

New 242

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

**MONITORAMENTO DO NÍVEL DE NITROGÊNIO NA PLANTA COMO  
INDICADOR DA ADUBAÇÃO NITROGENADA EM MILHO**

Gilber Argenta  
Engenheiro Agrônomo, M.Sc. (UFRGS)

Tese apresentada como um dos requisitos à  
obtenção do Grau de Doutor em Fitotecnia

Porto Alegre (RS), Brasil  
Abril, 2001



GILBER ARGENTA  
Engenheiro Agrônomo - UPF  
Mestre em Fitotecnia - UFRGS

## TESE

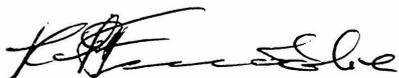
Submetida como parte dos requisitos  
para obtenção do Grau de

### **DOCTOR EM FITOTECNIA**

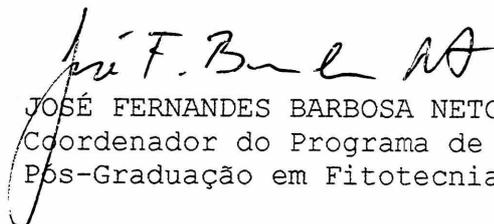
Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia  
Faculdade de Agronomia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 11.04.2001  
Pela Banca Examinadora

Homologado em: 21.05.2001  
Por



PAULO REGIS FERREIRA DA SILVA  
Orientador-PPG Fitotecnia



JOSÉ FERNANDES BARBOSA NETO  
Coordenador do Programa de  
Pós-Graduação em Fitotecnia



CLAUDIO MARIO MUNDSTOCK  
PPG Fitotecnia



JOÃO MIELNICZUK  
PPG Ciência do Solo



LUÍS SANGOI  
UDESC



GILMAR ARDUINO BETTIO MARODIN  
Diretor da Faculdade  
de Agronomia

Dedico este trabalho à minha esposa  
Fabiana, pelo amor, doação,  
compreensão e companheirismo  
sempre presentes

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por estar sempre ao meu lado, iluminando o meu caminho.

Aos meus pais, Sabino e Mariléia, que sempre apoiaram as minhas decisões por mais difíceis que fossem para eles.

Ao grande mestre, amigo, companheiro, conselheiro, a quem devo muito do que sou como profissional, professor Paulo Regis Ferreira da Silva, simplesmente uma pessoa ímpar.

Aos professores João Mielniczuk, Claudio Mario Mundstock e Luis Sangoi, membros da comissão de orientação, pela orientação e amizade.

Aos professores do Departamento de Plantas de Lavoura, pela amizade e ensinamentos transmitidos.

Aos colegas do Curso de Pós-Graduação, em especial aos colegas Carlos, Clayton, Dirceu, Élbio, João Leonardo, Mauro, Michelângelo, Miguel, Nelson, Paulo Henrique e Rafael pelo apoio e amizade.

Aos bolsistas de iniciação científica Eduardo, Elias, Éverton, Leandro, Mércio e Vasco pela amizade, apoio e dedicação na execução dos experimentos.

Aos funcionários da EEA e do Departamento de Plantas de Lavoura, pela grande colaboração na execução dos experimentos e amizade.

À PIONEER SEMENTES LTDA, em nome de Itavor e Cláudio, pelo apoio concedido.

Ao CNPq, pelo apoio concedido.

# MONITORAMENTO DO NÍVEL DE NITROGÊNIO NA PLANTA COMO INDICADOR DA ADUBAÇÃO NITROGENADA EM MILHO<sup>1</sup>

Autor: Gilber Argenta

Orientador: Prof. Paulo Regis Ferreira da Silva

## SINOPSE GERAL

Alguns métodos tem sido propostos para avaliar o nível de nitrogênio (N) na planta de milho. No entanto, eles apresentam as desvantagens de dispender muito tempo e trabalho e de não possibilitar a correção da deficiência deste nutriente no mesmo ano agrícola. Um indicador ideal deve detectar tanto a deficiência quanto o excesso e ser de rápido diagnóstico. O recente desenvolvimento de um medidor portátil de clorofila, que faz leituras instantâneas deste constituinte, sem necessidade de destruição da folha, surge como nova técnica para avaliar o nível de N na planta. A eficiência do clorofilômetro como parâmetro de planta indicador do nível de N foi testada e avaliada em seis experimentos com diferentes disponibilidades deste nutriente. Nestes experimentos, além do clorofilômetro, foi avaliada a precisão de outros parâmetros de planta (teor e acúmulo de N, massa seca e área foliar) como indicadores do nível de N na planta de milho. Também foram determinados e testados níveis adequados de N, em quatro estádios de desenvolvimento da planta de milho, com base em leituras efetuadas no clorofilômetro e avaliada a relação entre teor de clorofila extraível e leitura no clorofilômetro. Dos parâmetros de planta testados, a leitura correspondente ao teor de clorofila na folha através do medidor portátil foi o indicador mais preciso do nível de N em todos os estádios de desenvolvimento da planta. A leitura realizada com clorofilômetro estima com boa precisão o teor de clorofila na folha de milho. Para diagnóstico do nível de N na planta, as leituras no clorofilômetro acima de 45,4, 52,1, 55,3 e 58,0, respectivamente, para os estádios de três a quatro folhas, seis a sete folhas, 10 a 11 folhas e de espigamento, representam nível adequado de N. O monitoramento do nível de N na planta pelo clorofilômetro evidenciou ser eficiente parâmetro para separar plantas com deficiência e com nível adequado deste nutriente.

---

<sup>1</sup> Tese de Doutorado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (112 p.) Abril, 2001.

# NITROGEN PLANT STATUS AS AN INDICATOR OF NITROGEN FERTILIZATION IN MAIZE<sup>2</sup>

Author: Gilber Argenta

Adviser: Prof. Paulo Regis Ferreira da Silva

## GENERAL ABSTRACT

Some methods have been proposed to evaluate the nitrogen (N) level in maize. However, they are time consuming, labor demanding and do not allow growers to fix N deficiency in the same growing season. The ideal indicator must be able to detect either N deficiency or excess quickly and efficiently. The recent development of a portable chlorophyll meter, which allows instantaneous readings of this constituent, without destroying the leaf, has been used as a new tool to assess N plant status. The reading efficiency of portable chlorophyll meter as an indicator parameter of N level in the plant was evaluated in six experiments with different availabilities of this nutrient. Those trials also evaluated the accuracy of other plant parameters such as N content and accumulation, dry mass and leaf area as indicators of N level in maize. Moreover, adequate N levels were tested and determined in four growth stages of maize, based on readings made in portable chlorophyll meter. The relationship between readings of portable chlorophyll meter with extractable chlorophyll was evaluated. Among the plant parameters tested the leaf chlorophyll content estimate by the portable meter was the best indicator of maize N level, regardless of plant growth stage. Readings carried with portable chlorophyll meter estimated accurately the leaf relative chlorophyll content. Readings above 45.4, 52.1, 55.3 and 58.0 in the chlorophyll portable meter indicated adequate N level for maize at the stages of three to four leaves, six to seven leaves, 10 to 11 leaves and silking, respectively. Monitoring maize N level with a portable chlorophyll meter was an efficient method to separate plants with deficiency and adequate level of this nutrient.

---

<sup>2</sup> Doctoral thesis in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (112 p.) April, 2001.

## SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	01
2. CAPÍTULO I – Parâmetros de planta como indicadores do nível de nitrogênio na cultura do milho	
2.1 – Resumo.....	08
2.2 – Abstract.....	09
2.3 – Introdução.....	09
2.4 – Material e Métodos.....	14
2.5 – Resultados e Discussão.....	17
2.6 – Conclusões.....	27
3. CAPÍTULO II – Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho	
3.1 –Resumo.....	30
3.2 –Abstract.....	31
3.3 –Introdução.....	32
3.4 –Material e Métodos.....	34
3.5 –Resultados e Discussão.....	37
3.6 –Conclusões.....	43
4. CAPÍTULO III – Clorofila na folha como parâmetro indicativo para predição da necessidade de adubação nitrogenada em milho	
4.1 – Resumo.....	47
4.2 – Abstract.....	48
4.3 – Introdução.....	49
4.4 – Material e Métodos.....	51
4.5 – Resultados e Discussão.....	54
4.6 – Conclusões.....	67
5. CAPÍTULO IV – Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta através da leitura de clorofila na folha	
5.1 –Resumo.....	69
5.2 –Abstract.....	70
5.3 –Introdução.....	70
5.4 –Material e Métodos.....	74
5.5 –Resultados e Discussão.....	77
5.6 –Conclusão.....	90
6. CONCLUSÃO GERAL.....	91
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
8. APÊNDICES.....	101

## RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
TABELA 1 - Análise de correlação simples entre as variáveis avaliadas no estágio de três a quatro folhas completamente desenvolvidas de milho, Experimento I. Eldorado do Sul, RS, 1998/99.....	18
TABELA 2 - Análise de correlação simples entre as variáveis avaliadas no estágio de seis a sete folhas completamente desenvolvidas de milho, Experimento I. Eldorado do Sul, RS, 1998/99.....	19
TABELA 3 - Análise de correlação simples entre as variáveis avaliadas no estágio de 10 a 11 folhas completamente desenvolvidas de milho, Experimento I. Eldorado do Sul, RS, 1998/99.....	20
TABELA 4 - Análise de correlação simples entre as variáveis avaliadas no estágio de espigamento de milho, Experimento I. Eldorado do Sul, RS, 1998/99.....	21
TABELA 5 - Análise de correlação simples entre as variáveis avaliadas na folha índice no estágio de espigamento de milho, Experimentos II, III, IV e V. Eldorado do Sul, RS, 1998/99.....	23
TABELA 6 - Análise de correlação simples entre leitura no clorofilômetro corrigida pelo peso específico, massa seca e pela área foliar nos estádios de três a quatro folhas, seis a sete folhas e 10 a 11 folhas expandidas e no de espigamento de milho, Experimento I. Eldorado do Sul, RS, 1998/99.....	29
TABELA 7 - Coeficientes de correlação simples entre os parâmetros avaliados em três estádios de desenvolvimento de milho. Eldorado do Sul, RS, 1999/2000.....	38
TABELA 8 - Leitura do clorofilômetro (leitura SPAD) na folha de dois híbridos de milho em função de oito sistemas de manejo de N, em quatro estádios de desenvolvimento da planta. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1999/2000.....	78
TABELA 9 - Teor de nitrogênio (N) na folha de dois híbridos de milho em função de oito sistemas de manejo de N, em quatro estádios de desenvolvimento da planta. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1999/2000.....	81

TABELA 10 - Nitrogênio (N) acumulado na folha de dois híbridos de milho em função de oito sistemas de manejo de N, em quatro estádios de desenvolvimento da planta. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1999/2000.....	82
TABELA 11 - Teor de nitrogênio (N) na parte aérea por planta de dois híbridos de milho em função de oito sistemas de manejo de N, em quatro estádios de desenvolvimento da planta. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1999/2000 .....	83
TABELA 12 - Nitrogênio (N) acumulado na parte aérea por planta de dois híbridos de milho em função de oito sistemas de manejo de N, em quatro estádios de desenvolvimento da planta. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1999/2000.....	84
TABELA 13 - Rendimento de grãos de dois híbridos de milho em função de oito sistemas de manejo de N. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1999/2000.....	87
TABELA 14 - Número de espigas por planta, número de grãos por espiga e peso de mil grãos de dois híbridos de milho em função de oito sistemas de manejo de N. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1999/2000.....	89

## RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1 – Relação entre leitura do clorofilômetro (A) e teor de N na folha índice (B) com o rendimento de grãos de milho no estágio de espigamento, em cinco experimentos de milho. Eldorado do Sul, RS, 1998/99. *, significativo a 5% de probabilidade.....	24
FIGURA 2 - Relação entre teor de clorofila na folha e leitura do clorofilômetro no estágio de seis a sete folhas desenvolvidas de milho (6ª folha), nos híbridos Pioneer 32R21 (A) e Premium (B). Eldorado do Sul, RS, 1999/2000. Barras verticais representam desvio padrão da média. *, significativo a 5% de probabilidade.....	40
FIGURA 3 - Relação entre teor de clorofila na folha e leitura do clorofilômetro no estágio de 10 a 11 folhas desenvolvidas de milho (9ª folha), nos híbridos Pioneer 32R21 (A) e Premium (B). Eldorado do Sul, RS, 1999/2000. Barras verticais representam desvio padrão da média. *, significativo a 5% de probabilidade.....	41
FIGURA 4 - Relação entre teor de clorofila na folha e leitura do clorofilômetro no estágio de espigamento de milho (folha índice), nos híbridos Pioneer 32R21 (A) e Premium (B). Eldorado do Sul, RS, 1999/2000. Barras verticais representam desvio padrão da média. *, significativo a 5% de probabilidade.....	42
FIGURA 5 - Relação entre teor de N na folha e leitura do clorofilômetro no estágio de seis a sete folhas desenvolvidas de milho (6ª folha), nos híbridos Pioneer 32R21 (A) e Premium (B). Eldorado do Sul, RS, 1999/2000. Barras verticais representam desvio padrão da média. NS, não significativo a 5 % de probabilidade.....	44
FIGURA 6 - Relação entre teor de N na folha e leitura do clorofilômetro no estágio de 10 a 11 folhas desenvolvidas de milho (9ª folha), nos híbridos Pioneer 32R21 (A) e Premium (B). Eldorado do Sul, RS, 1999/2000. Barras verticais representam desvio padrão da média. *, significativo a 5% de probabilidade.....	45

FIGURA 7 - Relação entre teor de N na folha e leitura do clorofilômetro no estágio de espigamento de milho (folha índice), nos híbridos Pioneer 32R21 (A) e Premium (B). Eldorado do Sul, RS, 1999/2000. Barras verticais representam desvio padrão da média. *, significativo a 5% de probabilidade.....	46
FIGURA 8 - Relação entre leitura com medidor portátil de clorofila na 3ª folha (estádio V3) e rendimento de grãos dos híbridos de milho Pioneer 32R21 (A) e Cargill 901 (B). Eldorado do Sul, RS, 1998/99. Barras verticais representam desvio padrão da média. NS= não significativo, a 5% de probabilidade.....	55
FIGURA 9 - Relação entre leitura com medidor portátil de clorofila na 6ª folha (estádio V6) e rendimento de grãos dos híbridos de milho Pioneer 32R21 (A) e Cargill 901 (B). Eldorado do Sul, RS, 1998/99. Barras verticais representam desvio padrão da média. NS= não significativo, a 5% de probabilidade.....	56
FIGURA 10 - Relação entre leitura com medidor portátil de clorofila na 9ª folha (estádio V10) e rendimento de grãos dos híbridos de milho Pioneer 32R21 (A) e Cargill 901 (B). Eldorado do Sul, RS, 1998/99. Barras verticais representam desvio padrão da média. *, significativo a 5% de probabilidade.....	58
FIGURA 11 - Relação entre leitura com medidor portátil de clorofila na folha índice (estádio de espigamento) e rendimento de grãos dos híbridos de milho Pioneer 32R21 (A) e Cargill 901 (B). Eldorado do Sul, RS, 1998/99. Barras verticais representam desvio padrão da média. *, significativo a 5% de probabilidade. NS= não significativo, a 5% de probabilidade.....	59
FIGURA 12 - Rendimento relativo de grãos de milho em relação ao rendimento médio de grãos dos tratamentos que não se diferiram em função da leitura com medidor portátil de clorofila na 3ª folha (estádio V3) dos híbridos de milho Pioneer 32R21 (A) e Cargill 901 (B), conforme gráfico proposto por Cate & Nelson (1987). Eldorado do Sul, RS, 1998/99.....	61
FIGURA 13 - Rendimento relativo de grãos de milho em relação ao rendimento médio de grãos dos tratamentos que não se diferiram em função da leitura com medidor portátil de clorofila na 6ª folha (estádio V6) dos híbridos de milho Pioneer 32R21 (A) e Cargill 901 (B), conforme gráfico proposto por Cate & Nelson (1987). Eldorado do Sul, RS, 1998/99.....	62
FIGURA 14 - Rendimento relativo de grãos de milho em relação ao rendimento médio de grãos dos tratamentos que não se diferiram em função da leitura com medidor portátil de clorofila na 9ª folha (estádio V10) dos híbridos de milho Pioneer 32R21 (A) e Cargill 901 (B), conforme gráfico proposto por Cate & Nelson (1987). Eldorado do Sul, RS, 1998/99.....	63

FIGURA 15 - Rendimento relativo de grãos de milho em relação ao rendimento médio de grãos dos tratamentos que não se diferiram em função da leitura com medidor portátil de clorofila na folha índice (estádio de espigamento) dos híbridos de milho Pioneer 32R21 (A) e Cargill 901 (B), conforme gráfico proposto por Cate & Nelson (1987). Eldorado do Sul, RS, 1998/99.....	64
FIGURA 16 - Leitura do clorofilômetro em função de estágio de desenvolvimento do milho. Eldorado do Sul, RS, 1998/99.....	66

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Em lavouras comerciais de milho, comumente existem áreas ou manchas em que algumas plantas apresentam crescimento e/ou desenvolvimento diferente das demais. Estas diferenças podem estar associadas às variações encontradas no solo, que são provocadas por variáveis taxas nas quais atuaram os processos de sua formação e devidas às diversas atuações do homem durante o seu cultivo. Existem outros fatores que também podem estar associados a variabilidade entre plantas, como: presença de moléstias e de pragas e estresse de água e de nutrientes. Dentre estes, o que possivelmente possui maior relação com as manchas de lavoura em milho é a deficiência de nitrogênio (N).

