Vermelho Distrófico da área experimental na FESM antes de ser preparado.

Profund.	Composição granulométrica de terra fina									Textura do solo	Densidade		Água retida	
	AMG (2,00- 1,00 mm) ¹	AG (1,00- 0,50 mm) ¹	AM (0,50- 0,25 mm) ¹	AF (0,25- 0,10 mm) ¹	AMF (0,10- 0,05 mm) ¹	Areia (2,00- 0,05 mm)	Silte (0,05- 0,002 mm)	Argila (<0,002 mm).	Part.		Solo	0,03 MPa	1,5 MPa	
	----- % -----										----g cm ⁻³ ---		---- kg kg ⁻¹ ----	
Cm														
0 – 20	1	2	32	43	9	86	1	12	Arenosa	1640	2700	0,06	0,04	
20 – 40	0	2	25	43	12	82	1	17	Média	1680	2600	0,08	0,05	
40 – 60	0	1,5	21	51	14	88	1	11	Arenosa	1660	2700	0,05	0,03	
60 – 80	0	1,5	21	51	14	88	1	11	Arenosa	1660	2700	0,05	0,03	
80 – 100	0	1,8	27	36	9	75	10	15	Média	1760	2800	0,12	0,07	

¹ AMG – areia muito grossa; AG – areia grossa; AM – areia média; AF – areia fina; AMF – areia muito fina

5.4 Caracterização do cultivar utilizado

O cultivar de milho utilizado foi o 8410 da Dow Agro Science, um híbrido simples de alto potencial produtivo, indicado para áreas com uso de alta tecnologia, altamente responsivo a doses de N, excelente opção para plantio em áreas irrigadas. Apresenta ciclo precoce (para florescimento, maturação fisiológica e colheita a 20%), com plantas de porte baixo (2,00 m de altura e espiga a 1,06), baixa prolificidade caracterizando uma lavoura uniforme. Possui grãos semiduros e alaranjados, empalhamento bom, colmo com boa resistência ao quebramento e raízes com boa performance em estresse hídrico e boa resistência ao acamamento.

5.5 Dados meteorológicos

Os dados de precipitação (em mm), temperatura máxima, média e mínima (graus Celsius) coletados diariamente durante a realização do experimento foram obtidos através de pluviômetro e termômetros de máxima e mínima temperatura do ar, respectivamente, situados em uma central de coleta de dados climáticos instalado na Fazenda Experimental São Manuel, distante 300 metros da área experimental.

5.6 Delineamento Experimental e Tratamentos

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso composto por nove tratamentos envolvendo duas doses de nitrogênio um dia antes da

semeadura e manejos do nitrogênio em cobertura, com quatro repetições. As parcelas experimentais (8 x 5 m) foram constituídas de seis linhas de plantas de milho de oito metros de comprimento, espaçadas de 85 cm utilizando a densidade de seis plantas por metro. Foram consideradas como bordadura as duas linhas mais externas da parcela e 1,5 m inicial de cada linha, deixando um espaçamento de 0,5 m entre as parcelas.

Foram adotadas duas doses de N aplicadas um dia antes da semeadura: 0 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de N simulando diferentes níveis de N no solo. Nas parcelas que não receberam N antes da semeadura foram estabelecidos os seguintes manejos de N em cobertura: (1) 0 kg ha⁻¹ de N (testemunha), (2) 60 e 40 kg ha⁻¹ de N respectivamente nos estádios V₅ e V₇, (3) 42 e 28 kg ha⁻¹ de N respectivamente nos estádios V₅ e V₇, (4) 20 kg ha⁻¹ de N quando necessário e (5) 35 kg ha⁻¹ de N quando necessário.

Nas parcelas que receberam 60 kg ha⁻¹ de N um dia antes da semeadura foram estabelecidos os seguintes manejos de N em cobertura: (6) 24 e 16 kg ha⁻¹ de N respectivamente nos estádios V₅ e V₇, (7) 20 kg ha⁻¹ de N quando necessário, (8) 35 kg ha⁻¹ de N quando necessário e (9) 80 e 60 kg ha⁻¹ de N respectivamente nos estádios V₅ e V₇. A necessidade de N em cobertura nas plantas dos tratamentos (4), (5), (7) e (8) foi considerada de acordo com o cálculo do Índice de Suficiência de N na planta (*ISN*) obtido através da média dos valores das leituras do medidor indireto de clorofila (SPAD-502) na parcela (*LA*) e na área de referência (*LR*) pela equação 1.

$$ISN = (LA / LR) \quad (Eq. 1)$$

Quando o *ISN* foi maior ou igual a 0,95 não foi aplicado o N em cobertura e quando o *ISN* foi menor que 0,95 foram aplicadas as doses citadas acima nas suas respectivas parcelas, aproximadamente 24 horas após o cálculo dos índices. O monitoramento

do ISN foi realizado nos seguintes estádios fenológicos: plantas com quatro a cinco folhas (V4), com sete a oito (V7), com dez a onze folhas (V10), no início do pendoamento e após o florescimento feminino.

A primeira parcela da adubação nitrogenada de cobertura nos tratamentos (4), (5), (7) e (8) foi aplicada independente do ISN para atender a demanda inicial da planta e evitar prejuízos no potencial produtivo definido no início do ciclo do milho. As doses aplicadas (20 e 35 kg N ha⁻¹) foram elevadas no estágio V10 para 35 e 50 kg N ha⁻¹ como a finalidade de elevar o ISN acima de 0,95 e mantê-lo para evitar uma aplicação mais tardia de N em cobertura.

Foi considerada como área de referência as parcelas do tratamento (9) que receberam uma dose de 200 kg ha⁻¹ de N por parcela, sendo aplicado 60 kg ha⁻¹ de N um dia antes da semeadura, 80 kg ha⁻¹ de N no estágio de quatro a cinco folhas e 60 kg ha⁻¹ de N no estágio de sete a oito folhas. A fonte de N utilizada nas aplicações em cobertura foi o sulfato de amônio (21% N e 23,5% S).

Quadro 3. Tratamentos aplicados às parcelas experimentais

Tratamento	Dose um dia antes da semeadura (kg ha ⁻¹ de N)	Manejo do Nitrogênio em cobertura
1	0	0 kg ha ⁻¹ de N
2	0	60 e 40 kg ha ⁻¹ de N respectivamente nos estádios V ₅ e V ₇
3	0	42 e 28 kg ha ⁻¹ de N respectivamente nos estádios V ₅ e V ₇
4	0	20 kg ha ⁻¹ de N quando o ISN < 0,95
5	0	35 kg ha ⁻¹ de N quando o ISN < 0,95
6	60	24 e 16 kg ha ⁻¹ de N respectivamente nos estádios V ₅ e V ₇
7	60	20 kg ha ⁻¹ de N quando o ISN < 0,95
8	60	35 kg ha ⁻¹ de N quando o ISN < 0,95
9	60	80 e 60 kg ha ⁻¹ de N respectivamente nos estádios V ₅ e V ₇

As plantas que não receberam N em cobertura (tratamento 1) foram utilizadas para avaliar a capacidade do solo em suprir N à cultura do milho. As doses aplicadas nas parcelas dos tratamentos que receberam duas aplicações de N em cobertura (2, 3, 6 e 9) foram baseadas nas recomendações de Raij & Cantarella, (1996) para produtividades de grãos entre 6 e 8 t ha⁻¹ e nas classes de resposta à aplicação de N. As doses utilizadas nos tratamentos 4, 5, 7 e 8 foram embasadas nas recomendações de Piekielek et al., (1997), e Blackmer & Schepers (1994) destinadas à cultura do milho fertirrigado nos Estados Unidos.

5.7 Procedimento Experimental: Preparo do solo, implantação e condução da cultura do milho.

O solo já havia sido preparado com uma aração e uma gradagem no mês de agosto juntamente com o processo de calagem para servir como área de produção da Fazenda. A baixa eficiência de correção desta aplicação até novembro verificado pela saturação de bases (Quadro 1), optou-se por realizar uma nova calagem aplicando aproximadamente 2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT de 92%) e incorporado com duas gradagens leves. A adubação nitrogenada foi realizada um dia antes da semeadura (24/11/2000) aplicando manualmente na superfície do solo a dose de 60 kg ha⁻¹ de N na área total das parcelas pertencentes a esse tratamento, utilizando como fonte o sulfato de amônio (21%N). Foi ainda realizada uma gessagem na dose aproximada de 500 kg ha⁻¹ de gesso agrícola (20% de Ca e 17% de S) para reduzir o alumínio em subsuperfície e elevar o teor de S no solo a um nível de suficiência evitando o efeito do S adicionado juntamente com o sulfato de amônio nos diferentes tratamentos.

A adubação de semeadura para N, P, e K foi realizada de acordo com a análise de solo e baseada nas recomendações feitas por Raij & Cantarella (1996) utilizando a dose de 310 kg ha^{-1} do formulado 08-28-16 + 0,4% Zn equivalente a aproximadamente 25, 200, 60 e $1,2 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, P_2O_5 e K_2O e Zn.

A semeadura do milho foi realizada em 25 de novembro de 2000, utilizando uma semeadora - adubadora tratorizada de três linhas. Para assegurar o espaçamento proposto de 85 cm entre as linhas foram utilizados apenas dois “carrinhos” da semeadora com sementes e adubo servindo o terceiro para marcação da próxima linha, e com uma distribuição aproximada de sete sementes por metro, ajustando através do desbaste para seis plantas por metro visando à obtenção de aproximadamente $70600 \text{ plantas ha}^{-1}$.

Foram construídos pequenos terraços com a finalidade de evitar a erosão laminar e conseqüente perda de nutrientes e contaminação de parcelas no sentido do declive.

O controle de plantas daninhas foi realizado utilizando o herbicida Primextra SC (Atrazine + Metolachlor) em pré-emergência (dois dias após a emergência - DAE) aplicado através de um pulverizador de barras acoplado ao um trator na dose de sete litros do produto comercial por hectare.

A lagarta do cartucho do milho (*Spodoptera frugiperda* Smith, 1797) foi controlada com duas pulverizações (uma aos 15 DAE – plantas com três folhas – e outra aos 29 DAE – plantas cinco a seis folhas) de jato dirigido ao cartucho da planta de milho utilizando o inseticida Decis 25 CE (Deltamethrim) na dose de 200 ml do produto comercial por hectare. Além da lagarta do cartucho foram controladas também as saúvas no início do

ciclo com a aplicação do formicida Pikapau 50 (Fosfotirionato) nos olheiros através de uma bomba injetora.

A adubação potássica em cobertura foi realizada de acordo com as recomendações feitas para o milho por Raij & Cantarella (1996) juntamente com a primeira parcela da adubação nitrogenada em cobertura. Utilizou-se uma dose de 40 kg ha^{-1} de K_2O na forma de cloreto de potássio (50%K) aplicado manualmente em uma faixa distante 15 cm do colmo das plantas. A adubação nitrogenada em cobertura foi aplicada de acordo com os tratamentos adotando a mesma metodologia de aplicação do cloreto de potássio.

Foi adotada a irrigação suplementar por aspersão (aspersor com vazão de $3 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, espaçados de 12 m e com barra de elevação de 2,50 m) para evitar a ocorrência de déficits hídricos por períodos prolongados.

5.8 Variável do solo avaliada: nitrogênio inorgânico (NO_3^- e NH_4^+) no solo

Foram retiradas amostras de solo nas profundidades de 0 a 20, 20 a 40, 40 a 60, 60 a 80 e 80 a 100 cm para a análise de nitrogênio inorgânico (NO_3^- e NH_4^+) disponíveis no solo nas seguintes épocas: 1) antes da aplicação do N antes da semeadura (17 dias antes da semeadura), 2) após a aplicação do N em pré-semeadura e antes da adubação de cobertura (20 dias após a emergência - DAE) e, 3) no final do ciclo (125 DAE).

A amostragem antes da semeadura foi realizada em 15 pontos distribuídos ao acaso na área total do experimento. Na segunda coleta realizada após a aplicação do N um dia antes da semeadura (20 DAE) e antes da adubação nitrogenada de cobertura as amostras de solo foram coletadas em um ponto situado à aproximadamente 15-20

cm do colmo das plantas em três linhas de cada parcela, totalizando três pontos por parcela, para cada profundidade. A terceira coleta foi realizada no final do ciclo (125 DAE) utilizando o mesmo procedimento realizado na segunda coleta.

As amostragens foram realizadas com a utilização de um trado tipo holandês (Bravifer) com caçamba de 20 cm e diâmetro de 7,5 cm e cabo de 1,30 m de comprimento. Para evitar a contaminação das amostras de cada camada com o solo das camadas superiores foi retirada uma camada aproximada de 5 cm antes da coletar a amostra na profundidade determinada.

As amostras foram coletadas em sacos plásticos com capacidade para dois litros e armazenadas em um isopor com gelo para reduzir a mineralização da matéria orgânica, até serem levadas para o laboratório para a secagem.

Logo após a coleta das amostras estas foram levadas pra o Laboratório da Fazenda Experimental São Manuel no qual estas foram homogeneizadas e submetidas à secagem à sombra em bandejas de isopor durante 48 horas.

Após a secagem as amostras foram tamisadas em peneira de malha de 2,0 mm tomando uma subamostra de aproximadamente 100g em saco plástico armazenada, logo em seguida, à temperatura de $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (freezer) adaptado da metodologia citada por Mattos Júnior et al., (1995). O N inorgânico (NO_3^- e NH_4^+) do solo foi extraído por agitação de 5,00 g de TFSA em 50 ml de solução de KCl 1,0 N durante uma hora, tomando-se, com o uso de uma pipeta de volume variável (2 – 10 ml, ponteira 63, da Finnpipette) uma alíquota de 30 ml do sobrenadante em tubo de ensaio após 14 horas de repouso, evitando o processo de filtração. O amônio (NH_4^+) e o nitrato (NO_3^-) foram reduzidos a amônia (NH_3) respectivamente por MgO e pela Liga de Devarda (mistura de Cu, Al e Zn) e aprisionados em

solução de ácido bórico por meio de um destilador de arraste de vapor semimicro Kjeldahl (Destilador de Nitrogênio, MA036, MARCONI[®]) segundo metodologia adaptada de Tedesco et al., (1995). Ambos (NH_4^+ e NO_3^-) foram determinados por meio de titulometria com H_2SO_4 0,005 N (fator de 0,07 mg N mL^{-1} de ácido) utilizando bureta digital (modelo EM 50 mL da Hirschmann Laborgeate) segundo metodologia adaptada por Tedesco et al., (1995). O nitrito (NO_2^-) determinado juntamente com o nitrato pode ser considerado desprezível de acordo com Cantarella & Trivelin (2001).

