

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**ESTIMATIVA DO ESTADO NUTRICIONAL DE ARROZ
IRRIGADO POR ALAGAMENTO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Elisandra Pcojeski

Santa Maria, RS, Brasil

2007

ESTIMATIVA DO ESTADO NUTRICIONAL DE ARROZ IRRIGADO POR ALAGAMENTO

Por

Elisandra Pocojeski

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de concentração em Processos Químicos e Ciclagem de Elementos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência do Solo**.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Souza da Silva

Santa Maria, RS, Brasil

2007

Pocojeski, Elisandra, 1981-

P741e

Estimativa do estado nutricional de arroz irrigado por alagamento / por Elisandra Pocojeski ; orientador Leandro Souza da Silva. – Santa Maria, 2007.

95 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, RS, 2007.

1. Ciência do solo 2. Análise de tecido 3. Clorofilômetro 4 Cartela de cores 5. Arroz irrigado 6. Nutrição de plantas 7. Alagamento I. Silva, Leandro Souza da orient. II. Título

CDU: 633.18.03-14

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ESTIMATIVA DO ESTADO NUTRICIONAL DE ARROZ
IRRIGADO POR ALAGAMENTO**

Elaborada por

Elisandra Pocojeski

Como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

Comissão Examinadora:

Leandro Souza da Silva, Dr.

(Presidente/Orientador)

Carlos Alberto Ceretta, Dr. (UFSM)

(Co-orientador)

Walkyria Bueno Scivittaro, Dr^a. (EMBRAPA)

Santa Maria, 21 de fevereiro de 2007.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a pessoas especiais e fundamentais em minha vida...

Meu filho, **Victor Pocojeski Brasil**

Meus pais, **Maria Lurdes e David José Pocojeski**

Meus grandes amigos, **Claudir José Basso e Luis Finamor.**

AGRADECIMENTOS

Ao meu filho Victor, que me incentiva a continuar buscando o melhor para nós dois,

Aos meus pais David e Maria, que sempre me incentivaram, ajudaram e apoiaram nos estudos e têm cuidado da minha jóia...

Ao meu namorado Ptolomeu, que me acompanhou e me ajudou nesta e em tantas outras jornadas, me incentivando, apoiando e agüentando minha impaciência,

Ao meu orientador Prof. Leandro, sempre presente em todas as etapas do trabalho, orientando e ajudando a conduzir nosso trabalho da melhor forma possível,

A amiga Rosane Martinazzo, pela grande amizade, conselhos e exemplos de dedicação e disciplina,

A Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela possibilidade de realização do curso de mestrado,

A Coordenação de Aperfeiçoamento ao Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudos,

A Fundação de Amparo a Pesquisa no Rio Grande do Sul (FAPERGS) pela concessão de bolsa de iniciação científica e auxílio financeiro e ao CNPq pela concessão de bolsa PIBIC de iniciação científica.

Ao Comitê de Orientação, Prof. Carlos Alberto Ceretta e Prof. Enio Marchesan, pelo incentivo durante a realização do trabalho,

Aos pesquisadores e técnicos do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), do Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado (EMBRAPA/CPACT) e da

Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S. A. (EPAGRI), pelo auxílio na coleta e fornecimento de amostras das áreas experimentais nos centros de pesquisa. Também ao IRGA pelo empréstimo do clorofilômetro e da cartela de cores.

Aos amigos e colegas de trabalho, Fabio A. Graupe, Darines Britzke, Eliziane L. Benedetti, Ângela da Cas Bundt, Luciano Pit, Juliano Rossi, Simone Kaeffer e Marcos Toebe, pelo auxílio na condução dos experimentos e análises laboratoriais.

Aos colegas e amigos do Programa de Pós-Graduação, Marquel J. Holzschuh, Denise E. Ceconi e Leonir T. Uhde, pelo coleguismo, companheirismo e auxílio durante a realização do curso,

Ao amigo Eduardo Giroto, pela amizade e conversas nos momentos difíceis,

A amiga Betania Brum, pelo auxílio na realização da análise estatística,

Aos funcionários do Departamento de Solos, Tarcísio, Flávio, Gládis e em especial ao Finamor, sempre bem humorado e disposto a nos ajudar,

Aos funcionários do Laboratório de Análise de Solos, Medianeira, Sérgio e Paulinho, pelo auxílio na realização das análises laboratoriais.

Obrigada a todos!

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria

ESTIMATIVA DO ESTADO NUTRICIONAL DE ARROZ IRRIGADO POR ALAGAMENTO

Autora: Elisandra Pocojeski

Orientador: Leandro Souza da Silva

Santa Maria, 21 de fevereiro de 2007.