O N é um dos nutrientes requeridos em maior quantidade pelas plantas, especialmente nas espécies da família das Poáceas. Depois da deficiência hídrica, a deficiência de N é considerada o principal fator limitante ao rendimento de grãos e ao desenvolvimento das plantas (Lemaire & Gastal, 1997). Este nutriente exerce importante função nos processos bioquímicos da planta por ser constituinte de moléculas de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos, fitocromos e de clorofilas (Cantarella, 1993). Além disto, a disponibilidade de N afeta as taxas de iniciação e expansão foliar, o tamanho final e a senescência de folhas (Schröder et al., 2000).

Existem alguns modelos matemáticos que foram desenvolvidos com o objetivo de monitorar o crescimento e o desenvolvimento da planta de milho (Sinclair & Muchow, 1995; Muchow & Sinclair, 1995). No entanto, a aplicação

destes modelos a nível de lavoura apresenta limitações pelo fato dos parâmetros climáticos que determinam o crescimento da planta e a disponibilidade de N no solo, serem imprevisíveis e, de acordo com Lemaire & Gastal (1997), pelo pouco conhecimento disponível sobre os mecanismos básicos que governam o ciclo de N. Tendo presente esta variabilidade do clima e diante da necessidade de decidir-se sobre a recomendação da adubação nitrogenada, tem-se em muito casos sub ou superestimada a adubação de N em milho. Assim, quando a adubação nitrogenada é subestimada, tem-se redução no rendimento de grãos. Já, quando é superestimada, há redução nos lucros do agricultor pelo gasto desnecessário com compra de adubo nitrogenado e prejuízos ao meio ambiente, devido à lixiviação de nitrato em condições em que há excesso de N (Waskom et al., 1996; Schröder et al., 1998).

A sub ou superestimação da dose de N a ser utilizada ocorre rotineiramente no sistema tradicional de recomendação de adubação (aplicação de 1/3 na sementeira e o restante em cobertura), pelo fato de serem adotados conjuntos de práticas culturais em lavouras sem considerar suas particularidades de desuniformidade. Em função disto, haverá áreas (manchas) em que a adubação aplicada estará abaixo da necessidade das plantas (subdose) e outras em que ela estará acima da necessidade.

A agricultura de precisão, dentre outras finalidades, está sendo proposta como uma nova filosofia de manejo dos cultivos que poderá contribuir para a diminuição da sub ou superutilização de fertilizantes nitrogenados. Trata-se de uma tecnologia de informações que possibilita o gerenciamento da atividade agrícola levando-se em consideração a variabilidade espacial e temporal do solo e da cultura (Fraisse, 1998). Dentre seus objetivos está a otimização de recursos e o uso racional de insumos agrícolas. Esta nova filosofia de manejo faz uso

também de tecnologias que foram desenvolvidas fora do contexto tradicional da pesquisa agropecuária, tais como Sistema de Posicionamento por Satélite (GPS/GLONASS), Sistema Geográfico de Informações (GIS/SIG) e Sensoriamento Remoto.

Não se dispondo destes equipamentos mais sofisticados, uma abordagem similar pode ser feita através de amostragens pontuais de parâmetros de solo ou de planta. É neste contexto que o monitoramento do nível de N na planta de milho, através do estabelecimento de níveis críticos em alguns estádios específicos do desenvolvimento vegetativo, poderá contribuir para o seu manejo sob o enfoque de agricultura de precisão.

O monitoramento do nível adequado de N na planta tem como objetivo diagnosticar a necessidade ou não da sua aplicação, visto que o uso de altas doses deste nutriente pode contaminar as águas superficiais e subterrâneas com nitrato (Waskom et al., 1996; Varvel et al., 1997; Schröder et al., 2000). Além disso, o uso desta técnica objetiva também aumentar a eficiência do uso de N, visto que a lixiviação deste nutriente sob forma de nitrato é considerada um dos principais fatores responsáveis pela sua baixa eficiência de uso (Raun & Johnson, 1999). Neste sentido, o monitoramento pode propiciar melhor sincronismo entre as necessidades deste nutriente pela cultura e a sua disponibilidade no solo.

Segundo Schröder et al. (2000), um indicador ideal tem que reproduzir a relação do nível de N no sistema solo-planta, deve ser capaz de detectar ou prever tanto a deficiência quanto o excesso de N e ser de rápida execução para permitir a correção de sua deficiência ainda na mesma estação de crescimento da cultura. Além disto, o equipamento para amostra e análise deve ser de fácil manuseio e, de preferência, portátil e os valores obtidos não devem ser afetados por nenhum outro fator, além do nível de N no sistema solo-planta.

Alguns métodos para se prever a necessidade de N durante o desenvolvimento vegetativo da planta de milho foram propostos por Fox et al., 1989; Hong et al., 1990; Magdoff et al., 1990, Binford et al., 1992, Sims et al., 1995. Eles se baseiam em testes de solo e em análises laboratoriais de amostras de tecido. Possuem a vantagem de apresentar boa correlação com o rendimento de grãos e de ter aceitável nível de precisão. No entanto, por serem métodos laboratoriais, possuem as desvantagens de dispenderem tempo e trabalho e de exigirem a realização de despesas com coleta, processamento e análise de amostras e, principalmente, de não possibilitarem a correção da deficiência de N na planta no mesmo ano agrícola, servindo apenas como parâmetro indicativo para os próximos anos.

O desenvolvimento de um medidor portátil de clorofila, que permite medições instantâneas do valor correspondente de seu teor na folha, constitui-se em uma alternativa para avaliação do nível de N nos cereais (Argenta et al., 2001).

A relação entre teor de N na folha e rendimento de grãos está bem estabelecida na cultura do milho (Waskom et al., 1996). No entanto, o consumo de luxo deste nutriente pela planta sob forma de nitrato pode resultar em concentração acima do nível adequado. O teor de clorofila da folha também se correlaciona positivamente com o teor de N na planta (Schadchina & Dmitrieva, 1995) e com o rendimento das culturas (Smeal & Zhang, 1994; Piekielek & Fox, 1992). Esta relação é atribuída, principalmente, ao fato de que 50 a 70 % do N total das folhas ser integrante de enzimas (Chapman & Barreto, 1997) que estão associadas aos cloroplastos (Stocking & Ongun, 1962).

A medição do teor de clorofila tem a vantagem de não ser influenciada pelo consumo de luxo de N pela planta, sob forma de nitrato (Blackmer & Schepers,

1995). A baixa sensibilidade do medidor de clorofila ao consumo de luxo de N pelas plantas de milho é atribuída à forma com que este nutriente se encontra na folha. Quando absorvido em excesso, acumula-se como nitrato. Nesta forma, o N não se associa à molécula de clorofila e, portanto, não pode ser quantificado pelo medidor de clorofila (Dwyer et al., 1995). Por apresentar baixa sensibilidade ao consumo de luxo de N, a medição efetuada pelo medidor de clorofila é considerada melhor indicadora do nível deste nutriente na planta do que o seu teor (Blackmer & Schepers, 1995). No entanto, um indicador ideal tem que predizer tanto a deficiência quanto o excesso de N (Schröder et al., 2000), pois o excesso de N pode causar danos ao ambiente e aumento no custo de produção, enquanto que a deficiência pode limitar a produtividade da cultura.

As leituras efetuadas pelo medidor portátil de clorofila correspondem ao teor de clorofila presente na folha da planta. Os valores são calculados pelo equipamento com base na quantidade de luz transmitida pela folha, em dois comprimentos de ondas, com diferentes absorbâncias da clorofila (Minolta, 1989). As regiões de picos de absorbância da clorofila são o azul e o vermelho. As de baixa absorbância se situam nas regiões do verde e as de absorbância extremamente baixa na região do infravermelho (Hendry, 1993). Em função disto, os comprimentos de ondas escolhidos para medição do teor de clorofila, ou do índice de esverdeamento, situam-se na faixa do vermelho, em que a absorbância é alta e não é afetada pelos carotenóides, e do infravermelho, em que a absorbância é extremamente baixa.