5.9 Variáveis das plantas avaliadas

5.9.1 Índice Relativo de Clorofila (IRC)

O Índice Relativo de Clorofila (IRC) foi determinado utilizando um medidor portátil Chlorophyll Meter, modelo SPAD-502 (Soil and Plant Analysis Development) da Minolta Co., Osaka, Japão (1989).

O aparelho possui duas LEDs (diodo emissor de luz) posicionadas na ponta do medidor que emitem luz na faixa do 600-700 nm (pico em 650 nm) e na faixa de 860 a 1060 (pico em 940 nm) em sequência quando o medidor está fechado. A luz vinda destas LEDs passa pela janela de emissão, parte passa através da folha, parte é absorvida e parte é refletida. A luz que passa pela folha entra na janela de recepção constituída por um SPD (Fotodiodo de silicone) e é convertida em sinais elétricos, amplificados, convertidos de sinais analógicos para digitais e processados dando o valor lido em uma unidade denominada SPAD

pela empresa como homenagem ao departamento que inventou o aparelho. A precisão do aparelho é de uma unidade SPAD para valores entre 0 e 50 unidades SPAD.

Essas faixas de comprimento de onda utilizadas no aparelho (região do vermelho – 650 nm - a absorbância é alta e não é afetada por caroteno, licopenos ou antocianinas; e a região do infravermelho – 940 nm - absorbância é extremamente baixa.) foi baseada nos dois picos de absorbância da clorofila “in vitro”, um na região do azul (comprimento de onda aproximado de 430 nm) e outro na região do vermelho (650 nm), com baixa absorbância na região do verde e amarelo e quase nenhuma absorbância na região do infra vermelho (fora da luz visível).

As leituras foram realizadas no período da manhã entre nove e dez horas, sombreando o aparelho com o corpo para evitar interferência da luz solar, em 10 plantas por parcela, nos seguintes estádios fenológicos: 1) plantas com quatro a cinco folhas; 2) plantas com sete a oito folhas; 3) plantas com dez a onze folhas e 4) plantas com 12 folhas (pendoamento) e 5) duas semanas após o florescimento feminino.

Antes de realizar as leituras o aparelho foi calibrado com o verificador de leitura (“reading checker”) de acordo com as recomendações do manual. Tomou-se o cuidado de não amostrar plantas saudáveis (sem ataque de pragas e ocorrência de doenças) e atípicas (fora de espaçamento).

Em cada planta foi realizada a leitura em quatro pontos da folha (dois pontos de cada lado) mais expandida recentemente, ou seja, na folha mais superior, em que, a inserção lâmina-bainha foliar (chamado de "colar") estivesse visível. Duas semanas após o florescimento a amostragem foi realizada na folha da espiga e não mais na folha mais recentemente expandida. Os quatro pontos amostrados por folha estavam localizados a 6 mm

da margem da lâmina da folha, distância fixada pelo regulador de profundidade do aparelho, e de 10 a 20 cm da ponta da folha (Figura 1). Destes quatro pontos amostrados foram selecionadas as duas maiores leituras obtidas em um lado da folha e calculado a média. Este procedimento foi adotado para eliminar leituras menores ocasionadas por danos na base da folha causados por pragas como a lagarta do cartucho.

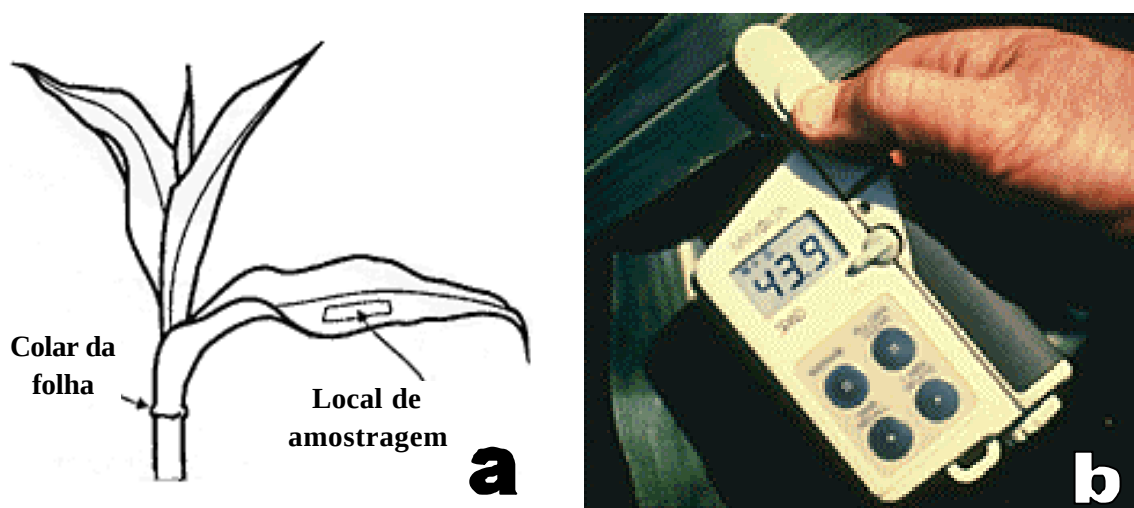


Figura 1. (a) Local de amostragem na folha da planta de milho e (b) o clorofilômetro (Chlorophyll meter SPAD-502, da MINOLTA) utilizado para determinar o Índice Relativo de Clorofila (IRC) (adaptado de Peterson et al., 1993).

5.9.2 Análise do teor de N na lâmina foliar e no grão

Logo após a determinação do índice relativo de clorofila as folhas amostradas de 10 plantas/parcela foram imediatamente coletadas, acondicionadas em sacos de papel para posterior análise do teor de N total conforme metodologia descrita Malavolta et al. (1997) no Laboratório de Nutrição de Plantas da do Departamento de Recursos Naturais, setor

de Ciência do Solo da Faculdade de Ciências Agronômicas para verificar a influência do manejo da adubação nitrogenada no teor de N e estabelecer correlações entre o teor de N folha e teor de clorofila com as leituras do clorofilômetro SPAD-502. Na maturidade fisiológica foram coletadas espigas para determinação do N nos grãos conforme metodologia descrita por Malavolta et al., (1997).

5.9.5 Produtividade de grãos

A produtividade de grãos foi avaliada colhendo-se manualmente as espigas das plantas em 5 m das duas linhas centrais de cada parcela totalizando uma área de 8,5 m². As espigas foram pesadas, despalhadas manualmente, pesadas novamente e debulhadas em uma máquina de debulha elétrica, pesando-se em seguida somente os grãos. Antes de serem debulhadas foram avaliados nas espigas de 10 plantas por parcela o comprimento e o diâmetro médio das espigas (em cm). Após a debulha foi retirada uma amostra dos grãos de cada parcela, pesada e submetida à secagem a 65 °C em estufa de circulação forçada de ar até atingir massa constante para determinação do teor de água dos grãos para a correção da massa de grãos produzida para o teor de água de 13%.

5.10 Tratamento Estatístico

Os resultados foram submetidos à análise estatística, utilizando o software "*ESTAT*" versão 2.0. Realizou-se a análise de variância dos resultados e comparou-se ao nível de 5% de risco através do teste F e pelo teste de Tukey para comparação de médias

de acordo com Mischon & Pinho (1996). Os dados do IRC foram analisados em esquema fatorial considerando como fator A o manejo do nitrogênio antes e após a semeadura (9 níveis) e como fator B os estados fenológicos (5 níveis). Foram estabelecidas correlações lineares como medida de dependência entre a leitura do clorofilômetro (variável x) e o teor de N na folha, na planta e a produtividade de grão (variável y) como sugerido por Gomes, (2000) uma vez que x e y estão sujeitos a erros ponderáveis. Para verificar a significância do coeficiente de correlação foi utilizado o teste t . Os dados obtidos foram plotados em gráficos para melhor visualização da dependência entre as variáveis e ajustada uma equação de primeiro grau.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Índice Relativo de Clorofila - IRC

O Índice Relativo de Clorofila (IRC) obtido pelo clorofilômetro (SPAD-502, Minolta, Japão) diferiu em função dos diferentes manejos do nitrogênio em cobertura e em função dos estádios fenológicos da cultura do milho (Quadro 4) o que vem a confirmar os resultados de Argenta et al., (2000a) sendo dois dos fatores que impede a adoção de um valor crítico geral (para todos os estádios fenológicos) para a cultura do milho.

No estágio de cinco folhas totalmente desenroladas (V₅, 25 dias após a emergência) e após trinta dias do adubo nitrogenado aplicado antes da semeadura não houve diferença significativa no IRC entre as plantas que receberam ou não a dose de 60 kg ha⁻¹ provavelmente, em função do nitrogênio aplicado no sulco de semeadura para todos os tratamentos (26 kg ha⁻¹) e do nitrogênio inorgânico e prontamente mineralizável do solo atenderem a demanda da planta até este estágio. Piekielek & Fox, (1992) citam que a

Quadro 4. Índice relativo de clorofila (IRC) determinado pelo clorofilômetro (SPAD-502, MINOLTA) nos estádios fenológicos da cultura do milho influenciado pelo manejo do nitrogênio na FESM, São Manuel, SP, no ano de 2000.

Trat.	Época de aplicação do N ⁽¹⁾						Total N	Estádios fenológicos do milho ⁽³⁾					Média
								V ₅ (22 DAE)	V ₇ (37 DAE)	V ₁₀ (44 DAE)	Pendoamento (53 DAE)	Duas sem. após o Florescimento (71 DAE)	
	AS	S	V ₅ ⁽³⁾	V ₇	V ₁₀	V ₁₂		Índice Relativo de Clorofila na lâmina foliar					
	----- Doses (kg ha ⁻¹) -----						kg ha ⁻¹	----- SPAD ⁵ -----					
1	0	26	0	0	0	0	26	45,0 A a ⁽²⁾	38,4 B d	32,4 C d	34,5 BC d	19,5 D d	34,0 f
2	0	26	60	40	0	0	126	44,2 C a	51,0 AB ab	47,2 BC ab	52,5 A b	49,8 AB b	49,0 bc
3	0	26	42	28	0	0	126	46,5 BC a	50,4 AB abc	45,0 C bc	51,3 A bc	42,9 C c	47,2 cde
4	0	26	20	20	30	20	116	44,4 BC a	46,6 AB bc	40,1 C c	50,2 A bc	50,0 A b	46,3 de
5	0	26	35	35	50	35	181	45,4 B a	48,8 B abc	47,0 B ab	53,9 A ab	53,9 A ab	49,8 b
6	60	26	24	16	0	0	126	45,8 A a	47,6 A bc	41,0 B c	46,7 A c	44,3 AB c	45,1 e
7	60	26	20	20	30	20	176	46,7 BC a	45,4 C c	40,1 D c	51,7 A bc	50,1 AB b	46,8 cde
8	60	26	35	35	50	35	241	46,6 BC a	48,2 AB bc	43,2 C bc	52,5 A b	51,9 A ab	48,5 bcd
9	60	26	80	60	0	0	226	45,1 D a	53,9 BC a	51,4 C a	58,7 A a	56,1 AB a	53,0 a
Média Geral								45,5 C	47,8 B	43,1 D	50,2 A	46,5 BC	

(1) AS - um dia antes da semeadura; S – na semeadura;

(2) Letras maiúsculas na linha e minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

(3) Estádios fenológicos adaptado de FAGERIA et al., (1997).

(4) DMS dentro do est. fenológico (0,05%) = 5,22; DMS dentro do manejo (0,05%) = 4,58; CV% = 5,02

(5) SPAD (Soil and Plant Analysis Development) = unidade adotada pela MINOLTA (1989)

utilidade do IRC na folha cinco é limitada para identificar locais que responderão a aplicação de N em cobertura devido à baixa correlação entre o IRC e a capacidade de fornecimento de N de um local (valor calculado pela subtração de 75% da dose de N aplicada na semeadura da quantidade de nitrogênio absorvido pelo milho em áreas que não receberam N em cobertura).

O valor médio do IRC no estágio V_5 encontrado no experimento foi de 45,5 muito próximo do valor médio encontrado por outros pesquisadores em diferentes condições. Sunderman et al., (1997) encontraram o valor crítico de 40,0 ($\pm 3,2$) para o estágio V_{5-6} numa média de dois híbridos sob irrigação. O valor médio de 45,1 foi encontrado por Piekielek & Fox, (1992) no estado da Pensilvânia, EUA (média de 67 experimentos). Trabalhando no Rio Grande do Sul com diferentes doses de N na cultura do milho Argenta et al., (2000b) encontraram valor semelhante (45,4) considerado como crítico no estágio de três a quatro folhas para diferenciar plantas deficientes e suficientes em nitrogênio independente do cultivar utilizado e das condições edafoclimáticas.

Logo, os resultados do IRC obtidos em V_5 parecem indicar que o clorofilômetro deva ser utilizado num estágio mais avançado da planta, possibilitando refinar a recomendação da segunda parcela da adubação nitrogenada em cobertura concordando com Waskom et al., (1996) que consideraram o estágio V_6 muito cedo para identificar plantas de milho deficientes em nitrogênio.

No estágio de sete a oito folhas totalmente desenroladas (V_{7-8} , 37 dias após a emergência) após doze dias das plantas receberem a primeira parcela da adubação nitrogenada foi possível identificar diferenças no IRC entre as doses utilizadas. Segundo Resende et al., (1994b) o teor de clorofila, estimado através do clorofilômetro, atinge seu valor máximo após dez dias da aplicação do adubo nitrogenado em condições de casa de vegetação.

Bullock & Anderson (1998) trabalhando com quatro doses de N (0, 90, 180 e 270 kg ha⁻¹), 10 genótipos de milho em seis locais diferentes verificaram que o IRC no estágio de sete folhas totalmente desenroladas não serve como indicativo da deficiência de N devido à baixa correlação do IRC com o teor de N na folha e com as doses de N aplicadas, pois, a maioria dos experimentos foi conduzida em áreas após soja limitando a resposta à adubação

Os dados obtidos no presente trabalho contrariam essa afirmação. Além da diferença bastante evidente do IRC das plantas que não receberam nitrogênio e do IRC das plantas que receberam a dose de 80 kg N ha⁻¹ na primeira cobertura (tratamento 9) indicando a deficiência de nitrogênio como já citado por vários pesquisadores (Reeves et al., 1993; Wood, et al., 1993) pode-se observar pela Figura 2 a alteração do IRC de acordo com a dose aplicada no estágio V₅, evidenciando a capacidade do aparelho em identificar a resposta da planta em relação à aplicação do nitrogênio em cobertura neste estágio que coincide com a fase de maior demanda de N pela planta (Bülli, 1993). Provavelmente em solos argilosos, com alto teor de matéria orgânica, ou áreas de cultivo de leguminosas a resposta neste estágio não ocorra em função da maior disponibilidade de N no solo. Varvel et al., (1997a) verificaram diferenças significativas no IRC no estágio de seis folhas desenroladas (V₆) em resposta a doses de N aplicadas no estágio inicial (uma ou duas folhas) concordando com os resultados do presente trabalho.

Do estágio V₅ para o V₇ houve um aumento significativo do IRC somente nas plantas que receberam uma dose maior ou igual que 60 kg N ha⁻¹ (tratamentos 2 e 9) e uma redução nas plantas que não receberam N em cobertura (tratamento 1). As demais plantas que receberam doses entre 20 e 42 kg N ha⁻¹ (todos tratamentos menos 1,2 e 9) mantiveram aproximadamente o IRC do estágio V₅.

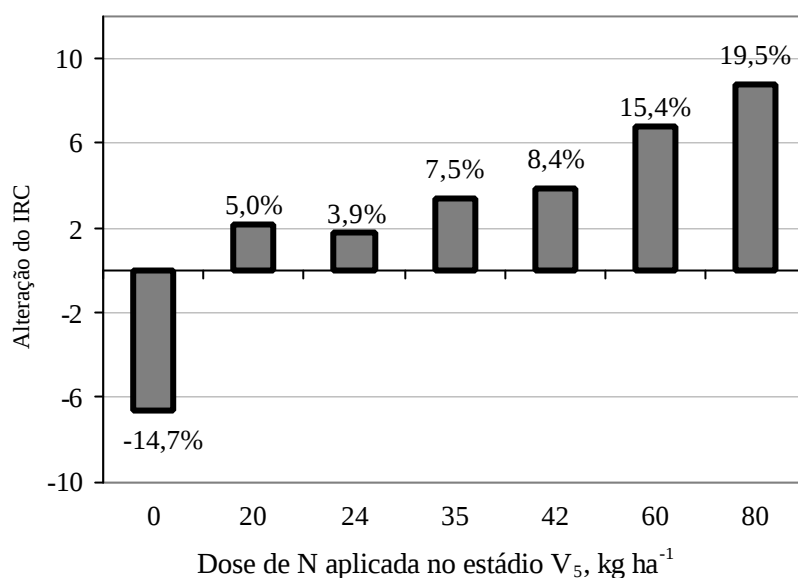


Figura 2. Alteração do IRC (unidade SPAD) no estágio V₇ em função da dose de N aplicada no estágio de quatro a cinco folhas (V₅ - 25 DAE). Os números percentuais acima das colunas significam a alteração do IRC, em %.

O aumento do IRC no decorrer do período vegetativo da cultura do milho foi observado por outros pesquisadores (Smeal & Zhang, 1994; Argenta et al., 2000b). No entanto, não se pode esperar essa mesma resposta para outro genótipo porque o IRC segundo Schepers et al., (1992) pode variar com os genótipos que podem ser mais ou menos responsivos e eficientes em relação ao nitrogênio aplicado.

No estágio fenológico de 10 folhas totalmente desenroladas (V₁₀, 44 dias após a emergência) somente as plantas dos tratamentos que receberam até o estágio V₇ uma dose maior que 100 kg N ha⁻¹ (tratamentos 2 e 8) mantiveram o IRC em relação ao estágio anterior, com exceção do tratamento 6 que recebeu 70 kg N ha⁻¹ e manteve o IRC. Neste estágio, foi complementada a adubação nitrogenada para os tratamentos que estavam

recebendo 20 e 35 kg ha⁻¹ de N (tratamentos 4, 5, 7 e 8), nos quais se aplicou respectivamente 30 e 50 kg ha⁻¹. Este aumento na dose tinha por objetivo atender a demanda da planta até o final do ciclo evitando a aplicação de outra parcela num estágio mais tardio. Devido à altura das plantas essa aplicação feita mecanicamente seria possível somente através de fertirrigação ou de máquinas com eixo elevado para evitar tombamento das plantas.

No estágio de 12 folhas totalmente desenroladas (três dias antes do pendoamento) houve um aumento ou manutenção do IRC das plantas de todos os tratamentos. Esse aumento pode ter sido provocado pelo pico de absorção de N relatado por Büll, (1993) resultando numa maior resposta na síntese de clorofila e em parte pelo aumento da espessura da folha que também pode aumentar o IRC da folha de acordo com Peng et al., (1993). Segundo Costa et al., (2001) este aumento é normal na transição do estágio vegetativo para o reprodutivo, alcançando um teor máximo de clorofila na folha dependente do genótipo e denominado de “maturidade fotossintética”. A elevação da temperatura do ar que também pode aumentar o IRC, segundo Dwyer et al., (1991), provavelmente não teve influência, pois, não houve grandes variações na temperatura entre as datas de amostragem (44 e 53 DAE) (Figura 3).

Duas semanas após o florescimento, as plantas que receberam uma dose maior de N em cobertura (tratamentos 5, 8 e 9) apresentaram valores de IRC entre 52 e 56 o que caracteriza um excesso na adubação nitrogenada de cobertura segundo Piekielek et al., (1995). Estas plantas receberam 155, 155 e 140 kg ha⁻¹ de N uma dose considerada alta para os parâmetros brasileiros. Logo o IRC pode nos fornecer no final do ciclo do milho se houve um excesso na adubação realizada, permitindo calibrar melhor a dose para o cultivo seguinte.

6.2 Índice de Suficiência de Nitrogênio - ISN

A aplicação de doses em pré-semeadura é mais utilizada em sistema de plantio direto principalmente no plantio de milho após aveia preta (material com alta relação C/N que proporciona um crescimento da população microbiana que utiliza boa parte do nitrogênio disponível no solo para seu crescimento) com a finalidade de antecipar o processo de imobilização liberando o N imobilizado, na época de maior demanda da planta de milho e reduzindo a imobilização do N aplicado em cobertura pela redução da relação C/N da palha na superfície (Sá, 1996). No caso do experimento que foi conduzido no sistema convencional a dose de N aplicada um dia antes da semeadura foi adotada para verificar se haveria diferenças no IRC das plantas nos estádios iniciais que permitisse a adoção do ISN para auxiliar na recomendação da primeira parcela da adubação nitrogenada em cobertura.

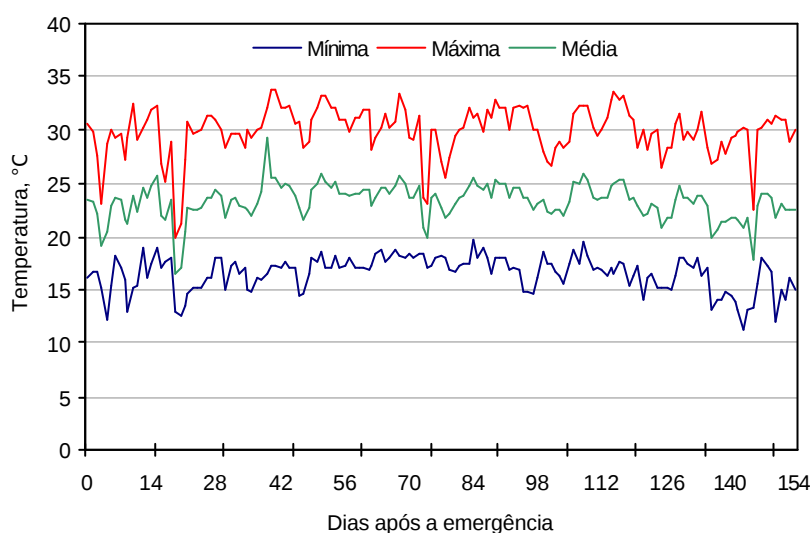


Figura 3. Temperatura máxima, média e mínima do ar no período de condução do experimento na FESM, São Manuel, SP.

No estágio fenológico V₅ a utilização do Índice de Suficiência de Nitrogênio crítico (ISN) igual a 0,95 não foi capaz de identificar a necessidade da adubação em cobertura (Quadro 5) utilizando como referência plantas que receberam 60 kg ha⁻¹ de N um dia antes da semeadura. Entretanto, Varvel et al., (1997a) observaram que o IRC lido em plantas de uma monocultura de milho que não recebiam N em cobertura, foi menor do que o IRC das plantas de milho em rotação (soja-milho) durante três anos de experimento refletindo a contribuição do N vindo da soja no sistema de rotação e a capacidade do aparelho em detectar essa diferença de N disponível no solo.

No entanto, é recomendado (Raij & Cantarella, 1996) que a primeira parcela da adubação nitrogenada em cobertura seja aplicada neste para que possa ser solubilizada e atender a demanda crescente deste período em diante.

Quadro 5. Índice de Suficiência de Nitrogênio calculado (ISN) e predição da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura baseada em diferentes ISNs, no estágio de 4 a 5 folhas totalmente desenroladas na cultura do milho (25 DAE) em função dos tratamentos, na FESM, São Manuel, SP, ano de 2000/01.

Tratamento	Aplicação de N até 25 DAE		Total de N kg ha ⁻¹	ISN Calculado	Predição da Necessidade de Adubação Nitrogenada em cobertura os 25 DAE (4 a 5 folhas)			
	PS	S			Índice de Suficiência de Nitrogênio			
	Doses (kg ha ⁻¹)				0,90 ¹	0,93 ²	0,95 ³	0,98 ⁴
1	0	26	26	0,97	Não	Não	Não	Sim
2	0	26	26	0,96	Não	Não	Não	Sim
3	0	26	56	1,00	Não	Não	Não	Não
4	0	26	26	0,96	Não	Não	Não	Sim
5	0	26	26	0,98	Não	Não	Não	Não
6	60	26	86	1,01	Não	Não	Não	Não
7	60	26	86	1,01	Não	Não	Não	Não
8	60	26	86	1,00	Não	Não	Não	Não

1 - Hussain et al., (1999); 2 – Jemison & Lytle, (1996); 3 - Peterson et al., (1995) e 4 - Rozas & Echeverría et al., (1997).

Se fosse adotado um ISN de 0,98 como proposto por Rozas & Ech verria (1997) somente as plantas que receberam 60 kg ha⁻¹ de N antes da semeadura n  necessitariam receber a primeira parcela da adubação nitrogenada, pois, com exceção das plantas do tratamento 3 e 5, todas as demais apresentaram um ISN médio inferior a 0,98.

Como estabelecido na metodologia, a primeira parcela da adubação nitrogenada foi aplicada de acordo com os tratamentos e independente do ISN calculado, para evitar redução na produtividade de gr os em função da deficiência de N, uma vez que neste est dio ocorre a diferenciação do meristema apical e a diferenciação floral (Fancelli & Dourado Neto, 1996) que definem o potencial de produção.

A recomendação da adubação nitrogenada atual nos EUA para estados grandes produtores de milho como Pensilvânia, Nebraska e Iowa recomendam a aplicação de pelo menos 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura de forma a não limitar o processo de diferenciação floral. Ritchie (1993) afirma que apesar das exigências nutricionais do milho serem pequenas no est dio inicial de desenvolvimento, altas concentrações de N na zona radicular são benéficas para um bom arranque inicial da planta, uma vez que, segundo Mengel & Barber (1974) o comprimento médio das raízes é muito pequeno, mas o fluxo de N para as raízes ($\mu\text{M N m}^{-1}$ de raiz) atinge valor máximo evidenciando a maior eficiência de utilização do N no solo neste período.

Portanto, a utilização de doses mais altas (25 a 30 kg ha⁻¹ de N) na semeadura como a utilizada no experimento (26 kg ha⁻¹ de N) podem vir garantir uma maior produtividade e o adequado suprimento de N até o est dio fenológico de cinco folhas desenroladas impedindo a utilização do ISN para monitorar o estado nutricional em N das plantas até este est dio.

Todas as plantas que receberam uma dose menor ou igual a 35 kg ha^{-1} de N no estágio V_5 independente da dose aplicada em pré-semeadura (tratamentos 1, 4, 5, 6, 7 e 8), receberam a segunda parcela da adubação de acordo com o ISN adotado (Quadro 6). Apenas as plantas que receberam 42 e 60 kg ha^{-1} de N aos 25 DAE (tratamento 3 e 2) não necessitariam da segunda parcela. No entanto, essas plantas receberam a segunda parcela da adubação nitrogenada uma vez que ficou estabelecido que as plantas destes tratamentos receberiam aplicações de N em cobertura aos 25 e 35 DAE independente do ISN.

Se o ISN for menor que 0,90 no estágio de oito folhas desenvolvidas, a produtividade máxima não será alcançada com as aplicações de N em cobertura porque o N aplicado no estado inicial não foi suficiente para o ótimo crescimento e o potencial de produção já foi afetado (Varvel et al., 1997b). Logo as plantas dos tratamentos 5 e 7 tiveram seu potencial de produção prejudicados evidenciando que a dose de 20 kg ha^{-1} não foi adequada para solos arenosos.

Se fosse considerado um ISN de 0,98 (Quadro 6), haveria a necessidade de adubação nas plantas de todos tratamentos o que parece ser adequado no caso de lavoura não irrigada, uma vez que, a aplicação em um estágio mais tardio fica limitada pela altura das plantas impedindo a aplicação do adubo mecanicamente.

A adoção de doses (42 e 60 kg ha^{-1} de N) recomendadas para produtividades entre 6 a 8 t ha^{-1} de grãos em condição de alta e média resposta a aplicação do N no estágio de quatro folhas pode não permitir a predição da necessidade da aplicação de uma segunda parcela adotando um ISN de 0,95 em relação a uma área de referência. Segundo Peterson et al., (1993) deve-se aplicar metade ou um terço da dose total de N recomendada no estágio de quatro folhas e o restante monitorado através do ISN.

Quadro 6. Índice de Suficiência de Nitrogênio calculado (ISN) e predição da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura baseada em diferentes ISNs, no estágio de 7 a 8 folhas totalmente desenroladas na cultura do milho (37 DAE) em função dos tratamentos, na FESM, São Manuel, SP, ano de 2000/01.

Tratamento	Aplicação de N até 37 DAE			Total de N kg ha ⁻¹	ISN Calculado	Predição da Necessidade de Adubação Nitrogenada em cobertura os 37 DAE (7 a 8 folhas)			
	PS	S	V ₅			Índice de Suficiência de Nitrogênio			
	Doses (kg ha ⁻¹)					0,90 ¹	0,93 ²	0,95 ³	0,98 ⁴
1	0	26	0	26	0,73	Sim	Sim	Sim	Sim
2	0	26	60	86	0,97	Não	Não	Não	Sim
3	0	26	42	98	0,96	Não	Não	Não	Sim
4	0	26	20	46	0,88	Sim	Sim	Sim	Sim
5	0	26	35	61	0,93	Não	Não	Sim	Sim
6	60	26	24	110	0,90	Não	Sim	Sim	Sim
7	60	26	20	106	0,86	Sim	Sim	Sim	Sim
8	60	26	35	121	0,91	Não	Sim	Sim	Sim

1 - Hussain et al., (1999); 2 – Jemison & Lytle, (1996); 3 - Peterson et al., (1995) e 4 - Rozas & Echeverría et al., (1997).