O medidor de clorofila possui diodos que emitem luz a 650 nm (vermelho) e a 940 nm (infravermelho). A luz em 650 nm se situa próxima dos dois comprimentos primários de ondas associados à atividade da clorofila (645 e 663 nm). O comprimento de onda de 940 nm serve como referência interna para

compensar diferenças na espessura ou no conteúdo de água da folha ou devidas a outros fatores (Waskom, 1996). A luz que passa através da amostra da folha atinge um receptor (fotodiodo de silicone) que converte a luz transmitida em sinais elétricos analógicos. Através de um conversor, estes sinais são amplificados e convertidos em sinais digitais (Minolta, 1989) e são usados por um microprocessador para calcular os valores SPAD (*"Soil plant Analysis development"*), que são mostrados num visor. Os valores obtidos tem relação proporcional ao teor de clorofila presente na folha. Alguns pesquisadores tem demonstrado a existência de relação entre índice de esverdeamento e teor de clorofila na folha em cereais (Dwyer et al., 1995; Marquard & Tipton, 1987).

O clorofilômetro está sendo avaliado em várias culturas (Argenta et al., 2001). Em milho, as leituras efetuadas com este equipamento apresentam boas correlações com rendimento de grãos, dependendo do estágio em que são realizadas. Nos estádios iniciais de desenvolvimento, verifica-se baixa correlação entre teor de clorofila e rendimento de grãos (Smeal & Zhang, 1994; Waskom et al., 1996; Bullock & Anderson, 1998), provavelmente devido à metodologia adotada, que segue a utilizada nas culturas de arroz e de trigo. Já em estádios mais tardios, as correlações entre as leituras e o rendimento de grãos são maiores (Wood et al., 1992; Smeal & Zhang, 1994; Blackmer & Schepers, 1995; Sunderman et al., 1997). Entretanto, o diagnóstico do nível adequado de N em estádios mais tardios de desenvolvimento da planta não serviria para correção de possível deficiência na mesma estação de crescimento.

Assim, a identificação de deficiência de N em estádios iniciais de desenvolvimento da planta de milho constitui-se em importante estratégia para o manejo do N, pois possibilitaria melhor sincronismo entre as necessidades deste nutriente pela cultura e a sua disponibilidade no solo, além de possibilitar a

correção de sua deficiência na mesma estação de crescimento. Isto evidencia que o estabelecimento de curvas de nível adequado de N durante os estádios iniciais de desenvolvimento da planta de milho, como no de três a quatro folhas, pode constituir-se em excelente alternativa para tomada de decisões sobre o manejo de N.

O objetivo deste trabalho foi de estabelecer parâmetros indicativos de nível adequado de N em milho, visando utilização mais eficiente deste nutriente pela cultura e redução do custo de produção da lavoura e do impacto ambiental.

Para tanto, a presente tese foi dividida em quatro capítulos. No capítulo I, testou-se a hipótese de que o teor relativo de clorofila na folha, avaliado com o clorofilômetro, é um indicador mais preciso do nível de nitrogênio em todos os estádios de desenvolvimento da planta de milho. No capítulo II, foi avaliada a existência de associação entre a leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha, em três estádios de desenvolvimento do milho. No capítulo III, testou-se a hipótese de que as baixas correlações verificadas nos estádios iniciais de desenvolvimento da planta entre teor relativo de clorofila e rendimento de grãos de milho sejam devidas à metodologia adotada, que segue a utilizada nas culturas de arroz e de trigo. Também neste capítulo foram estabelecidos níveis adequados de N em quatro estádios de desenvolvimento da planta de milho com base em leituras efetuadas com medidor portátil de clorofila. No capítulo IV, avaliou-se os valores de teor relativo de clorofila na folha, estabelecidos como níveis adequados de N, como parâmetros indicadores do nível de N na planta de milho, em quatro estádios de desenvolvimento.

## 2. CAPÍTULO I – PARÂMETROS DE PLANTA COMO INDICADORES DO NÍVEL DE NITROGÊNIO NA CULTURA DO MILHO

### 2.1. RESUMO

Um indicador ideal do nível de nitrogênio na planta de milho tem que reproduzir a relação do nível de N no sistema solo-planta, deve ser capaz de detectar ou predizer tanto a deficiência quanto o excesso de N e ser de rápido diagnóstico para permitir a correção de sua deficiência ainda na própria estação de crescimento. Além disto, o equipamento de amostra e análise deve ser de fácil manuseio e os valores dos indicadores não devem ser afetados por nenhum outro fator além do nível de N no sistema solo-planta. O objetivo deste trabalho foi de avaliar a precisão de alguns parâmetros de planta (teor e acúmulo de N, leitura correspondente ao teor de clorofila na folha, avaliada com o clorofilômetro, massa seca e área foliar) como indicadores do nível de N na planta de milho. Foram conduzidos cinco experimentos no município de Eldorado do Sul, na região fisiográfica da Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul, no ano agrícola de 1998/1999. Dos parâmetros de planta testados, a leitura correspondente à de clorofila da folha através do medidor portátil foi o indicador mais preciso do nível de nitrogênio em todos os estádios de desenvolvimento avaliados, com exceção do estádio de três a quatro folhas expandidas no Experimento I. Os fatores de correção utilizados para as leituras no medidor portátil de clorofila (peso específico, massa seca e área foliar da folha) não foram eficientes para aumentar a correlação entre as leituras efetuadas e o rendimento de grãos.

## 2.2.ABSTRACT

The ideal indicator of a crop N status should reproduce the relationship of the nitrogen level in the crop and soil system. It must be able to detect or predict both deficiency and excess of N and it must be fast to allow the correction of N deficiency at same growing season. Moreover, the equipment for sampling and analysis should be hanty and the indicator values can not be influenciad by any other factor besides the nitrogen level in plant and soil system. Objecting to evaluate the precision of some plant parameters (nitrogen content and accumulation, chlorophyll content, evaluated with chlorophyll meter, dry matter and leaf area) as indicators of nitrogen level in maize plant, five experiments were conducted in the state of Rio Grande do Sul, Brazil, during the 1998/99 growing season. Among the plant parameters tested, the leaf chlorophyll content evaluated through portable meter was the indicator that estimated with the highest precision the nitrogen level in all maize growth stages, with exception of the stage of three to four expanded leaves in Experiment I. The correction factors used for the reading of the portable chlorophyll meter (specific weigth, dry matter and leaf area) were not efficient to increase the correlation between readings and grain yield.

## 2.3. INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes requeridos em maior quantidade pelas plantas, especialmente nas espécies da família das Poáceas. Depois da deficiência hídrica, a deficiência de N é considerada o principal fator limitante ao rendimento de grãos e ao desenvolvimento das plantas (Lemaire & Gastal, 1997).

Este nutriente exerce importante função nos processos bioquímicos da planta por ser constituinte de moléculas de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos, fitocromos e de clorofilas (Cantarella, 1993). Além disto, a disponibilidade de N afeta as taxas de iniciação e expansão foliar, o tamanho final e a senescência de folhas (Schröder et al., 2000).

Estima-se que a necessidade de N para produção de uma tonelada de grãos de milho varie de 20 a 28 kg ha<sup>-1</sup> (Cantarella, 1993). A sua absorção pela planta ocorre durante todo o ciclo vegetativo, sendo pequena nos primeiros 30 dias (Fornasier Filho, 1992). Nesta fase, as plantas absorvem menos do que 0,5 kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> (Schröder et al., 2000). No entanto, a ocorrência de deficiência de N nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura reduz o número de óvulos nos primórdios da espiga (Schreiber et al., 1988) e o crescimento e desenvolvimento da planta (Varvel et al., 1997). Desta maneira, a adequada disponibilidade de N é importante durante todo o ciclo da cultura. A maior demanda por N ocorre cerca de duas a três semanas antes do florescimento, sendo menos eficiente a aplicação após este período (Muzilli & Oliveira, 1992).

Existem alguns modelos matemáticos que foram desenvolvidos com o objetivo de monitorar o crescimento e o desenvolvimento da planta de milho (Sinclair & Muchow, 1995; Muchow & Sinclair, 1995). No entanto, a aplicação destes modelos a nível de lavoura apresenta limitações pelo fato dos parâmetros climáticos que determinam o crescimento da planta e a disponibilidade de N no solo, serem imprevisíveis e, de acordo com Lemaire & Gastal (1997), pelo pouco conhecimento disponível sobre os mecanismos básicos que governam o ciclo de N. Tendo presente esta variabilidade do clima e diante da necessidade de se decidir sobre a recomendação da adubação nitrogenada, tem-se em muito casos sub ou superestimada a adubação de N em milho. Assim, quando a adubação

nitrogenada é subestimada, tem-se redução no rendimento de grãos. Já, quando é superestimada, há redução nos lucros do agricultor pelo gasto desnecessário com compra de adubo nitrogenado e prejuízos ao meio ambiente, devido à lixiviação de nitrato em condições em que há excesso de N (Waskom et al., 1996; Schröder et al., 1998).