A utilização de doses altas na semeadura ($\geq 25 \text{ kg ha}^{-1}$ de N) na primeira parcela da adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho provavelmente não permita identificar a deficiência de N pelo clorofilômetro até o estágio de sete a oito folhas porque o nitrogênio adicionado e o nitrogênio disponível no solo foram suficientes para atender a demanda da planta sem que haja a redução da síntese de clorofila pela deficiência de N. Até o estágio V₇ as plantas de milho adequadamente nutridas absorvem cerca de 60 kg ha^{-1} de N (Andrade et al., 1975). Segundo Cantarella (1993) as plantas de milho absorvem cerca de 50% do nitrogênio que necessita após o início do florescimento. Logo a aplicação de N em cobertura no estágio de sete a oito folhas é realizada para garantir esta demanda.

No estágio de 10 a 11 folhas (44 DAE) houve uma queda no ISN calculado para as plantas de todos tratamentos (Figura 4). É interessante notar que a redução em relação ao ISN calculado aos 37 DAE foi menos acentuada nas plantas que receberam as

maiores doses ($\geq 70 \text{ kg ha}^{-1}$) até o estágio V_7 (tratamentos 2, 3, 5 e 8). Provavelmente, após sete dias da aplicação do N, não houve tempo suficiente para o N absorvido em grande quantidade e em curto espaço de tempo (Amon, 1975) ter sido assimilado à molécula de clorofila para provocar a resposta total ao N aplicado, implicando na redução do ISN em relação às plantas da área de referência.

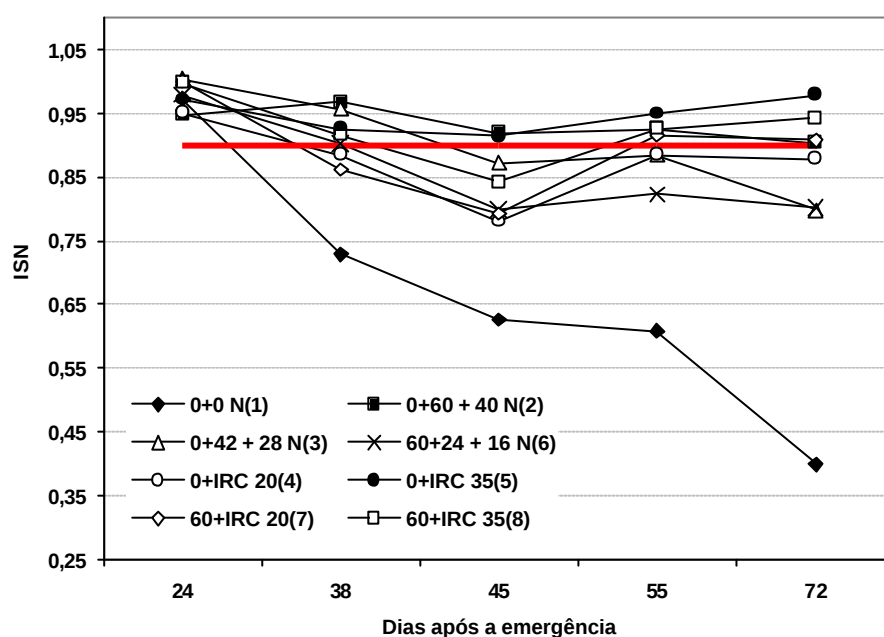


Figura 4. Comportamento do Índice de Suficiência de Nitrogênio (ISN) em diferentes estádios fenológicos do milho influenciado por manejos do nitrogênio em cobertura. O número entre parênteses refere-se ao número do tratamento. A linha mais grossa representa o índice sugerido por Varvel et al., (1997b) para atingir a máxima produtividade.

Observa-se pelo Quadro 7 que as plantas que receberam uma dose menor ou igual a 40 kg ha^{-1} de N em cobertura até o estágio V_7 (tratamentos 1, 4, 6, e 7) apresentaram um $\text{ISN} \leq 0,80$ e as plantas que receberam uma dose igual a 70 kg ha^{-1} de N em

cobertura (tratamentos 3, 5 e 8) apresentaram um ISN maior que 0,80 mas menor ou igual que 0,90. Somente as plantas que haviam recebido 100 kg ha^{-1} de N em cobertura (tratamento 2) apresentaram um ISN maior que 0,90. Este fato mostra a capacidade do clorofilômetro em identificar a resposta das plantas à aplicação do N em cobertura em função dos diferentes manejos do N.

Neste estágio todas as plantas necessitariam receber N de acordo com o ISN de 0,95. A adoção do ISN de 0,90 limitariam a aplicação de uma terceira parcela de N nas plantas do tratamento 2 que receberam uma dose de 100 kg ha^{-1} de N em cobertura.

Quadro 7. Índice de Suficiência de Nitrogênio calculado (ISN) e predição da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura baseada em diferentes ISNs, no estágio de dez a onze folhas totalmente desenroladas na cultura do milho (44 DAE) em função dos tratamentos, na FESM, São Manuel, SP, ano de 2000/01.

Tratamento	Aplicação de N até 44 DAE				Total de N kg ha ⁻¹	ISN Calculado	Predição da Necessidade de Adubação Nitrogenada em cobertura os 44 DAE (10 a 11 folhas)				
	PS	S	V ₅	V ₇			Índice de Suficiência de Nitrogênio				
							Doses (kg ha ⁻¹)	0,90 ¹	0,93 ²	0,95 ³	0,98 ⁴
1	0	26	0	0	26	0,63	Sim	Sim	Sim	Sim	
2	0	26	60	40	126	0,92	Não	Sim	Sim	Sim	
3	0	26	42	28	126	0,87	Sim	Sim	Sim	Sim	
4	0	26	20	20	66	0,76	Sim	Sim	Sim	Sim	
5	0	26	35	35	96	0,91	Não	Sim	Sim	Sim	
6	60	26	24	16	126	0,80	Sim	Sim	Sim	Sim	
7	60	26	20	20	126	0,79	Sim	Sim	Sim	Sim	
8	60	26	35	35	156	0,83	Sim	Sim	Sim	Sim	

1 - Hussain et al., (1999); 2 – Jemison & Lytle, (1996); 3 - Peterson et al., (1995) e 4 - Rozas & Echeverría et al., (1997).

Aos cinquenta e três dias após emergência (Quadro 8), época de emissão do pendão, não houve uma diferenciação clara entre as plantas pelo ISN com exceção das plantas que não receberam N ou receberam apenas 40 kg ha^{-1} de N em cobertura até o

estádio V_7 (tratamento 6). As plantas dos tratamentos que receberam a terceira parcela apresentaram uma elevação do ISN em comparação com as plantas que não receberam esta aplicação mostrando uma resposta quanto à aplicação do N e relação à síntese de clorofila.

Nesta fase foi aplicado uma quarta parcela do N em cobertura nas plantas dos tratamentos 4, 5, 7 e 8 cujo o manejo do N é baseado no ISN.

Pela Figura 4 podemos verificar que apenas as plantas do tratamento 2 e 8 teriam condições de atingir a produtividade máxima de acordo com Varvel et al., (1997b) que utilizando o ISN para manejar o N na cultura do milho verificaram que a produtividade máxima foi atingida se o nível de N no solo foi adequado para manter o ISN entre 90 e 100 do estágio V_8 em diante.

Quadro 8. Índice de Suficiência de Nitrogênio calculado (ISN) e predição da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura baseada em diferentes ISNs, no estágio de doze folhas totalmente desenroladas na cultura do milho (53 DAE) em função dos tratamentos, na FESM, São Manuel, SP, ano de 2000/01.

Tratamento	Aplicação de N até 53 DAE					Total de N kg ha ⁻¹	ISN Calculado	Predição da Necessidade de Adubação Nitrogenada em cobertura os 53 DAE (10 a 11 folhas)			
	PS	S	V ₅	V ₇	V ₁₀			Índice de Suficiência de Nitrogênio			
	Doses (kg ha ⁻¹)							0,90 ¹	0,93 ²	0,95 ³	0,98 ⁴
1	0	26	0	0	0	26	0,59	Sim	Sim	Sim	Sim
2	0	26	60	40	0	126	0,90	Não	Sim	Sim	Sim
3	0	26	42	28	0	126	0,88	Sim	Sim	Sim	Sim
4	0	26	20	20	30	96	0,86	Sim	Sim	Sim	Sim
5	0	26	35	35	50	146	0,93	Não	Não	Sim	Sim
6	60	26	24	16	0	126	0,80	Sim	Sim	Sim	Sim
7	60	26	20	20	30	156	0,89	Sim	Sim	Sim	Sim
8	60	26	35	35	50	206	0,87	Sim	Sim	Sim	Sim

1 - Hussain et al., (1999); 2 - Piekielek et al., (1993); 3 - Peterson et al., (1993) e 4 - Rozas & Echeverría et al., (1997).

Aos 72 dias após a emergência foi realizada a leitura do IRC nas plantas e calculado o ISN, não para determinar a necessidade de adubação em cobertura, mas, sim para verificar a resposta à aplicação da adubação no estado anterior (44 DAE). Não houve um aumento significativo do ISN nas plantas dos tratamentos que receberam a quarta parcela (Figura 4).

6.3 Produtividade de grãos e teor de N no grão

Os diferentes manejos do nitrogênio em cobertura tiveram influência na produtividade de grãos das plantas de milho (Quadro 9). As plantas que receberam apenas nitrogênio na semeadura (26 kg ha^{-1} de N) atingiram uma produtividade muito baixa, abaixo da média nacional (2350 kg ha^{-1}), devido à área do experimento apresentar um solo com baixa capacidade de suprir nitrogênio à cultura, com baixo teor de matéria orgânica e a cultivar utilizada ser caracterizada pela Dow Agro Science como altamente responsiva à aplicação de nitrogênio. Outro fator que pode ter influenciado na baixa produtividade atingida pelas plantas deste tratamento foi a alta população ($70600 \text{ plantas ha}^{-1}$) utilizada no experimento.

A alta responsividade do cultivar pode ser verificada pela produtividade alcançada (9105 kg ha^{-1}) pelas plantas da área de referência que receberam uma dose de 140 kg ha^{-1} de N em cobertura. A alta produtividade também foi proporcionada pela adoção de irrigação suplementar e uma alta população de plantas. Coelho et al., (1992a) também observaram pronunciada resposta na produção de grãos à aplicação de nitrogênio com um incremento de 80% no rendimento de grãos da dose zero para a dose de 120 kg ha^{-1} de N em um solo de textura muito argilosa.

Trabalhando com diferentes populações de plantas na cultura do milho em Lages, SC, Merotto Junior et al., (1997) empregando uma dose de 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura na cv Cargil 901 obtiveram produtividades entre 9 a 11 toneladas de grãos para as populações entre 70 e 80 mil plantas por hectare, pouco superior às produtividades obtidas no presente experimento nas plantas adequadamente nutridas com nitrogênio.

Quadro 9. Produtividade de grãos, produtividade relativa e teor de N nos grãos na cultura do milho submetida a diferentes manejos de nitrogênio na FESM, São Manuel, SP, no ano de 2000/01.

Trat.	Épocas de aplicação de N						Total de N	Produtividade de grãos (13%)	Produtividade Relativa	ISN ⁽³⁾	Teor de N no grão ⁽²⁾
	PS	S	V ₅	V ₇	V ₁₀	V ₁₂					
	----- Doses, kg N ha ⁻¹ -----						kg ha ⁻¹	---- kg ha ⁻¹ ----	----- % -----		-- g kg ⁻¹ --
1	0	26	0	0	0	0	26	1450 d ⁽¹⁾	11	0,66	13,0 b
2	0	26	60	40	0	0	126	8851 ab	97	0,93	12,8 b
3	0	26	42	28	0	0	126	6483 c	71	0,90	13,3 b
4	0	26	20	20	30	20	116	6150 c	68	0,88	14,5 ab
5	0	26	35	35	50	35	181	6569 bc	72	0,94	16,0 a
6	60	26	24	16	0	0	126	5637 c	62	0,86	12,8 b
7	60	26	20	20	30	20	176	6212 c	68	0,90	13,3 b
8	60	26	35	35	50	35	241	7122 abc	78	0,91	16,0 a
9	60	26	80	60	0	0	226	9105 a	100	1,00	14,0 ab
	Média Geral							6355			13,9
	DMS Tukey _(0,05)							2350			2,41
	CV %							15,4			7,2

1 - médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de risco.

2 – teor de N no grão na maturidade fisiológica (96 DAE).

3 – índice de suficiência de nitrogênio calculado duas semanas após o florescimento feminino (71 DAE).

Somente as plantas que receberam 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura dividido em duas parcelas (tratamento 2) e as plantas do tratamento 8 que receberam no total 241 kg N ha⁻¹ atingiram a mesma produtividade que as plantas da área de referência. Entre os demais manejos do nitrogênio em cobertura adotados não houve diferença significativa na

produtividade de grãos (média de 6210 kg ha⁻¹). Tessaro et al., (2000) obtiveram produtividades semelhantes em Arapoti, PR, em um Latossolo de textura arenosa em plantas submetidas à diferentes manejos do nitrogênio.

A dose de N aplicada antes da semeadura não teve influência na produtividade entre as plantas que receberam o nitrogênio em cobertura dividido em duas parcelas ou entre as plantas onde o N em cobertura foi manejado baseado no ISN. Em sistemas de plantio direto Basso (1999) verificou que a aplicação antecipada de N na pré-semeadura do milho deve ser encarada com cautela, principalmente em solos de textura arenosa ($\leq$ a 13% de argila na camada de 0 a 20 cm) como é o caso da área do experimento (12% da argila) e em anos com previsões de alta precipitação. Da aplicação do N em pré-semeadura até o estágio de quatro folhas totalmente expandidas, quando a demanda por N aumenta, a precipitação acumulada de 258 mm pode ser considerada alta (Figura 5). Estes dois fatores podem ter limitado a resposta ao N aplicado antes da semeadura.

Comparando a produtividade obtida nas plantas que tiveram seu estado nutricional em N monitorado pelo clorofilômetro (tratamentos 4, 5, 7 e 8) com as plantas que não receberam N em cobertura (tratamento 1) observa-se que esta técnica é eficiente na detecção da necessidade de aplicação do N em cobertura a partir do estágio V₇, no entanto, as doses utilizadas nos estádio iniciais deveriam ser maiores.

A produtividade alcançada pelas plantas nas quais o manejo de nitrogênio em cobertura foi baseado no ISN pode ser considerada alta chegando a atingir 7122 kg ha⁻¹. No entanto, a grande função do aparelho é refinar a adubação de cobertura com a finalidade de reduzir as doses aplicadas tentando aplicar o adubo quando a planta necessita,

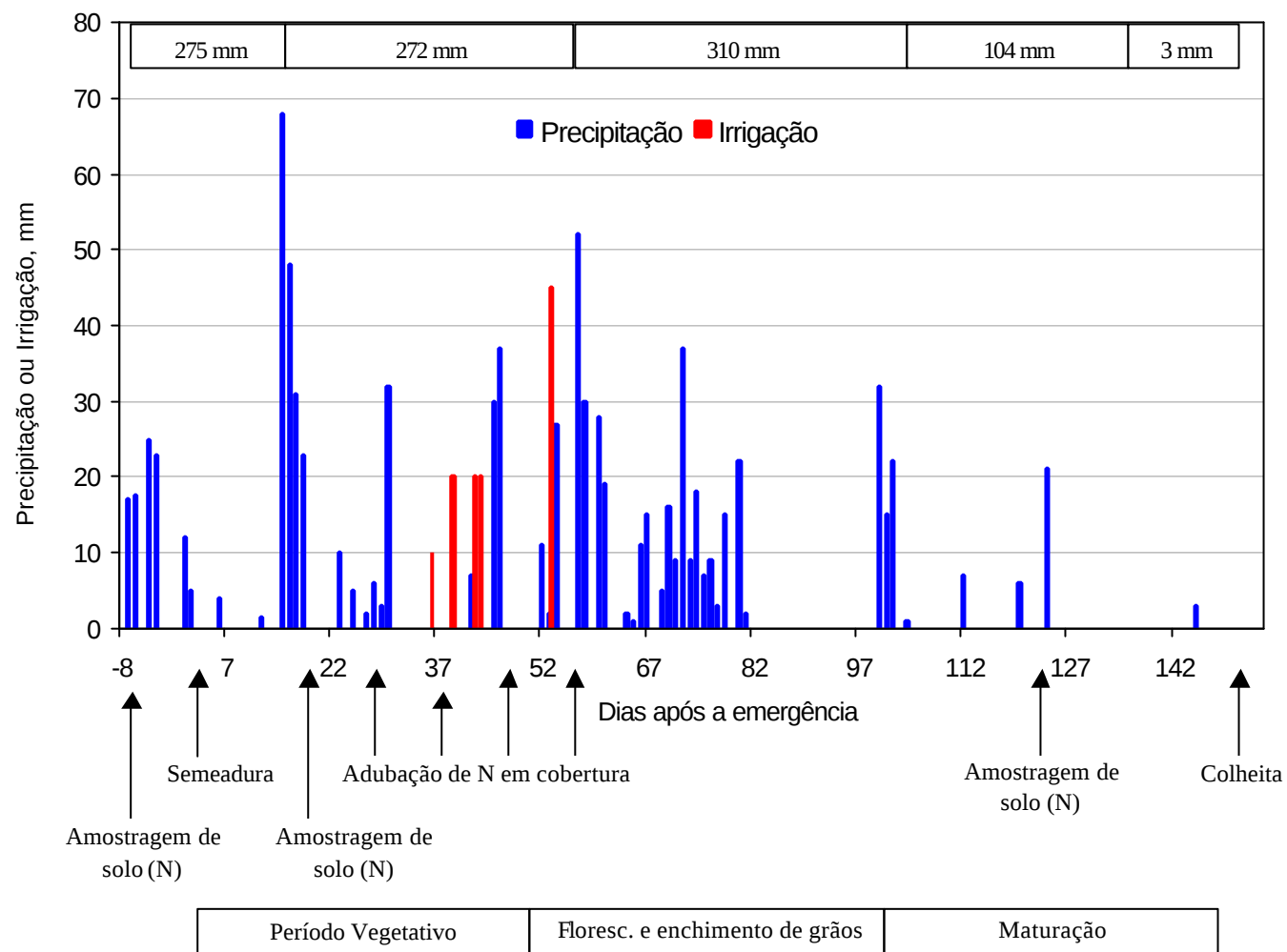


Figura 5. Precipitação pluvial e irrigação na área do experimento durante a fase de condução, na FESM, São Manuel, SP (safra agrícola de 2000/01).

filosofia denominada por Blackmer & Schepers (1994) como “fertilization-as-needed” (adubação quando necessária).

A utilização do ISN permitiu definir quando se devia aplicar o nitrogênio em cobertura, no entanto, a dose a ser aplicada não pôde ser bem definida.

Os teores de N encontrados no grão na maturidade fisiológica são semelhantes ao encontrados por Villas Bôas et al., (1997) na faixa de 13,0 a 16,5g kg⁻¹ em um experimento de milho e manejo e nitrogênio conduzido no município de São Manuel. O maior teor de N no grão na maturidade fisiológica foi alcançada pelas plantas que receberam uma dose ≥ 50 kg ha⁻¹ de N (tratamentos 4, 5 e 8) após o estágio V₁₀ e nas plantas da área de referência que receberam uma alta dose (140 kg ha⁻¹) no início do ciclo, portanto, o maior teor de N no grão pode ser devido a uma dose alta aplicada em cobertura ou a doses aplicadas em estádios mais tardios.

A partir do estágio de dez a onze folhas desenroladas o coeficiente de correlação entre o IRC ou o ISN com a produtividade de grãos aumenta embora seja significativa desde o estágio de sete a oito folhas (Quadro 10).

Quadro 10. Coeficiente de correlação entre a produtividade de grãos e o índice relativo de clorofila (IRC) e índice de suficiência de nitrogênio (ISN) em diferentes estádios fenológicos da cultura do milho.

Estádio Fenológico	Coeficiente de Correlação ⁽¹⁾	
	IRC	ISN
7 a 8 folhas desenroladas (37 DAE)	0,68 **	0,63 **
10 a 11 folhas desenroladas (44 DAE)	0,81 **	0,79 **
Pendoamento (52 DAE)	0,88 **	0,86 **
Florescimento Feminino (71 DAE)	0,75 **	0,75 **

1 – correlação utilizando os dados de todos os tratamentos (n=36)

** - significativo pelo teste t.

Resultados semelhantes foram obtidos por Waskom et al., (1996). No estágio V₁₀ (44 DAE) as plantas já absorveram uma boa parte de N necessário e continuam absorvendo numa taxa acelerada o que provavelmente dá tempo para que as plantas respondam aos tratamentos aplicados anteriormente o que justificaria os coeficientes de correlação mais altos.

6.4 Correlações IRC x Teor de N na folha

Sabe-se que o clorofilômetro foi projetado para estimar o teor de N na folha (principalmente das plantas de arroz) e vários pesquisadores já testaram a correlação da leitura do aparelho com o teor de N na folha do milho (Dwyer et al., 1991; Dwyer, et al., 1995; Chapman & Barreto, 1997; e Costa et al., 2000) e em outras culturas como o arroz (Peng et al., 1993), trigo (Reeves, et al., 1993) e algodão (Wood, et al., 1993) é importante estabelecer esse tipo de correlação principalmente para as condições brasileiras e genótipos utilizados no Brasil, pois a maioria das pesquisas foi realizada em países de clima temperado, além da metodologia de utilização do clorofilômetro ter sido modificada.

Além disso, há controvérsias quanto aos resultados obtidos por diferentes pesquisadores em função das condições edafoclimáticas, estádios fenológicos e cultivar utilizado.

Em todos os estádios fenológicos houve uma correlação significativa e positiva entre o índice relativo de clorofila (x) e o teor de N na lâmina foliar do milho (y) (Quadro 6).

Quando se retiram os dados das plantas que não receberam nitrogênio em cobertura e, portanto, apresentaram uma severa deficiência de N, houve uma redução no coeficiente de correlação (r) em todos os estádios fenológicos embora se mantenha significativa a correlação. Isto vem demonstrar que o clorofilômetro apresenta maior capacidade em diferenciar o teor de N na folha entre plantas com deficiência severa e plantas não deficientes do que entre plantas não deficientes, mas submetidas a diferentes doses de N, principalmente nos estádios mais tardios. Outros autores também encontraram resultados semelhantes como Follet et al., (1992) e Fox et al., (1994).

Quadro 6. Coeficiente de correlação entre o índice relativo de clorofila (x) e o teor de N na lâmina foliar (y) em diferentes estádios fenológicos da cultura do milho

Estádio Fenológico	Coeficiente de Correlação	
	1	2
7 a 8 folhas desenroladas (37 DAE)	0,87 **	0,77 **
10 a 11 folhas desenroladas (44 DAE)	0,86 **	0,76 **
Pendoamento (52 DAE)	0,90 **	0,66 **
Florescimento Feminino (71 DAE)	0,86 **	0,57 **

1 – correlação utilizando os dados de todos os tratamentos (n=36)

2 – correlação utilizando os dados de todos os tratamentos menos as plantas que não receberam adubação nitrogenada (n=32).

** - significante pelo teste t.

Alguns pesquisadores (Peng et al., 1995; Chapman & Barreto, 1997;) encontraram coeficientes de correlação mais altos (r em torno de 0,95) quando se considera o peso específico da folha (em g m^{-2} que dá a idéia da espessura da folha) para reduzir o efeito da espessura da folha na leitura do aparelho, entretanto, esta metodologia tira uma das grandes vantagens do clorofilômetro que nos possibilita obter resultados instantâneos no campo, de modo simples, rápido e não destrutivo podendo amostrar quantas plantas forem necessárias e descartar valores irregulares, substituindo-os por dados mais confiáveis. A obtenção do peso específico da folha demanda coleta da folha para medição de sua largura e comprimento e

pesagem após secagem que pode ser feito em forno microondas, um processo destrutivo que demanda tempo.

Aos 25 DAE não foi estabelecida uma correlação em função de não haver uma variação significativa nas variáveis entre os tratamentos aplicados. Alguns pesquisadores como Bullock & Anderson, (1998) encontraram coeficiente de correlação relativamente baixo entre IRC e o teor de N na lâmina foliar (TNL) nos estádios iniciais da cultura do milho provavelmente em função da baixa variação destas variáveis (IRC e TNL). Até este estágio de quatro a cinco folhas desenroladas, em função da baixa demanda nesta fase, parece que o teor de N no solo não afeta o teor de clorofila nas folhas.

A partir do estágio V_7 a correlação pode ser considerada suficientemente boa (Figura 6) e, portanto, o aparelho já poderia indicar aproximadamente o teor de N na folha dando bases para o manejo da adubação nitrogenada em função da leitura relativa do clorofilômetro.

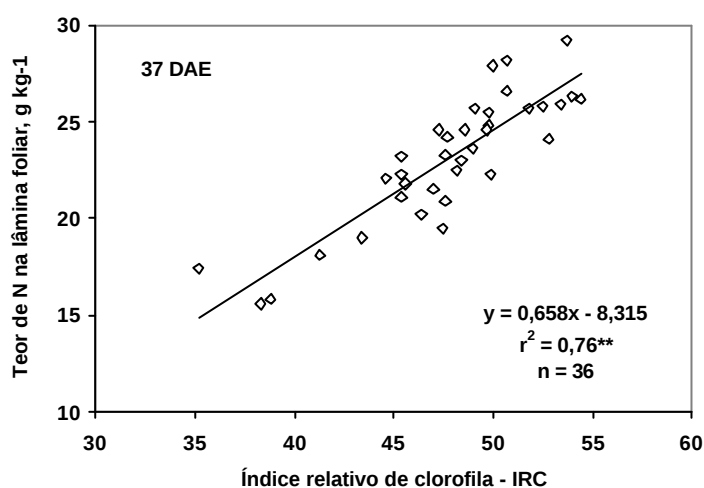


Figura 6. Relação entre o índice relativo de clorofila e o teor de N na folha no estágio de 7 a 8 folhas desenroladas na cultura do milho.

O menor coeficiente de correlação observada no estágio de 10 folhas desenroladas (Figura 7) pode ter sido afetado pelo ataque da lagarta do cartucho embora tenham sido selecionadas plantas menos afetadas. Lee et al., (1999) afirmam que pequenas manchas ou danos nas folhas podem ser consideradas fontes de erro prejudicando a correlação.

As correlações podem ser melhoradas aumentando o número de plantas amostradas, uma vez que as leituras são não destrutivas. No presente experimento foram utilizadas dez plantas por parcela (40 m²) uma representatividade boa considerando que para a área de um hectare é recomendado que se amostre trinta plantas segundo Waskom et al., (1996). Além disso, de acordo com Chapman & Barreto, (1997) deve-se amostrar um maior número de plantas quando se estiver utilizando uma variedade em relação a um híbrido devido a maior desuniformidade da população.

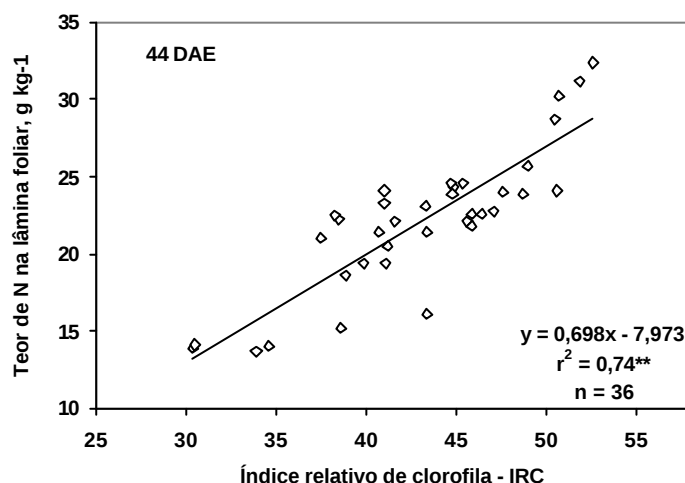


Figura 7. Relação entre o índice relativo de clorofila e o teor de N na folha no estágio de 10 a 11 folhas desenroladas na cultura do milho.

A melhor correlação do índice relativo de clorofila (IRC) com o teor de N na lâmina foliar (TNL) ocorreu três dias antes do pendoamento (Figura 8) com um coeficiente de correlação (r) igual a 0,90 (Quadro 6).

Logo após este estágio, no florescimento feminino, é recomendada a coleta de folha para análise química em função da folha neste estágio melhor refletir o estado nutricional (Malavolta et al., 1997).

Este maior coeficiente de correlação provavelmente deve se à maior demanda das plantas por nitrogênio nesta fase, o que leva a uma deficiência mais severa nas plantas que não foram adequadamente nutridas com nitrogênio, como as plantas que receberam doses insuficientes até o estágio V_7 (tratamento 4 e 5 que haviam recebido apenas 40 kg ha^{-1} de N até este estágio), uma vez que o clorofilômetro apresenta maior capacidade em diferenciar plantas deficientes e não deficientes em N.