A maioria das recomendações de adubação nitrogenada para as culturas se baseia na expectativa de rendimento de grãos e no teor de matéria orgânica do solo. Elas são fundamentadas na hipótese de que a matéria orgânica irá liberar N em tempo hábil para uso das plantas, além do N fornecido pelos fertilizantes, satisfazendo, assim, as necessidades das culturas (Amado, 1997). As doses de N recomendadas para as culturas produtoras de grãos são baseadas em experimentos de resposta a este elemento e variam em função do teor de matéria orgânica do solo, cultivar, tipo de solo, condições meteorológicas, histórico da área e do sistema de manejo do solo (Bredemeier, 1999). Nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, a recomendação de adubação nitrogenada para os principais cereais é baseada somente no teor de matéria orgânica do solo. Para as culturas de arroz irrigado, trigo e milho, além deste parâmetro, é levado em consideração a estatura de planta das cultivares (arroz irrigado) e a expectativa de rendimento de grãos (trigo e milho) (Comissão..., 1995).

A utilização da matéria orgânica como parâmetro único para recomendar a adubação nitrogenada é insuficiente, pois, apesar de ser importante fonte de N para as plantas, é necessário que este elemento seja liberado nas formas minerais ( $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ ) para absorção pelas plantas (Anghinoni, 1986). No solo, em torno de 95% do N está na forma orgânica (não disponível) e apenas 5% na forma mineral (disponível) (Keeney, 1982). Além da quantidade de N limitada

na matéria orgânica, outros processos importantes (mineralização e imobilização) que governam o ciclo de N no solo são influenciados por outros fatores (Argenta & Silva, 1999). Estes processos são influenciados pelo tipo (relação C/N) e forma de manejo de resíduos culturais (incorporado ou na superfície), temperatura do solo, regime de água/aeração (Aulakh et al., 1991), pH e pelo teor de nutrientes no solo (Aita, 1997). Assim, a quantidade de N que é disponibilizada para as plantas de milho a partir da matéria orgânica, depende muito do ambiente, o qual altera a resposta do rendimento de grãos à aplicação de fertilizante nitrogenado.

Na maioria dos países em que a agricultura está em estágios mais avançados o uso do teor de matéria orgânica do solo como parâmetro indicador do nível de N no sistema solo/planta durante a estação de cultivo está sendo substituído por outros parâmetros que indicam o nível de N no solo, em plantas individuais e em comunidade de plantas. Segundo Schröder et al. (2000), um indicador ideal tem que reproduzir a relação do nível de N no sistema solo-planta, deve ser capaz de detectar ou predizer tanto a deficiência quanto o excesso de N e ser de rápida execução para permitir a correção de sua deficiência ainda na mesma estação de crescimento da cultura. Além disto, o equipamento para amostra e análise deve ser de fácil manuseio e, de preferência, portátil e os valores obtidos não devem ser afetados por nenhum outro fator, além do nível de N no sistema solo-planta.

Entre os parâmetros de solo utilizados como indicadores do nível de N citam-se os testes de capacidade e de intensidade (Schröder et al., 2000). Os testes de capacidade levam em consideração para estimar a disponibilidade de N os parâmetros ambientais, histórico da área e propriedades do solo (Klausner et al., 1993). Já os testes de intensidade baseiam-se na quantidade de N mineral presente no solo através de testes de pré-semeadura (Vanotti & Bundy, 1994;

Schröder et al., 1998), de pré-aplicação de N em cobertura (Binford et al., 1992; Sims et al., 1995) e de pós-colheita (Bundy & Andraski, 1993; Sims et al., 1995).

Entre os parâmetros de planta mais utilizados como indicadores do nível de N estão a concentração de nitrato (Binford et al., 1990, 1992), a concentração de N total (Binford et al., 1992; Roberts & Rhee, 1993; Soltanpour et al., 1995) e a intensidade da cor verde da folha. Este último parâmetro pode ser determinado através de mensurações de reflectância (Mass & Dunlap, 1989; Ma et al., 1996) e de absorção (Blackmer & Schepers, 1995; Jemison & Lytle, 1996; Waskom et al., 1996; Sunderman et al., 1997; Varvel et al., 1997; Bullock & Anderson, 1998; Argenta et al., 2001).

Os indicadores de solo e de planta acima relacionados referem-se a análises de solo e de planta. Para ambos os tipos, existem argumentos favoráveis e contrários. Em geral, parâmetros de solo predizem com maior segurança a quantidade de N a ser aplicada e, os de planta, a época de aplicação deste nutriente (Waskom et al., 1996; Sunderman et al., 1997, Schröder et al., 2000). Dentre os parâmetros de planta, as medidas relacionadas a folha (massa seca, área foliar) e a intensidade de cor verde do dossel parecem ser mais adequadas para a decisão sobre a quantidade de N a ser aplicada, em relação aos testes de N no tecido, devido a menor variação entre os valores obtidos (Schröder et al., 2000). Além disto, os testes que determinam o teor de N no tecido vegetal possuem a desvantagem de não possibilitar correção da deficiência deste nutriente no mesmo ano agrícola, sendo apenas úteis para identificar se houve falta ou excesso deste nutriente em um determinado estágio de desenvolvimento.

O objetivo deste trabalho foi de avaliar a precisão do uso de alguns parâmetros de planta como indicadores do nível de N na cultura do milho.

## 2.4. MATERIAL E MÉTODOS

Cinco experimentos foram conduzidos a campo na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, localizada no município de Eldorado do Sul, região fisiográfica da Depressão Central, do estado do Rio Grande do Sul, na estação de crescimento 1998/99. O clima da região é classificado, segundo Köppen, como subtropical úmido, situado na transição entre os tipos fundamentais cfa<sub>1</sub> (isoterma anual inferior a 18°C) e cfa<sub>2</sub> (isoterma anual superior a 18°C) (Moreno, 1961). As temperaturas médias anual, máxima e mínima são de 19,6, 24,3 e 14,8 °C, respectivamente (Ipagro, 1989). O solo da área experimental é classificado como ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico (EMBRAPA, 1999).

No Experimento I, os tratamentos constaram de dois genótipos de milho (Pioneer 32R21 e Cargill 901, ambos híbridos simples e de ciclo superprecoce) e de nove níveis de N aplicados em cobertura (0, 50, 100, 150, 200, 300, 400, 500 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de N). Os híbridos foram estabelecidos em sistema de semeadura direta em sucessão à ervilhaca comum com espaçamento entre linhas de 0,7 m e densidade de 65.000 plantas ha<sup>-1</sup>. A adubação nitrogenada em cobertura foi parcelada em quatro doses iguais, de acordo com os níveis estabelecidos. A primeira, segunda, terceira e quarta aplicações foram realizadas, respectivamente, nos estádios de três a quatro folhas, seis a sete folhas, 10 a 11 folhas e 14 a 15 folhas completamente desenvolvidas.

No Experimento II, os tratamentos constaram de dois níveis de irrigação (adequado e com excesso) e sete sistemas de manejo da adubação nitrogenada (0-30-0, 150-30-0, 75-30-75, 0-30-150, 60-30-0, 30-30-30 e 0-30-60, em que o primeiro, o segundo e o terceiro números, em cada sistema, referem-se, respectivamente, às doses de N (kg ha<sup>-1</sup>) aplicadas no milho em pré-semeadura,

ou seja, no momento da dessecação da cobertura de solo no inverno, na semeadura e em cobertura. O milho foi implantado em sistema de semeadura direta em sucessão à aveia preta. O híbrido reagente foi o Braskalb XL 214 (híbrido simples, precoce), implantado no espaçamento entre linhas de 0,7 m e densidade de 62.000 plantas ha<sup>-1</sup>. A adubação nitrogenada em cobertura foi parcelada em duas doses iguais, aplicadas nos estádios de quatro a cinco e de sete a oito folhas expandidas.

No Experimento III, os tratamentos testados foram três níveis de N (0, 60 e 160 kg ha<sup>-1</sup> de N) e cinco sistemas de consórcios (100% aveia preta, 67% de aveia e 33% ervilhaca comum, 50% aveia e 50% ervilhaca, 33% aveia e 67% ervilhaca e 100% ervilhaca). O milho foi estabelecido em sistema de semeadura direta em sucessão às diferentes coberturas. O híbrido reagente foi o Pioneer 32R21, implantado no espaçamento entre linhas de 0,7 m e densidade de 65.000 plantas ha<sup>-1</sup>. A adubação nitrogenada em cobertura foi parcelada em duas doses iguais, aplicadas nos estádios de quatro a cinco e de sete a oito folhas expandidas.

No Experimento IV, testou-se cinco sistemas de culturas que antecederam ao milho (consórcio aveia preta e ervilhaca comum, aveia, consórcio aveia e ervilhaca no inverno e caupi no verão, lab lab e pousio invernal) e dois níveis de N em milho (0 e 180 kg ha<sup>-1</sup>). O milho foi implantado em sistema de semeadura direta em sucessão. O híbrido reagente foi o Pioneer 3069 (híbrido simples modificado, superprecoce), implantado no espaçamento entre linhas de 0,7 m e densidade de 60.000 plantas ha<sup>-1</sup>. A adubação nitrogenada em cobertura foi parcelada em 1/3 no estádio de quatro a cinco e 2/3 no estádio de sete a oito folhas desenvolvidas.

No Experimento V, os tratamentos constaram de três sistemas de preparo de solo (reduzido, sem preparo e convencional) e três sistemas de cobertura de solo que antecederam ao milho (aveia preta, ervilhaca comum e consórcio aveia e ervilhaca). O híbrido de milho reagente foi o Pioneer 3069 (híbrido simples modificado, superprecoce), implantado no espaçamento entre linhas de 0,7 m e densidade de 60.000 plantas ha<sup>-1</sup>. A adubação nitrogenada em cobertura (180 kg ha<sup>-1</sup>) foi parcelada em 1/3 no estádio de quatro a cinco e 2/3 no estádio de sete a oito folhas desenvolvidas.

No Experimento I, as determinações realizadas foram: leitura correspondente ao teor de clorofila na folha, avaliada com o equipamento modelo Minolta SPAD-502, produção de massa seca por planta e folha avaliada, teor de N total no tecido e quantidade de N acumulada por planta e folha avaliada. Estas determinações foram realizadas nos estádios de três a quatro folhas, seis a sete folhas e de 10 a 11 folhas completamente desenvolvidas e no espigamento, utilizando-se cinco plantas por subparcela. Nos estádios vegetativos, as leituras com medidor de clorofila foram realizadas na penúltima e na última folha totalmente expandidas. No estádio de espigamento, as leituras foram realizadas na folha índice (primeira abaixo da espiga).

As leituras efetuadas com medidor de clorofila (duas por folha) foram feitas em pontos situados na metade a dois terços do comprimento da folha, a partir da base, e a 2 cm da margem da folha. As folhas em que foram realizadas as leituras, foram coletadas em separado do resto da planta para determinação do peso específico, teor e acúmulo de N e da área foliar.

A determinação do peso específico seguiu a metodologia proposta por Chapman & Barreto (1997). As produções de massa seca por planta e por folha avaliadas foram determinadas nos estádios de três a quatro folhas, seis a sete

folhas e de 10 a 11 folhas completamente desenvolvidas de milho e de espigamento, utilizando-se, respectivamente, cinco plantas e cinco folhas por subparcela. As plantas e as folhas em que foram realizadas as leituras, foram secas em estufa a  $\pm 60$  °C até atingirem peso constante. A quantidade de massa seca das amostras foi dividida por cinco, obtendo-se a produção de massa seca por planta e por folha avaliada. O teor de N foi determinado de acordo com metodologia descrita em Tedesco et al. (1995). As quantidades de N acumulada por planta e por folha avaliada foram calculadas multiplicando-se, respectivamente, a massa seca por planta e da folha avaliada pelo seu teor de N. O teor e a quantidade de N acumulada e a área foliar na 2ª folha não foram determinados devido à pequena quantidade de material disponível. A área foliar foi obtida através da fórmula  $A = C * L * 0,75$  em que C representa o comprimento e L a largura da folha. O rendimento de grãos foi estimado através da extrapolação da produção colhida na área útil das subparcelas para um hectare, corrigindo-se a umidade para  $130 \text{ g kg}^{-1}$ .

Nos Experimentos II, III, IV e V foram avaliados: as leituras correspondentes ao teor de clorofila na folha com clorofilômetro, o teor de N na folha índice e o peso específico da folha índice, no estágio de espigamento e o rendimento de grãos por ocasião da colheita.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância. Fez-se análise de correlação linear simples entre todas as variáveis avaliadas.

## 2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Experimento I, a análise de correlação simples evidenciou que, apenas no estágio de três a quatro folhas expandidas, as leituras no clorofilômetro não se correlacionaram com rendimento de grãos de milho (Tabelas 1, 2, 3 e 4). Neste

Tabela 1 -- Análise de correlação simples entre as variáveis avaliadas no estágio de três a quatro folhas completamente desenvolvidas de milho, Experimento I. Eldorado do Sul, RS, 1998/99.

Variáveis	Leitura SPAD <sup>1</sup> (2 <sup>a</sup> folha)	Leitura SPAD (3 <sup>a</sup> folha)	Peso seco da planta	Peso seco da 2 <sup>a</sup> folha	Peso seco da 3 <sup>a</sup> folha	Área da folha 2 <sup>a</sup>	Área da folha 3 <sup>a</sup>	% N da folha 3 <sup>a</sup>	% N do resto da planta	% total de N na planta	Acúmulo de N na 3 <sup>a</sup> folha	Acúmulo total de N na planta
Rendimento de grãos	NS	NS	-0,31 <sup>2</sup>	-0,33	-0,33	-0,24	NS	0,34	0,26	0,30	NS	NS
Leitura SPAD (2 <sup>a</sup> folha)	--	0,53	0,39	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0,43
Leitura SPAD (3 <sup>a</sup> folha)	--	--	0,27	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0,29

<sup>1</sup>Leitura efetuada com medidor portátil de clorofila.

<sup>2</sup>Significativo, a 5% de probabilidade.

<sup>NS</sup>Não significativo, a 5% de probabilidade.

Tab. 2 - Análise de correlação simples entre as variáveis avaliadas no estádio de ouro a sota fullias completamente desenvolvidas de milho, Experimento I, Eldorado do Sul, RS, 1998/99.

Variáveis	Leitura SPAD' (5ª folha)	Leitura (6ª folha)	Peso seco por planta	Peso seco da 5ª folha	Peso seco da 6ª folha	Área da 5ª folha	Área da 6ª folha	% N da 5ª folha	% N da 6ª folha	% N do resto da planta	% total de N na planta	Acúmulo de N na 5ª folha	Acúmulo de N na 6ª folha	Acúmulo total de N na planta
Rendí- mento de grãos	0,27 <sup>2</sup>	0,41	NS	NS	NS	NS	NS	0,24	0,34	NS	0,26	NS	0,33	0,26
Leitura SPAD (5ª folha)	--	0,46	NS	0,23	0,22	NS	NS	0,30	0,56	NS	NS	0,37	0,47	0,30
Leitura SPAD (6ª folha)	--	--	0,28	NS	0,32	NS	0,28	0,30	0,40	NS	NS	0,34	0,47	0,35

<sup>1</sup> Leitura efetuada com medidor portátil de clorofila.

<sup>2</sup> Significativo, a 5% de probabilidade.

NS, Não significativo, a 5% de probabilidade

Tabela 3 -- Análise de correlação simples entre as variáveis avaliadas no estágio de 10 a 11 folhas completamente desenvolvidas de milho, Experimento I. Eldorado do Sul, RS, 1998/99.

Variáveis	Leitura SPAD <sup>1</sup> (9ª folha)	Leitura (10ª folha)	Peso seco por planta	Peso seco da 9ª folha	Peso seco da 10ª folha	Área da 9ª folha	Área da 10ª folha	% N da 9ª folha	% N da 10ª folha	% N do resto da planta	% total de N na 9ª folha	Acúmulo de N na 10ª folha	Acúmulo de N na total de N na planta
Rendimento de grãos	0,41 <sup>1</sup>	0,29	NS	0,35	0,28	NS	NS	NS	NS	NS	0,31	0,29	NS
Leitura SPAD (9ª folha)	--	0,65	0,34	0,30	NS	NS	NS	0,53	0,38	NS	0,48	0,33	NS
Leitura SPAD (10ª folha)	--	--	0,37	0,28	0,24	NS	NS	0,45	0,37	NS	0,43	0,37	0,27

<sup>1</sup>Leitura efetuada com medidor portátil de clorofila.

<sup>2</sup>Significativo, a 5% de probabilidade.

NS Não significativo, a 5% de probabilidade

Tabela 4 -- Análise de correlação simples entre as variáveis avaliadas no estágio de espigamento de milho, Experimento I. Eldorado do Sul, RS, 1998/99.

Variáveis	Leitura SPAD <sup>1</sup> (folha índice)	Peso seco por planta	Peso seco da folha índice	Área foliar da folha índice	% N da folha índice	% N do resto da planta	% total de N na planta	Acúmulo de N na folha índice	Acúmulo total de N na planta
Rendimento de grãos	0,39 <sup>2</sup>	NS	NS	NS	0,43	0,35	0,35	0,37	0,35
Leitura SPAD (folha índice)	--	0,57	0,57	0,40	0,64	0,39	0,39	0,70	0,55

<sup>1</sup>Leitura efetuada com medidor portátil de clorofila.

<sup>2</sup>Significativo, a 5% de probabilidade.