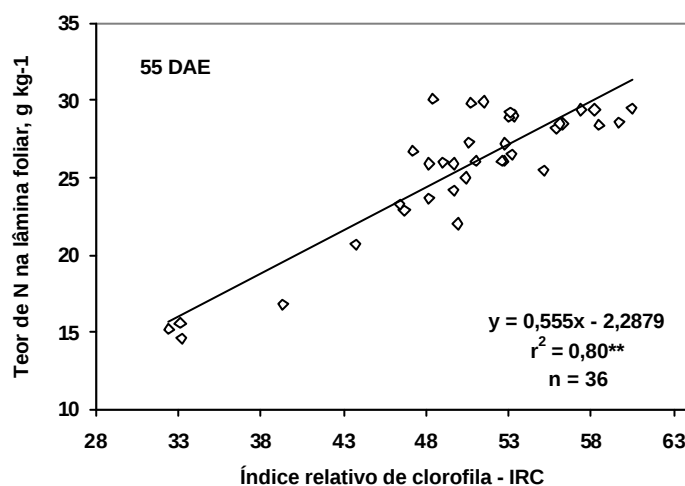


Figura 8. Relação entre o índice relativo de clorofila e o teor de N na folha no estágio de 12 folhas (pendoamento) desenroladas na cultura do milho.

Aos 71 DAE, observa-se na Figura 9 que há um maior distanciamento dos valores de IRC relativos às plantas que não receberam N em cobertura em relação aquelas que receberam N ficando os dados bem agrupados em função de não haver uma grande diferenciação entre os as plantas dos tratamentos.

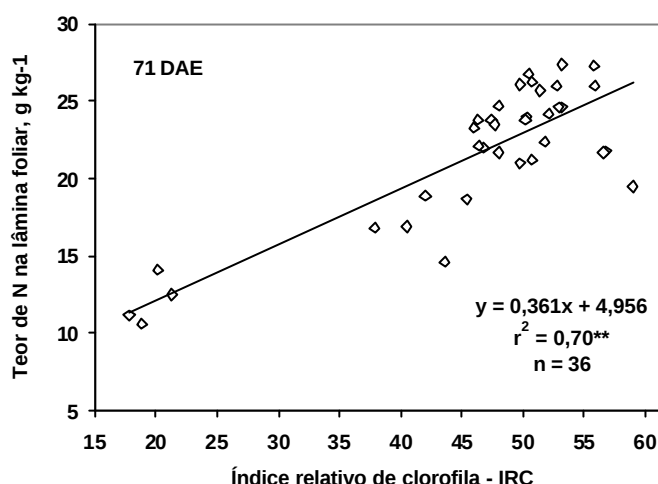


Figura 9. Relação entre o índice relativo de clorofila e o teor de N na folha no estágio uma semana após o florescimento feminino na cultura do milho.

6.5 Nitrogênio Inorgânico no solo

No Quadro 12 estão apresentados os teores de N total, amônio e nitrato no perfil do solo (até 1 m de profundidade) dez dias antes da semeadura na área total do experimento. O teor de amônio é um pouco superior ao de nitrato até a profundidade de 60 cm provavelmente em função do pH do solo antes de ser corrigido estar baixo (4,8) e em função da baixa quantidade de chuva ocorrida fatores que podem limitar a nitrificação de acordo com Haynes (1986) e Verdade, (1951). Observa-se que há uma maior concentração

tanto do nitrato quanto do amônio até a camada de 40 cm de profundidade em comparação com a camada de 40 a 100 cm.

No Quadro 13 o teor de nitrato encontrado na camada de 0 a 20 cm pode ser considerado baixo levando em conta que o teor de 25 mg dm^{-3} de N-NO_3^- na camada de 0 a 30 cm (“Pre Sidedress Nitrate Test”) é considerado como valor crítico em monocultura de milho no estado de Iowa, EUA, onde o teor de nitrato N camada superficial no estágio de 4 folhas do milho é utilizado no cálculo da adubação nitrogenada em cobertura (Blackmer & Voss, 1997).

Quadro 12. Teor de N total, amônio (N-NH_4^+), nitrato (N-NO_3^-) e N inorgânico ($\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$) no perfil do solo (até 1 m de profundidade), determinado em amostras coletadas em diferentes profundidades na área do experimento, dez dias antes da semeadura.

Profundidade no perfil do solo	N total	Amônio (NH_4^+)	Nitrato (NO_3^-)	N inorgânico
----- cm -----	----- mg kg^{-1} de TFSA (kg ha^{-1}) -----			
0 – 20	511 (1676)	16,3 (53,4)	12,1 (39,6)	28,9 (93,0)
20 – 40	389 (1308)	12,1 (40,6)	8,4 (28,6)	20,5 (68,8)
40 – 60	322 (1070)	4,7 (15,6)	4,7 (15,6)	9,4 (31,2)
60 – 80	255 (846)	3,3 (10,8)	6,5 (21,6)	9,8 (32,4)
80 – 100	238 (838)	4,2 (14,8)	5,6 (19,8)	9,8 (34,6)
Total	1715 (5738)	37,3 (135,2)	40,6 (142,8)	77,9 (260,0)

A aplicação da dose de 60 kg ha^{-1} de N um dia antes da semeadura teve influência no teor de N-NO_3^- e N-NH_4^+ nas amostras de solo coletadas aos 20 DAE, época da aplicação da primeira parcela da adubação nitrogenada em cobertura (Quadro 13). Observa-se também que o teor de N-NO_3^- no solo foi maior na camada do solo de 40 a 100 cm na dose de 60 kg ha^{-1} de N (Quadro 13). Esse efeito provavelmente ocorreu pela percolação do

N-nítrico da camada mais superficial em função da alta precipitação acumulada (258 mm) da época de aplicação do adubo até a data de coleta das amostras (24 dias) (Figura 5).

Quadro 13. Teor de amônio (N-NH_4^+), nitrato (N-NO_3^-) no perfil do solo (até 1 m de profundidade), determinado em amostras coletadas em diferentes profundidades na área do experimento, vinte dias após da aplicação do adubo. Média de quatro repetições.

Profundidade de amostragem no perfil do solo	Dose de N aplicado em pré-semeadura	
	0 kg N ha ⁻¹	60 kg N ha ⁻¹
----- cm -----	----- N-NO ₃ ⁻ , mg kg ⁻¹ de TFSA -----	
0 – 20	5,10 A bc ⁽¹⁾	6,58 A b
20 – 40	4,28 A c	6,62 A b
40 – 60	5,48 B bc	12,48 A a
60 – 80	9,10 B ab	12,88 A a
80 – 100	11,55 A a	11,95 A a
0 – 100	35,5	50,5
----- cm -----	----- N-NH ₄ ⁺ , mg kg ⁻¹ de TFSA -----	
0 – 20	4,05 B a	9,33 A a
20 – 40	3,33 B a	6,55 A ab
40 – 60	4,03 A a	6,05 A b
60 – 80	4,20 A a	4,55 A b
80 – 100	4,60 A a	5,85 A b
0 – 100	20,2	32,3

(1) Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%. Coeficiente de variação médio para N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ de 24,3 e 28,1 %, respectivamente.

Em relação às parcelas que não receberam o N antes da semeadura (0 kg ha⁻¹), houve maior acúmulo de N-nítrico na camada de 40 a 80 cm. Logo, o efeito da percolação de nitrato também ocorreu nas parcelas sem a aplicação do N antes da semeadura, no entanto, em menor grau, uma vez que, os teores de N nítrico são menores na camada de 40 a 80 cm embora iguais estatisticamente na camada de 80 a 100 cm.

O teor de N amoniacal nas parcelas que não receberam N não variou com a profundidade no perfil do solo apresentando um teor médio de 4,0 mg de N-NH_4^+ kg^{-1} de TFSA. As parcelas que receberam o adubo antes da semeadura houve uma elevação do teor de N amoniacal somente nas camadas mais superficiais (até 40 cm de profundidade) em relação às parcelas que não receberam a adubação.

Esta maior concentração se deve ao adubo adicionado e a menor mobilidade do NH_4^+ nestas camadas superficiais devido o predomínio de cargas negativas. Vinte dias após a aplicação do sulfato de amônio boa parte do N amoniacal foi convertido à nitrato e este por sua vez foi percolado para as camadas mais profundas não ficando disponível para as plantas no estágio de quatro a cinco folhas devido o sistema radicular ainda não atingir maiores profundidades.

Nas parcelas que não receberam a adubação antes da semeadura houve uma redução do teor de N-NO_3^- nas camadas de 0 a 40 e um aumento na camada de 60 a 100 cm de profundidade no perfil do solo em relação ao teor determinado dez dias antes da semeadura (Quadro 14) evidenciando a percolação do nitrato no perfil em função da mobilidade do N nítrico e da alta precipitação acumulada neste período (Figura 5). Este efeito também foi observado nas parcelas que receberam a dose de 60 kg ha^{-1} de N, sendo mais pronunciado, ocorrendo o aumento do teor de N-NO_3^- mais superficialmente, ou seja, a partir da camada de 40 a 60 cm de profundidade. Deve-se lembrar que além da maior concentração de nitrato proporcionada pela adubação o efeito “priming” citado por Malavolta (1976) também contribui para o aumento do N inorgânico no solo.

Segundo Dynia & Camargo (1999) pode haver uma certa adsorção do íon nitrato em maiores profundidades devido à menor quantidade de cargas negativas (menor

teor de matéria orgânica) podendo ocorrer uma capacidade de troca aniônica (CTA) retendo o nitrato por adsorção.

Quadro 14. Teor de N nítrico (N-NO_3^-) e N amoniacal (N-NH_4^+) em épocas de coleta no período do experimento e profundidades de coleta no perfil do solo em função do manejo de nitrogênio em cobertura nas parcelas que não receberam N antes da semeadura na FESM, São Manuel, SP, no ano de 2000/01.

Profundidade de coleta das amostras	Época de coleta das amostras						
	Dez dias antes da semeadura	Vinte dias após a emergência	Final do ciclo (125 DAE)				
			Manejo do N em cobertura				
			1 ⁽¹⁾	2	3	4	5
cm	----- N-NO ₃ ⁻ , mg kg ⁻¹ de TFSA -----						
0 a 20	12,1 A a ⁽²⁾	5,1 B b	5,7 B a	6,7 B a	6,4 B a	6,7 B a	7,9 B b
20 a 40	8,4 A b	4,3 B b	2,9 B a	4,8 B a	5,0 B a	5,7 AB ab	8,4 A b
40 a 60	4,7 B c	5,5 B b	3,3 B a	4,4 B a	5,1 B a	5,1 B ab	11,4 A a
60 a 80	6,5 BC bc	9,1 A a	4,0 C a	4,7 C a	5,0 C a	3,7 C b	9,4 AB ab
80 a 100	5,6 BC bc	11,6 A a	3,7 C a	4,8 C a	5,7 BC a	4,2 C ab	8,8 B ab
cm	----- N-NH ₄ ⁺ , mg kg ⁻¹ de TFSA -----						
0 a 20	16,3 A a	4,05 B a	3,9 B a	4,7 B a	4,4 B a	4,6 B a	6,3 B a
20 a 40	12,1 A b	3,33 B a	3,2 B a	5,3 B a	3,8 B a	3,7 B a	4,2 B a
40 a 60	4,7 AB c	4,03 AB a	2,8 B a	6,1 A a	4,0 AB a	4,2 A a	5,1 AB a
60 a 80	3,3 A c	4,2 A a	4,3 A a	4,9 A a	5,5 A a	5,1 A a	4,0 A a
80 a 100	4,2 A c	4,6 A a	4,2 A a	4,0 A a	5,4 A a	5,2 A a	4,9 A a

(1) 1 – 0 N em cobertura; 2 – 60+40 kg ha⁻¹ de N em cobertura; 3 – 42+28 kg ha⁻¹ de N em cobertura; 4 – 20+20+30+20 kg ha⁻¹ de N em cobertura baseado no ISN; 5 – 35+35+50+35 kg ha⁻¹ de N em cobertura baseado no ISN.

(2) Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%. Coeficiente de variação médio para N- NO_3^- e N- NH_4^+ de 20,7 e 25,4 %, respectivamente.

Em relação ao teor de N amoniacal aos 10 dias antes da semeadura nas parcelas que não receberam a dose de N, houve uma diminuição na camada de 0 a 40 cm aos 20 DAE, não ocorrendo variação nas demais camadas até 100 cm de profundidade independente da dose adicionada antes da semeadura (Quadro 14 e 15). Não houve variação do N- NH_4^+ no final do ciclo comparado ao teor aos 20 DAE.

Quadro 15. Teor de N nítrico (N-NO_3^-) e N amoniacal (N-NH_4^+) em épocas de coleta no período do experimento e profundidades de coleta no perfil do solo em função do manejo de nitrogênio em cobertura nas parcelas que receberam a doses de 60 kg ha^{-1} de N antes da semeadura na FESM, São Manuel, SP, na safra agrícola de 2000/01.

Profundidade de coleta das amostras	Época de coleta das amostras					
	Dez dias antes da semeadura	Vinte dias após a emergência	Final do ciclo (125 DAE)			
			Manejo do N em cobertura			
			6 ⁽¹⁾	7	8	9
---- cm ----	N-NO ₃ ⁻ , mg kg ⁻¹ de TFSA -----					
0 a 20	12,1 A a ⁽²⁾	6,6 B b	7,1 B a	6,0 B a	8,8 AB ab	7,0 B a
20 a 40	8,4 A b	6,6 AB b	6,1 AB a	3,5 B a	5,1 AB b	5,9 AB a
40 a 60	4,7 B bc	12,5 A a	5,6 B a	2,9 B a	6,2 B b	5,4 B a
60 a 80	6,5 BC bc	12,9 A a	6,0 BC a	3,3 C a	8,5 AB ab	7,7 B a
80 a 100	5,6 BC bc	12,0 A a	8,6 AB a	4,4 C a	11,4 A a	6,1 BC a
---- cm ----	N-NH ₄ ⁺ , mg kg ⁻¹ de TFSA -----					
0 a 20	16,3 A a	9,3 B a	3,7 C a	4,6 C a	5,5 BC a	4,0 C a
20 a 40	12,1 A b	6,5 B a	4,0 B a	4,3 B a	4,4 B a	3,2 B a
40 a 60	4,7 A c	6,1 A a	4,8 A a	4,7 A a	6,4 A a	2,9 A a
60 a 80	3,3 A c	4,6 A a	5,6 A a	3,4 A a	4,5 A a	2,9 A a
80 a 100	4,2 AB c	5,9 A a	4,7 AB a	2,2 B a	4,2 AB a	2,0 B a

(1) Número dos tratamentos: 6 - $24+16 \text{ kg ha}^{-1}$ de N em cobertura; 7- $20+20+30+20 \text{ kg ha}^{-1}$ de N em cobertura baseado no ISN; 8 - $35+35+50+35 \text{ kg ha}^{-1}$ de N em cobertura baseado no ISN; 9 - $80+60 \text{ kg ha}^{-1}$ de N em cobertura

(2) Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%. Coeficiente de variação médio para N-NO_3^- e N-NH_4^+ no final do ciclo de 21,5 e 29,0 %, respectivamente.