NS: Não significativo, a 5% de probabilidade

estádio, a variável que apresentou maior coeficiente de correlação com rendimento de grãos foi o teor de N da 3ª folha da planta. Nos estádios de seis a sete folhas e de 10 a 11 folhas expandidas, a leitura SPAD efetuada, respectivamente, na 6ª e 9ª folhas foi o parâmetro que apresentou maior correlação com rendimento de grãos. No estágio de espigamento, o teor de N da folha índice foi a variável que esteve mais associada com rendimento de grãos, seguida pela leitura efetuada pelo clorofilômetro.

No Experimento II, houve maior correlação entre teor de N da folha índice e rendimento de grãos do que entre leitura no clorofilômetro e rendimento de grãos (Tabela 5). Nos Experimentos III, IV e V, a análise de correlação simples no estágio de espigamento do milho evidenciou que as leituras com medidor portátil de clorofila estiveram mais associadas ao rendimento de grãos do que o teor de N da folha índice.

Estes resultados evidenciam que, com exceção do estágio de três a quatro folhas expandidas de milho (Experimento I) e no estágio de espigamento (Experimento II), a leitura no clorofilômetro foi o indicador que esteve mais correlacionado com rendimento de grãos. Esta resposta pode estar associada ao fato das leituras efetuadas pelo clorofilômetro não serem influenciadas pelo consumo de luxo de N sob forma de nitrato (Schepers et al., 1992; Blackmer & Schepers, 1994). O consumo de luxo resulta em uma concentração de N na planta acima do nível adequado e influencia negativamente a correlação deste parâmetro com rendimento de grãos. Devido não ser influenciado pelo consumo de luxo de N, a medição efetuada pelo clorofilômetro é considerada melhor indicadora do nível de N na planta do que o próprio teor deste nutriente (Lohry & Schepers, 1988, Blackmer & Schepers, 1994).

Tabela 5 – Análise de correlação simples entre as variáveis avaliadas na folha índice no estágio de espigamento de milho, Experimentos II, III, IV e V. Eldorado do Sul, RS, 1998/99.

Variáveis	Leitura SPAD <sup>1</sup> (folha índice)	% de N na folha índice
---Experimento II---		
Rendimento de grãos	0,69 <sup>2</sup>	0,73
Leitura SPAD	--	0,78
---Experimento III---		
Rendimento de grãos	0,80 <sup>2</sup>	0,76
Leitura SPAD	--	0,91
---Experimento IV---		
Rendimento de grãos	0,87 <sup>2</sup>	0,83
Leitura SPAD	--	0,95
---Experimento V---		
Rendimento de grãos	0,93 <sup>2</sup>	0,91
Leitura SPAD	--	0,96

<sup>1</sup>Leitura efetuada com medidor portátil de clorofila.

<sup>2</sup>Significativo, a 5% de probabilidade.

Ao se analisar conjuntamente os dados obtidos nos cinco experimentos, no estágio de espigamento, constatou-se que as leituras no clorofilômetro apresentaram alta relação ( $r^2=0,81$ ) com o rendimento de grãos de milho (Figura 1A), sendo esta similar à verificada entre teor de N na folha índice com rendimento de grãos de milho ( $r^2=0,83$ ) (Figura 1B). Este resultado evidencia que o teor relativo de clorofila na folha de milho está altamente associado com rendimento de grãos e que pode substituir a determinação do teor de N na folha para diagnóstico do nível deste nutriente na planta.

Os demais parâmetros da planta de milho avaliados no Experimento I, massa seca por planta e por folha avaliada, área foliar e quantidade de N acumulado por planta e por folha avaliada apresentaram menores coeficientes de correlação com rendimento de grãos em relação aos obtidos entre leitura SPAD ou teor de N e rendimento de grãos, nos quatro estádios avaliados (Tabelas 1, 2, 3 e 4). Isto evidencia que estes parâmetros foram indicadores menos precisos do nível de N nas plantas.

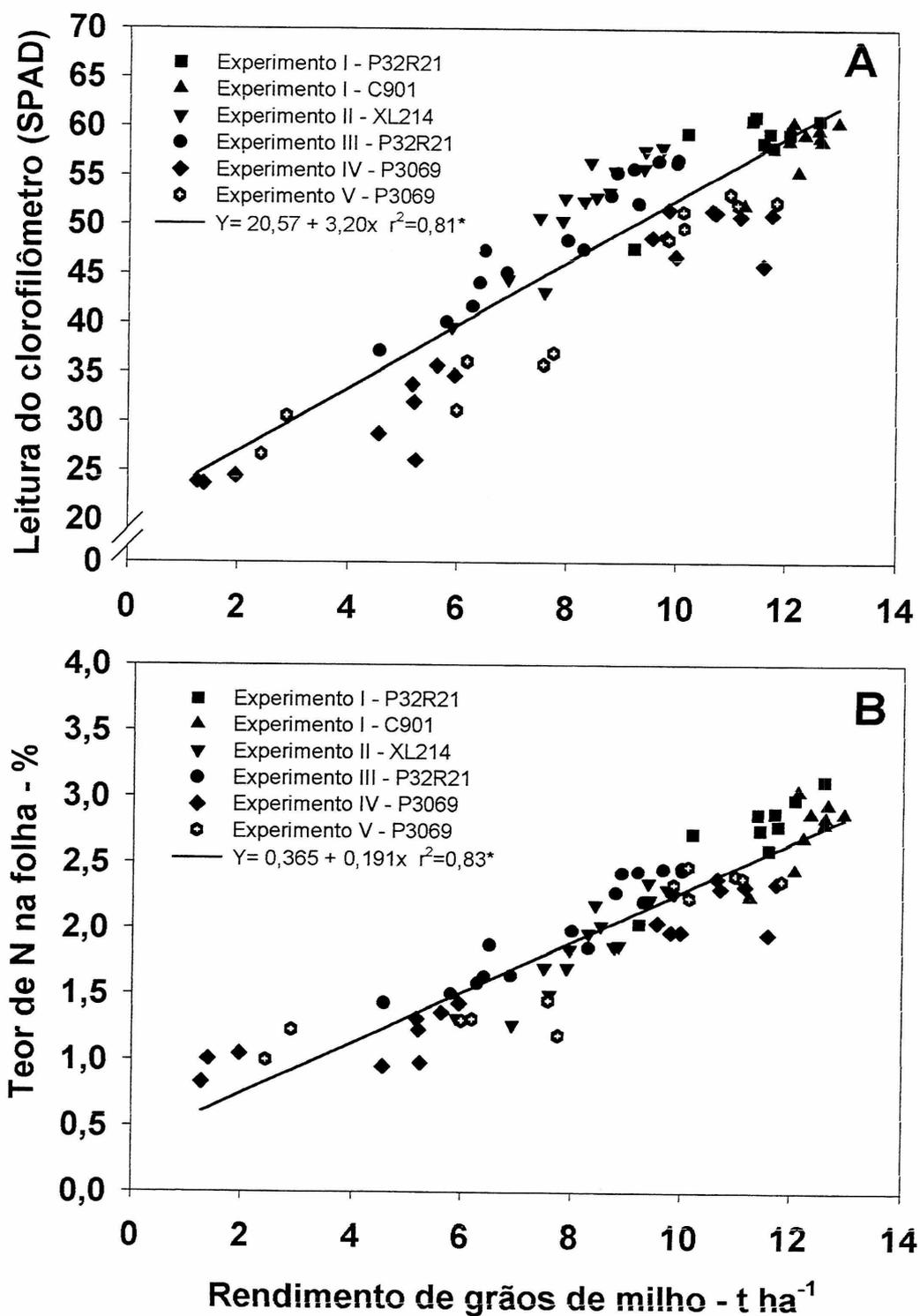


Figura 1 – Relação entre leitura do clorofilômetro (A) e teor de N na folha índice (B) com o rendimento de grãos de milho no estágio de espigamento, em cinco experimentos de milho. Eldorado do Sul, RS, 1998/1999. \*, significativo a 5% de probabilidade.

A relação entre teor de N na folha e rendimento de grãos de milho é bem conhecida (Soltanpour et al., 1995; Waskom et al., 1996). No entanto, este parâmetro de planta, além de ser influenciado pelo consumo de luxo de N e de envolver determinação laboratorial, apresenta a grande desvantagem de não possibilitar a correção de sua deficiência na planta no mesmo ano agrícola devido ao tempo dispendido entre a coleta e o resultado final, servindo apenas como parâmetro indicativo para os próximos cultivos.