Já nas parcelas que receberam 60 kg ha^{-1} houve um aumento do teor de N-NH_4^+ nas camadas mais superficiais (0 a 40 cm) em relação ao teor aos 10 dias antes da semeadura em função da adubação, mantendo o mesmo teor nas camadas mais profundas ao contrário do N nítrico. Esse efeito é explicado pela menor mobilidade do amônio no perfil por ser um cátion e ficar adsorvido aos colóides.

No final do ciclo na camada de 0 a 60 cm de profundidade, não houve variação do teor de N-NO_3^- aos 20 DAE com exceção do tratamento 5 no qual foi aplicado 155 kg ha^{-1} de N em cobertura nas camadas de 20 a 40 e 40 a 60 cm (Quadro 14). Na camada

de 60 a 100 cm houve uma redução no teor de N nítrico no final do ciclo em todos os tratamentos com exceção também do tratamento 5. Isto evidencia que as aplicações altas de N feita em estádios mais tardios são menos eficientes, uma vez que, no tratamento 8 foi aplicado 85 kg ha^{-1} de N após o estágio V_{10} . No tratamento (4) no qual foi aplicado uma dose menor (90 kg ha^{-1} de N em cobertura) nos mesmos estádios, o teor de N nítrico no perfil reduziu na camada de 60 a 100 cm não variando de 0 a 60 cm de profundidade.

Coelho et al., (1992b) trabalhando em solo de textura argilosa encontraram o teor de $6,74 \text{ mg kg}^{-1}$ de N-NO_3^- na camada de 60 a 100 cm utilizando 240 kg ha^{-1} de N em cobertura no enchimento de grão do milho, e $17,54 \text{ mg kg}^{-1}$ na camada de 100 a 140 cm. Esses resultados evidenciam a percolação do nitrato no perfil quando se utiliza alta dose de N. Os teores nas parcelas que não receberam a adubação apresentaram um teor de $0,76 \text{ mg kg}^{-1}$ na camada de 100 a 140 cm e $7,15 \text{ mg kg}^{-1}$ de N-NO_3^- nas parcelas que receberam a dose de 60 kg ha^{-1} de N.

Os teores de N nítrico no final do ciclo estão próximos aos encontrados por Varvel & Peterson (1990) para monocultura de milho nos EUA. Estes autores encontraram teores variando entre 5 e $8 \text{ mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ nas camadas do perfil do solo até 150 cm de profundidade para a dose de 180 kg ha^{-1} de N.

No entanto em pesquisas conduzidas no Brasil os valores de N-NO_3^- encontrados no final do ciclo tem varia do entre 1 e $2 \text{ mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ (Lera et al., 2000; Basso, 1999; Sá, 1996). A maioria destas pesquisas foi conduzidas em sistema de plantio direto e provavelmente o teor de nitrato seja menor devido a maior imobilização pela maior biomassa microbiana (Bartz, 1998).

Houve uma redução no teor de N-NH_4^+ , no final do ciclo, nas parcelas que receberam a dose de 60 kg ha^{-1} de N antes da semeadura, somente nas camadas de 0 a 20 cm e de 80 a 100 cm de profundidade, mesmo assim isto não ocorreu em todos tratamentos. Os resultados de N-NH_4^+ não permitem uma discussão mais aprofundada, uma vez que estes não mostram uma tendência. Para os teores de N-NH_4^+ no solo o coeficiente de variação foi mais elevado (29,0%) em relação ao teor de N-NO_3^- (21,5%).

7 CONCLUSÕES

➤ Houve correlação positiva significativa entre a leitura do clorofilômetro (IRC) e o teor de N na lâmina foliar para todos os estádios fenológicos do milho avaliados a partir do estágio de 7 a 8 folhas. A melhor correlação foi obtida no estágio de 12 folhas (três dias antes do pendoamento, 53 DAE);

➤ Nem o índice relativo de clorofila (IRC) nem o índice de suficiência de nitrogênio (ISN) foram adequados para determinar a necessidade de adubação de cobertura no estágio de quatro a cinco folhas do milho;

➤ O índice de suficiência de nitrogênio discriminou os diferentes manejos de cobertura nitrogenada no milho a partir do estágio de sete a oito folhas;

➤ As doses de N aplicadas não permitiram manter o $ISN \geq 0,95$;

➤ Aplicações tardias de nitrogênio em cobertura baseadas no ISN não proporcionaram atingir maiores produtividades, somente elevar o teor de N no grão;

- As maiores produtividades de grãos do milho foram atingidas utilizando doses altas de N em cobertura aplicadas até o estágio de sete a oito folhas;
- Os teores de N inorgânico não diferiram entre si para amostragem até 60 cm em função dos diferentes manejos, que denota a dificuldade de utilizar esses parâmetros como índice auxiliar na recomendação de N em cobertura.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS*

ALVES, V.M.C., FRANÇA, G.E., RESENDE, M., COELHO, A.M., SANTOS, N.C., LEITE, C.E. Aplicação de fertilizantes nitrogenados via água de irrigação. *Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo*. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, v.6, p.32-4, 1992.

AMADO, T.J.C., MIELNICZUK, J., FERNANDES, S.B.V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, v.24, p.179-89, 2000.

ANDRADE, A.G., HAAG, H.P., OLIVEIRA, G.D., SARRUGE, J.R. Acumulação diferencial de nutrientes por cinco cultivares de milho (*Zea mays* L.) I. acumulação de macronutrientes. *An. Esc. Super. Agric. "Luiz de Queiroz"*, v.32, p.115-49, 1975.

*UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Faculdade de Ciências Agrônômicas. *Normas para a elaboração de dissertações e teses*. Botucatu, 1997. 35p.

ARGENTA, G., SILVA, P.R.F., RIZZARDI, M.A., BARUFFI, M.J., LOPES, M.C.B. Manejo do nitrogênio no milho em semeadura direta em sucessão a espécies de cobertura do solo no inverno em dois locais. - II. Efeito sobre o rendimento de grãos. *Ciência Rural*, v.29, n.4, p.587-93, 1999a.

ARGENTA, G., SILVA, P.R.F., RIZZARDI, M.A., BARUFFI, M.J., BEHEREGARAV NETO, V. Manejo do nitrogênio no milho em semeadura direta em sucessão a espécies de cobertura do solo no inverno em dois locais. - I. Efeito sobre a absorção de N. *Ciência Rural*, v.29, n.4, p.577-86, 1999b.

ARGENTA, G., SILVA, P.R.F., BORTOLINI, C.G., FORSTHOFER, E.L., MANJABOSCO, E.A., STRIEDER, M.L. Teor de clorofila na folha como parâmetro indicador do nível de nitrogênio na planta de milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO MILHO E SORGO, 23, 2000, Brasília. *Anais...*Brasília: ABMS, 2000a (CD-ROM).

ARGENTA, G., SILVA, P.R.F., BORTOLINI, C.G., STRIEDER, M.L., FORSTHOFER, E.L. Monitoramento do nível de nitrogênio na planta de milho através do teor de clorofila avaliado pelo clorofilômetro. In: CONGRESSO BRASILEIRO MILHO E SORGO, 23, 2000, Brasília. *Anais...*Brasília: ABMS, 2000b (CD-ROM).

ARNON, I. *Mineral nutrition of maize*. Bern: International Potash Institute, 1975. 452 p.

- BARTZ, H. Dinâmica dos nutrientes e adubação em sistemas de produção sob plantio direto. In: FRIES, M.R. (coord.). *Curso de atualização em recomendação da adubação e calagem: plantio em solos arenosos: alternativas de manejo para a sustentabilidade agropecuária*. Santa Maria: UFSM, 1998. 103p.
- BASSO, C.J. *Épocas de aplicação de nitrogênio para milho cultivado em sucessão a plantas de cobertura de solo, no sistema de plantio direto*. Santa Maria, 1999. 77p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Biodinâmica de Solos) - Universidade Federal de Santa Maria (RS).
- BASSOI, L.H., CARVALHO, A.M. Lixiviação de macronutrientes em solos cultivados com milho com e sem irrigação suplementar. *R. Bras. Ci. Solo*, v.16, p.283-87, 1992.
- BASSOI, L.H., REICHARDT, K. Acúmulo de matéria seca e de nitrogênio em milho cultivado no período de inverno com aplicação de nitrogênio no solo e via água de irrigação. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.30, n.12, p.1361-73, 1995.
- BERGER, K.C. Seja o doutor do seu milho. *Informações Agronômicas*, n.63, não pag., 1993. (Arquivo de Agrônomo n°2).
- BLACKMER, T.M., SCHEPERS, J.S., Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, v.25(9 e 10), p.1791-800, 1994.

- BLACKMER, T.M., SCHEPERS, J.S., Use of a chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. *J. Prod. Agric.*, v.8, n.1, p.56-60. 1995.
- BLACKMER, T.M., VOSS, R.D. *Nitrogen Fertilizer Recommendations for Corn in Iowa*. Iowa, Iowa State University, Cooperative Extension Services, 1997, 4p. Disponível: <http://www.ipm.iastate.edu/ipm/icm/1998/4-27-1998> [acesso em 25 setembro 2001, 24:30]
- BLACKMER, T.M., SCHEPERS, J.S., VARVEL, G.E. Light reflectance compared with other nitrogen stress measurements in corn leaves. *Agron. J.*, v.86, p.934-8, 1994.
- BRANDALIZZE, V. Impacto do milho no agribusiness. In: SANDINI, I.E., FANCELLI, A.L. (ed.) *Milho: estratégias de manejo para a região sul*. Piracicaba: ESALQ/USP, 2000, p.179-86.
- BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L.T., CANTARELLA, H. (ed.) *Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo-POTAFOS, 1993. p. 67-145
- BULLOCK, D.G., ANDERSON, D.S., Evaluation of the Minolta SPAD - 502 chlorophyll meter for nitrogen management in corn. *J. Plant Nutr.*, v. 21(4), p.741 - 55, 1998.

- CANTARELLA, H. Matéria orgânica e nitrogênio do solo. In: BÜLL, L.T., ROSOLEM, C.A. *Interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação*. Botucatu: Fundação de estudos e pesquisas agrícolas e florestais, 1989. p.37-74.
- CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BÜLL, L.T., CANTARELLA, H. (ed.) *cultura do milho: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato-POTAFOS, 1993. p. 146 – 96.
- CANTARELLA, H, TRIVELIN, P.C.O. Determinação de nitrogênio inorgânico em solo pelo método da destilação a vapor. In: RAIJ, B., ANDRADE, J.C., CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A. *Análises químicas para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: IAC/FUNDAG, 2001, p. 270-6.
- CATI. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. *Milho: Informações técnicas*. Campinas: CATI, 1998. 26p.
- CHAPMAN, S.C., BARRETO, H.J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. *Agron. J.*, v.89, p.557-62. 1997.
- COELHO, A.M. Fertirrigação. In: COSTA, E.F., VIEIRA, R.F., VIANA, P.A. (ed.) *Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação*. Brasília: EMBRAPA - SPI, 1994, p.201-25.

- COELHO, A.M., FRANÇA, G.E., BAHIA FILHO, A.F.C., GUEDES, G.A.A. Doses e métodos de aplicação de fertilizantes nitrogenados no cultivo do milho sob irrigação. *R. Bras. Ci. Solo*, v.16, p.61-7, 1992a.
- COELHO, A.M., FRANÇA, G.E., BAHIA FILHO, A.F.C. GUEDES, G.A.A. Dinâmica do nitrogênio em um latossolo vermelho escuro fase cerrado cultivado com milho. *Relatório Técnico Anual do Centro de Pesquisa de Milho e Sorgo, 1988-1991*. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, v.6, p.215, 1992b.
- 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. *J. Plant. Nutr.*, v.24 (8), p.1173-94. 2001.
- DOURADO-NETO, D., FANCELLI, A.L. Estratégias para redução do efeito do estresse hídrico na cultura do milho. In: SANDINI, I.E., FANCELLI, A.L. (ed.) *Milho: estratégias de manejo para a região sul*. Piracicaba: ESALQ/USP, 2000, p.89-102
- DYNIA, J.F., CAMARGO, O.A. Retenção de nitrato num solo de carga variável, influenciada por adubação fosfatada e calagem. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.34, n.1, p.141-4, 1999.
- DWYER, L.M., TOLLENAAR, M., BAGNULO, C. A non-destructive method to monitor leaf greenness in corn. *Can. J. Plant Sci.*, v.71, p. 505-9, 1991.

- DWYER, L.M., ANDERSON, A.M., MA, B.L., STEWART, D.W., TOLLENAAR, M., GREGORICH, E. Quantifying the nonlinearity in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration. *Can. J. Plant. Sci.*, v.75, p.179-82. 1995.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ) *Manual de métodos de análise de solo*. 2ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212 p.
- EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Solos *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.*, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.
- ERNANI, P.R., NASCIMENTO, J.A.L., FREITAS, E.G. Aumento do rendimento de grãos e de massa verde de milho para silagem pela aplicação de nitrogênio. *Pesq. Agropec. Gaúcha*, v.2(2), p.201-5, 1996.
- EVANS, J.R Nitrogen and photosynthesis in the flag leaf of wheat. *Plant Physiol.*, v.72, p.287-302, 1983.
- ESCOSTEGUY, P.A, RIZZARDI, M.A., ARGENTA, G. Doses e épocas da aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho em duas épocas de semeadura. *R. Bras. Ci. Solo*, v.21, p.71-7, 1997.
- FAGERIA, N.K., BALIGAR, V.C., JONES, C.A. Corn. In:__. *Growth and mineral nutrition of field crops*. 2 ed., Madison: Marcel Decker, 1997. p.345-83.

FANCELLI, A.L., DOURADO NETO, D. *Fisiologia de produção e manejo de água e nutrientes na cultura do milho de alta produtividade*. Piracicaba: POTAFOS (Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato), Departamento de Agricultura/ ESALQ, USP, 1996. p.29.

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

FASSBENDER, H.W. *Química de suelos: com ênfasis en suelos de América Latina*. Turrialba, Costa Rica: IICA, 1975. 398p.

FERNANDES, L.A, VASCONCELLOS, C.A., FURTINI NETO, A.E., ROSCOE, R. GUEDES, G.A.A. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produção de grãos e matéria seca e acúmulo de nutrientes pelo milho. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.34, n.9, p.1691-8, 1999.

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO: AGRIANUAL 2000: *Anuário da Agricultura Brasileira*. São Paulo, 2000, 687 p.

FOLLET, R.H., FOLLET, R.F., HALVORSON, A.D. Use of a chlorophyll meter to evaluate the nitrogen status of dryland winter wheat. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* v.23, p.687-97, 1992.

FOX, R.H., PIEKIELEK, W.P., MACNEAL, K.E. Using a chlorophyll meter to predict nitrogen fertilizernneeds of winter wheat. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, v.25, p.171-81, 1994.