Neste sentido, o parâmetro de planta que envolve a determinação da intensidade de cor da folha (absorbância), através do medidor portátil de clorofila, apresenta algumas vantagens sobre as demais. Dentre essas, destacam-se: a leitura pode ser realizada em poucos minutos, possibilitando rápido diagnóstico da situação da lavoura; o aparelho tem custo mínimo de manutenção, ao contrário de outros testes que exigem a compra sistemática de produtos químicos (Piekielek & Fox, 1992); não há necessidade de envio de amostras para laboratório, com economia de tempo e dinheiro, e o agricultor pode realizar quantas amostras desejar, sem implicar em destruição de folhas (Malavolta et al., 1997).

A maior limitação da utilização da leitura correspondente ao teor de clorofila na folha, avaliada com clorofilômetro, como indicador do nível de N em milho, é que ele não prediz com precisão a quantidade de adubação nitrogenada suplementar que deverá ser aplicada (Waskom et al., 1996; Sunderman et al., 1997). Por outro lado, os indicadores de solo apresentam a limitação de não predizerem com segurança quando este nutriente deverá ser aplicado (Schröder et al., 2000). Assim, evidencia-se a necessidade de se integrar o uso de indicadores do nível de N de solo e planta para aumentar a precisão da recomendação de adubação nitrogenada em milho.

O teor de clorofila na folha correlaciona-se positivamente com teor de N na planta (Fox et al., 1994; Schadchina & Dmitrieva, 1995; Waskom et al., 1996). Esta relação é atribuída, principalmente, ao fato de que 50 a 70% do N total das folhas ser integrante de enzimas (Chapman & Barreto, 1997) que estão associadas aos cloroplastos (Stocking & Ongun, 1962). Os resultados do presente trabalho evidenciaram que as leituras no clorofilômetro correlacionaram-se positivamente com teor de N nas folhas em todos os experimentos, com exceção da avaliação realizada no estágio de três a quatro folhas expandidas no Experimento I, em que a correlação não foi significativa (Tabelas 1, 2, 3, 4 e 5). A falta de associação entre teor de N e leitura SPAD neste estágio inicial de desenvolvimento da planta pode estar associada, provavelmente, ao fato das plantas terem apresentado consumo de luxo de N, devido à alta contribuição de N dos resíduos da ervilhaca comum, cultura que antecedeu ao milho neste experimento. Alguns pesquisadores também verificaram baixa correlação entre a leitura correspondente ao teor de clorofila na folha e rendimento de grãos nos estádios iniciais de desenvolvimento da planta de milho (Smeal & Zhang, 1994; Waskom et al., 1996; Bullock & Anderson, 1998)

Ao se analisar os coeficientes de correlação entre rendimento de grãos e as demais variáveis avaliadas nos cinco experimentos nota-se que os valores no Experimento I foram inferiores aos obtidos nos demais experimentos (Tabelas 1, 2, 3, 4 e 5). Esta diferença pode ser atribuída, principalmente, ao menor número de pontos obtidos e à pequena amplitude verificada entre os valores no Experimento I (Dixon & Massey, 1957).

Para contornar a limitação da pequena amplitude verificada entre valores de leitura SPAD e, também, para corrigir o efeito de outros fatores que influenciam o teor de clorofila, tem sido sugerida como fator de correção a

utilização do peso específico da folha (Chapman & Barreto, 1997). Outros <sup>27</sup> parâmetros também podem ser utilizados como fatores de correção desde que estejam associados ao desenvolvimento da planta como, por exemplo, massa seca e área foliar. No Experimento I a utilização dos fatores de correção peso específico de folha, massa seca e área foliar não resultou em aumento dos coeficientes de correlação entre leituras no clorofilômetro e rendimento de grãos (Tabela 6). Estes resultados indicam que, neste trabalho, a leitura no clorofilômetro não foi afetada por outras variáveis e que os três fatores de correção utilizados não foram eficientes para aumentar a amplitude dos valores verificados na leitura SPAD.

Diferentemente do verificado neste experimento, Peng et al. (1993) concluíram que os efeitos de cultivar e de estágio de desenvolvimento de planta de arroz nas leituras do medidor de clorofila podem ser removidos simplesmente pela divisão do valor da leitura obtida pelo peso seco específico da folha (peso seco/área foliar), uma vez que ele está associado à espessura de folha (Pettigrew et al., 1993). Em milho, Chapman & Barreto (1997) também verificaram aumento na associação entre rendimento de grãos e leitura no clorofilômetro quando dividiram os valores das leituras efetuadas no medidor pelo peso específico da folha.

## **2.6. CONCLUSÕES**

Dos parâmetros de planta testados, a leitura correspondente ao teor de clorofila da folha através do clorofilômetro é o indicador mais preciso do nível de nitrogênio em todos os estádios de desenvolvimento da planta de milho, com exceção do estágio de três a quatro folhas expandidas.

Os fatores de correção das leituras no medidor portátil de clorofila utilizados (peso específico, massa seca e área foliar) não são eficientes para aumentar a correlação entre leituras no clorofilômetro e rendimento de grãos de milho.

Tabela 6 – Análise de correlação simples entre leitura no clorofilômetro corrigida pelo peso específico, massa seca e pela área foliar nos estádios de três a quatro folhas, seis a sete folhas e 10 a 11 folhas expandidas e no de espigamento de milho, Experimento I. Eldorado do Sul, RS, 1998/99.

---Estádio de três a quatro folhas ---						
Variáveis	SPAD folha <sup>1</sup> / peso específico da 2 <sup>a</sup> folha	SPAD folha/ peso específico da 3 <sup>a</sup> folha	SPAD folha/ massa seca da 2 <sup>a</sup> folha	SPAD folha/ massa seca da 3 <sup>a</sup> folha	SPAD folha/ área da 2 <sup>a</sup> folha	SPAD folha/ área da 3 <sup>a</sup> folha
Rendimento de grãos	NS	NS	-0,33 <sup>2</sup>	-0,33	-0,24	NS
---Estádio de seis a sete folhas ---						
Variáveis	SPAD folha/ peso específico da 5 <sup>a</sup> folha	SPAD folha/ peso específico da 6 <sup>a</sup> folha	SPAD folha/ massa seca da 5 <sup>a</sup> folha	SPAD folha/ massa seca da 6 <sup>a</sup> folha	SPAD folha/ área da 5 <sup>a</sup> folha	SPAD folha/ área da 6 <sup>a</sup> folha
Rendimento de grãos	NS	NS	NS	NS	NS	NS
---Estádio de 10 a 11 folhas ---						
Variáveis	SPAD folha/ peso específico da 9 <sup>a</sup> folha	SPAD folha/ peso específico da 10 <sup>a</sup> folha	SPAD folha/ massa seca da 9 <sup>a</sup> folha	SPAD folha/ massa seca da 10 <sup>a</sup> folha	SPAD folha/ área da 9 <sup>a</sup> folha	SPAD folha/ área da 10 <sup>a</sup> folha
Rendimento de grãos	NS	NS	0,35	0,28	NS	NS
---Estádio de espigamento---						
Variáveis	SPAD folha índice/ peso específico da folha índice		SPAD folha índice/ massa seca da folha índice		SPAD folha índice / área da folha índice	
Rendimento de grãos	NS		NS		NS	

<sup>1</sup>Leitura efetuada com medidor portátil de clorofila.

<sup>2</sup>Significativo, a 5% de probabilidade.

<sup>NS</sup>Não significativo, a 5% de probabilidade

### **3. CAPÍTULO II – RELAÇÃO DA LEITURA DO CLOROFILÔMETRO COM OS TEORES DE CLOROFILA EXTRAÍVEL E DE NITROGÊNIO NA FOLHA DE MILHO**

#### **3.1. RESUMO**

Os métodos utilizados para determinar a quantidade de clorofila na folha requerem destruição de amostras de tecido e muito trabalho no processo de sua obtenção. O uso do medidor portátil de clorofila, que permite leituras instantâneas do teor relativo de clorofila na folha sem destruí-la, surgiu como nova técnica para estimar este parâmetro. Os objetivos deste trabalho foram de avaliar a relação entre leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha em três estádios de desenvolvimento da planta de milho e de validar o uso do equipamento como ferramenta para estimar o teor relativo de clorofila na folha. Um experimento foi conduzido no município de Eldorado do Sul, na região fisiográfica da Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul, no ano agrícola de 1999/2000. Os tratamentos constaram de dois híbridos de milho (Pioneer 32R21 e Premium) e de oito sistemas de manejo de nitrogênio em cobertura. As leituras com clorofilômetro, a extração de clorofila e a determinação do teor de nitrogênio da folha foram realizados nos estádios de seis a sete folhas, 10 a 11 folhas e de espigamento do milho. Nos dois híbridos, as quantidades de clorofila total e das clorofilas *a* e *b* extraíveis foram significativamente relacionadas às leituras do clorofilômetro, nos três estádios de desenvolvimento avaliados. A leitura realizada com clorofilômetro estimou com boa precisão o teor relativo de clorofila na folha de milho, nos estádios de seis a sete folhas, 10 a 11