FOX, R.H., PIEKIELEK, W.P., MACNEAL, K.E. Comparison of late-season diagnostic tests for predicting nitrogen status of corn. *Agron. J.*, v.93, p.590-7. 2001.

GATTO, R.H, SOUZA, W.J.O., MELO, W.J., HELLI, R.A., LEITE, A.S. Efeito de diferentes sistemas de produção sobre o teor de N-amoniacal trocável e N-nitrato no solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, 1999, Brasília. *Anais...*Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. (CD-ROM)

GOMES, F.P. *Curso de Estatística experimental*. 14 ed., Piracicaba: ESALQ, 2000. 477 p.

HAYNES, R.J. *Mineral nitrogen in the plant-soil system*. Londres: Academic Press, 1986. 483p.

HANWAY, J.J. Corn growth and composition mineral in relation to soil fertility - I. Growth of different plnat parts and relation between leaf weight and grain yields. *Agron. J.*, v.54, p.145-8, 1962a.

HANWAY, J.J. Corn growth and composition mineral in relation to soil fertility - II. Uptake of N, P and K and their distribution in different plant parts during the growing season. *Agron. J.*, v.54, p.217-22, 1962b.

HERGEBERT, G.W., FERGUSON, R.B., SHAPIRO, C.A. Fertilizer suggestions for corn. Cooperative Extension, Institute of Agriculture in Natural Resources, University of Nebraska, Lincoln, 1995, 8p. (Nebguide, G74-174A).

HUSSAIN, F., BRONSON, K.F., YADVINDER-SINGH, BIJAY-SINGH, PENG, S. Use of chlorophyll meter sufficiency indices for nitrogen management of irrigated rice in Asia. *Agron. J.*, v.92, p.875-9. 2000.

JEMISON, J.M., LYTLE, D.E. Field evaluation of two nitrogen testing methods in maize. *J. Prod. Agric.*, v.9, n.1, p.108-13, 1996.

LEE, W., SEARCY, S.W., KATAOKA, T. Assessing nitrogen stress in corn varieties of varying color In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING , 1999, Toronto. *Paper Presentation...* Toronto, Canadá: ASAE, 1999. (CD-ROM)

LEMOES, R.C., SANTOS, R.D. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 3 ed., Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 84p.

- LERA, F.L., CANTARELLA, H., BOLONHEZI, D., PEREIRA, J.C.V.N., LARA-CABEZAS, W.A.R., TRIVELIN, P.C.O. Absorção pelo milho do nitrogênio aplicado antecipado ou em cobertura, em sistema de plantio direto. In: FERTBIO, 2, 2000, Santa Maria. *Resumos...*Santa Maria: SBCS/UFSM, 2000. (CD-ROM).
- MA, B.L., DWYER, L.M. Determination of nitrogen status in maize senescing leaves. *J. Plant Nutr.*, v. 20(1), p.1 - 8, 1997.
- MA, B.L., MORRINSON, M.J., VOLDENG, H.D. Leaf greenness and photosynthetic rates in soybean. *Crop Sci.*, v.35, p.1411-14, 1995
- MALAVOLTA, E. Matéria orgânica. In:___ Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo. São Paulo: Crês, 1976. p.177-256
- MALAVOLTA, E., VITTI, G.C., OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações, 2ed. Piracicaba: POTAFOS (Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato), 1997. 317 p.
- MARQUARD, R.D., TIPTON, J.L. Relationship between extractable chlorophyll and an in situ method to estimate leaf greenness. *HortSci.*, v.22, p.1327. 1987.

- MATTOS JÚNIOR, D., CANTARELLA, H., RAIJ, B. Manuseio e conservação de amostras de solo para preservação do nitrogênio inorgânico. *R. Bras. Ci. Solo*, v.19, p.423-31, 1995.
- MENGEL, D.B., BARBER, S.A. Rate of nutrient uptake per unit corn root under field conditions. *Agron. J.*, v.66, p.399-402, 1974
- MENGEL, K., KIRKBY, E.A. *Principles of plant nutrition*. Bern: International Potash Institute, 1987. 687 p.
- MEROTTO JÚNIOR, A., ALMEIDA, M.L., FUCHS, O. Aumento no rendimento de grãos de milho através do aumento da população de plantas. *Ciência Rural*, v.27, n.4, p.549-54, 1997.
- MINOLTA CAMERA Co. Ltd. *Manual for chlorophyll meter SPAD-502*. Minolta Radiometric Instruments Div., Osaka, Japão, 1989. 22p.
- MINOTTI, P.L., HALSETH, D.E., SIECZKA, J.B. Field chlorophyll measurements to assess the nitrogen status of potato varieties. *HortSci.*, v.29(12), p.1497-1500, 1994.
- MISCHAN, M.M., PINHO, S.Z. *Experimentação agronômica: dados não-balanceados*. Botucatu: FUNDIBIO, 1996. 456 p.

- MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional sobre a fertilidade da camada arável do solo. *Rev. Bras. Cien. Solo*, v.7, p.97-102 1983.
- NEPTUNE, A.M.L. Efeito de diferentes épocas e modos de aplicação de nitrogênio na produção de milho, na quantidade de proteína, na eficiência do fertilizante e na diagnose foliar utilizando sulfato de amônio - ^{15}N . *Anais da ESALQ*, v.34, n.1, p.515-39, 1977
- NOVAIS, M.V., NOVAIS, R.F., BRAGA, J.M. Efeito da adubação nitrogenada e seu parcelamento sobre a cultura do milho em Patos de Minas. *Rev. Ceres*, v.21, n.115, p.193-202, 1974.
- PENG, S., GARCIA, F.V., LAZA, R.C., CASSMAN, K.G. Adjustment for specific leaf weight improves chlorophyll meter's estimate of rice leaf nitrogen concentration. *Agron. J.*, v.85, p.987-90. 1993.
- PENG, S., GARCIA, F.V., LAZA, R.C., SANICO, A.L., VISPERAS, R.M., CASSMAN, K.G. Increased N-use efficiency using a chlorophyll meter on high-yielding irrigated rice. *Field Crop R.*, v.47, p.243-52, 1996.
- PETERSON, T.A., BLACKMER, T.M., SCHEPERS, J.S. Using a chlorophyll meter to improve N management. *NebGuide*. Lincoln, University of Nebraska, Cooperative Extension, Institute of Agricultural and Natural Resources, 1993, 5p. Disponível: <http://ianrwww.unl.edu/pubs/soil/g11/1.htm> [acesso em 4 fev. 2000, 8:30].

PIEKIELEK, W.P., FOX, R.H. Use of a chlorophyll meter to predict side dress requirements for maize. *Agron. J.*, v. 84, p.59 - 65, 1992.

PIEKIELEK, W.P., FOX, R.H., TOTH, J.D. Use of a chlorophyll meter at the early stage of corn to evaluate nitrogen sufficiency. *Agron. J.*, v. 87, p.403 - 8, 1995.

PIEKIELEK, W.P., LINGENFELTER, D., BEEGLE, D., FOX, R. The early-season chlorophyll meter test for corn. *Agronomy Facts*, n.53 Pennsylvania, Pennsylvania State University, Penn State Cooperative Extension, 1997, 8p. Disponível: <http://www.specmeters.com/apenn.htm> [acesso em 10 abr. 2000, 14:30].

PICCOLO, M.C., VENZKE FILHO, S.P., FEIGL, B.J., SÁ, J.C.M. Nitrogênio total e mineral em uma cronossequência de sistema de plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, 1999, Brasília. *Anais...*Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. (CD-ROM).

PÖTTKER, D., ROMAN, E.S. Efeito de resíduos de culturas e do pousio de inverno sobre a resposta do milho ao nitrogênio. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.29, n.5, p.763-70, 1994

RAIJ, B., QUAGGIO, J.A. *Métodos de análise de solo para fins de fertilidade*. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983, 31p. (Boletim Técnico, 81).

- RAIJ, B., CANTARELLA, H. Milho para grãos e silagem. In: INSTITUTO AGRONÔMICO/FUNDAG. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Campinas: IAC/FUNDAG, 1996, p.56-59 (Boletim Técnico, 100).
- RAIJ, B., ANDRADE, J.C., CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A. *Análises químicas para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: IAC/FUNDAG, 2001, 285p.
- RAIJ, B., FEITOSA, C.T., CANTARELLA, H., CAMARGO, A.P., DECHEN, A.R., ALVES, S., VEIGA, A.A., CAMPANA, M.P., PETINELLI, A., NERY, C.A. A análise de solo para discriminar respostas à adubação para a cultura do milho. *Bragantia*, v.40, p.57-75, 1981.
- REEVES, D.W., MASK, P.L., WOOD, C.W., DELANEY, D. Determination for wheat nitrogen status with a hand-held chlorophyll meter: influence of management practices. *J. Plant. Nutr.*, v.16, p.781-96, 1993.
- RENDING, V.V., BROADBENT, F.E. Proteins and amino acids in grain of maize grown with various levels of applied N. *Agron. J.*, v.71 (3), p.509-12, 1979
- RESENDE, M., FRANÇA, G.E., ALVES, V.M.C., Cultura do milho irrigado. In: In: BÜLL, L.T., CANTARELLA, H. (ed.) *Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: POTAFOS (Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato), 1993. p. 237-48.

RESENDE, M., WILHELM, W.W., WATTS, D.G., Estresse de água na planta e o teor de clorofila da folha de milho irrigado para recomendação de nitrogênio em cobertura. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 20, 1994. Goiânia. *Resumos...* Goiânia: ABMS, 1994a. p.194.

RESENDE, M., WILHELM, W.W., WATTS, D.G., Alteração na porcentagem de clorofila na folha de milho após a aplicação de nitrogênio em cobertura. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 20, 1994. Goiânia. *Resumos...* Goiânia: ABMS, 1994b. p.195.

RITCHIE, S.W., HANWAY, J.J., BENSON, G.O. *How a corn plant to develops*. Iowa State Univ. Coop. Ext. Serv. Spec., Rep. 48. 1993.

RHOADS, F.M., STANLEY JR., R.L. Fertilizer scheduling, yield and nutrient uptake in irrigated corn. *Agron. J.*, v.73, p.971-4, 1981.

ROZAS, H.S., ECHEVERRÍA, H.E. Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento em grano. *R. Fac. de Agron.*, v.103(1), p.37-44, 1998.

SÁ, J.C.M. *Manejo do nitrogênio na cultura do milho no sistema de plantio direto*. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1996. 24 p.

SCHEPERS, J.S., FRANCIS, D.D., VIGIL, M., BELOW, F.E. Comparision of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter reading. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, v.23(17-20), p.2173-87, 1992.

SILVA, C.A., VALE, F.R. Disponibilidade de nitrato em solos brasileiros sob efeito da calagem e de fontes e doses de nitrogênio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, 1999, Brasília. *Anais...*Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. (CD-ROM).

SIQUEIRA, O.J.F., SCHERER, E.E., TASSINARI, G., ANGHINONI, I., PATELLA, J.F., TEDESCO, J.J., MILAN, P.A., ERNANI, P.R. *Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*. Passo Fundo: EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa do Trigo, 1987. 100p.

SMEAL, D., ZHANG, H. Chlorophyll meter evaluation for nitrogen management in corn. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, v.25(9e10), p.1495-1503, 1994.

SUNDERMAN, H.D., PONTIUS, J.S., LAWLESS, J.R. Variability in leaf chlorophyll concentrations among fully-fertilized corn hybrids. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, v.28 (19 e 20), p.1793-1803, 1997.

- TESSARO, L.C., PAULETTI, V., MARQUES, R., BORTOLETO, S., Efeito de formas de aplicação e fontes de nitrogênio na cultura do milho em solos arenoso, sob plantio direto. In: FERTBIO, 2, 2000, Santa Maria. *Resumos...* Santa Maria: SBCS/UFSM, 2000. (CD-ROM).
- TEDESCO, M.J., GIANELLO, C.; BISSANI, C.A., BOHNEN, H., VOLKWEISS, S.J., *Análise de solo, plantas e outros materiais*. Porto Alegre, Departamento de Solos, UFRGS, 174p. 1995.
- TURNER, F.T., JUND, M.F. Chlorophyll meter to predict nitrogen topdress requirement for semidwarf rice. *Agron. J.*, v.83, p.926-8, 1991.
- VARVEL, G.E., PETERSON, T.A. Residual nitrogen as affected by continuous two-year, and four-year crop rotation system. *Agron. J.*, v.82, p.958-62. 1990.
- VARVEL, G.E., SCHEPERS, J.S., FRANCIS, D.D. Chlorophyll meter and stalk nitrate techniques as complementary indices for residual nitrogen. *J. Prod. Agric.*, v.10, p.147-51. 1997a.
- VARVEL, G.E., SCHEPERS, J.S., FRANCIS, D.D. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.61, p.1233-39, 1997b.

VERDADE, F.C. Estudo da variabilidade do nitrato num solo tipo terra roxa misturada. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 3, Recife, 1951. Campinas: SBCS, v.1, p.129-39, 1951.

VIEGAS, G.P. *Utilização do milho no Brasil*. Seta: São Paulo, SP, 50p., 1990.

VILLAS BÔAS, R.L., BOARETTO, A.E., BÜLL, L.T., GUERRINI, I.A. Efeito do parcelamento e da largura de aplicação de uréia em cobertura para o milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: SBCS, 1997 (CD-ROM).

YADAVA, V.L. A rapid and nondestructive method to determine chlorophyll in intact leaves. *HortScience*, v.21 (6), p.146-50, 1986.

YAMADA, T. Adubação nitrogenada do milho: como melhorar a eficiência?, p.1-3, 1995. (*Informações Agronômicas*, n.71).

YAMADA, T. adubação nitrogenada do milho: quanto, como e quando aplicar? p.1-5, 1996 (*Informações Agronômicas*, n.74).

WASKOM, R.M., WESTFALL, D.G., SPELLMAN, D.E., SOLTANPOUR, P.N. Monitoring nitrogen status of corn with a portable chlorophyll meter. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, v.27 (3 e 4), p.554-60, 1996.

WOOD, C.W., REEVES, D.W., DUFFIELD, R.R., EDMISTEN, K.L. Field chlorophyll meter measurements for evaluation of corn nitrogen status. *J. Plant Nutr.*, v. 15 (4), p.487 - 500, 1992.

WOOD, C.W., REEVES, D.W., HIMELRICK, D.G. Relationship between chlorophyll meter readings and leaf chlorophyll concentration, N status and crop yield: a review. *Proc. Agron. Soc. New Zealand.*, v.23, p.1-9, 1993.

WU, P., DAÍ, Q., TAO, Q. Effect of fertilizer rates on the growth, yield, and kernel composition of sweet corn. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, v.24 (3 e 4), p.237-53, 1993.