A dificuldade de prever a intensidade das alterações nas propriedades do solo provocadas pelo alagamento do solo torna a interpretação dos resultados da análise de solo, muitas vezes, imprecisa para estimar a disponibilidade dos nutrientes às plantas. Métodos complementares à análise do solo, como a análise de tecido foliar, o clorofilômetro e a cartela de cores podem ser utilizados para monitorar o estado nutricional das plantas. Os objetivos deste trabalho foram: 1) verificar a influência do cultivar, estágio de desenvolvimento e parte da planta nos teores de macronutrientes e sua correlação com a produtividade de grãos de arroz e 2) monitorar o nível de nitrogênio (N) ao longo do ciclo da cultura do arroz irrigado em diferentes condições de disponibilidade de N e para diferentes cultivares de arroz irrigado, através do clorofilômetro e da cartela de cores. Para tanto, foram desenvolvidos dois experimentos a campo, conduzidos no ano agrícola de 2005/2006, na Universidade Federal de Santa Maria (RS). Para o primeiro objetivo foi instalado um experimento com seis cultivares de arroz irrigado (BR-IRGA 409, BR-IRGA 410, IRGA 417, IRGA 421, EPAGRI 108 e HÍBRIDO 2) de diferentes ciclos. Foram coletadas partes da planta dos cultivares, planta inteira, última folha, penúltima folha e folha Y, em diferentes épocas, 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura, 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura, diferenciação do primórdio floral, 15 dias após a diferenciação do primórdio floral e florescimento, e analisados os teores de macronutrientes e também determinada a produção de matéria seca, o acúmulo de nutrientes no tecido das plantas e a produtividade de grãos. Para o segundo objetivo foi instalado um experimento a campo com doses de N (0, 50, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹ de N) e dois modos de aplicação de N em cobertura (antes e depois do alagamento) sendo também utilizado o primeiro experimento com as seis cultivares de arroz irrigado. Foram realizadas avaliações com clorofilômetro, cartela de cores e análise do teor de N no tecido ao longo do ciclo da cultura e também determinada a produção de matéria seca, N acumulado e produtividade de grãos nos dois experimentos. Houve diferença entre os cultivares quanto aos teores de macronutrientes no tecido das plantas, de acordo com a parte da planta coletada e a época de avaliação. A parte da planta coletada teve maior influência nos teores de N e Ca e pouca influência nos teores de P, K e Mg. Os teores de macronutrientes das partes das plantas e épocas de avaliação não se correlacionaram significativamente com a produtividade de grãos. O clorofilômetro e a cartela de cores foram sensíveis em diagnosticar o nível de N na folha avaliada, para diferentes condições de disponibilidade de N. Os cultivares apresentaram diferenças quanto ao nível de N, quando avaliados pelo clorofilômetro e cartela de cores. Com menor sensibilidade, a cartela de cores pode ser um método alternativo ao clorofilômetro se levado em consideração o fator cultivar.

Palavras-chave: análise de tecido; clorofilômetro; cartela de cores.

ABSTRACT

Master Dissertation
Post-Graduate Program in Soil Science
Federal University of Santa Maria

ESTIMATE OF NUTRITIONAL STATE OF FLOODED RICE

Author: Elisandra Pocojeski

Adviser: Leandro Souza da Silva

Santa Maria, February 21th, 2007.

The difficulty to predict the intensity of soil properties alternative by soil flooding frequently makes the interpretation of the soil analysis results inaccurate when considering nutrients availability to the plants. Complementary methods of soil analysis, as leaf tissue analysis, chlorophyll meter and the leaf color chart can be used in order to estimate plants nutritional state. The objective of this study were: 1) to verify the influence of the cultivar, development stages and part of the plant on macronutrient levels and their relation with the rice productivity and 2) to monitor nitrogen (N) during the rice cycle in different conditions of N availability and to different cultivars of flooded rice, measuring chlorophyll meter and leaf color chart. In order to accomplish this task two field experiments were developed, during the agricultural year of 2005/2006, at Federal University of Santa Maria (RS). The first experiment studied, six cultivars of flooded rice with different cycles length (BR-IRGA 409, BR-IRGA 410, IRGA 417, IRGA 421, EPAGRI 108 e HÍBRIDO 2). Parts of the plants were collected in different periods and the macronutrients were analyzed, as well, the dry matter production, nutrients storage in the plant tissue and grain productivity were determined. The second experiment was installed comparing different N rate (0, 50, 80, 120 e 160 kg N ha⁻¹) and two ways of nitrogen (N) application in dressing (before and after flooding). The first experiment with the six cultivars of flooded rice was also used. Measurements with chlorophyll meter and leaf color chart and N content analyses were done in the tissue during the crop cycle. Also, the dry matter production, stored N and grain productivity in both experiments was determined. There was a macronutrient level difference among the cultivars in the plant tissue, according to the collected part of the plant and the evaluation period. The plant part collected had greater influence on N and Ca levels and little influence in the levels of P, K and Mg. The levels of macronutrients of the plant parts and the assessment period are not significantly correlated with the grain productivity. The chlorophyll meter and the leaf color chart were sensible in diagnosing the availability of N for analyzed leaf, for different conditions of N availability. The cultivars show difference of N status, when assessed by the chlorophyll meter and the leaf color chart. With lower sensibility, the leaf color chart might be an alternative method to the chlorophyll meter if the cultivar factor is taken in consideration.

Key words: tissue analysis, chlorophyll meter, leaf color chart.

LISTA DE FIGURAS

| | Página |
|--|---------------|
| FIGURA 1 - Correlação entre o teor de N e a produtividade de grãos para a planta inteira (a), última folha completamente expandida (b), penúltima folha completamente expandida (c) e folha Y (d), aos 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (30DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias após DPF (15DPF) e no florescimento (FLORESC.), para seis cultivares de arroz irrigado. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... | 53 |
| FIGURA 2 - Correlação entre o teor de P e a produtividade de grãos para a planta inteira (a), última folha completamente expandida (b), penúltima folha completamente expandida (c) e folha Y (d), aos 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (30DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias após DPF (15DPF) e no florescimento (FLORESC.), para seis cultivares de arroz irrigado. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... | 54 |
| FIGURA 3 - Correlação entre o teor de K e a produtividade de grãos para a planta inteira (a), última folha completamente expandida (b), penúltima folha completamente expandida (c) e folha Y (d), aos 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (30DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias após DPF (15DPF) e no florescimento (FLORESC.), para seis cultivares de arroz irrigado. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... | 55 |
| FIGURA 4 - Correlação entre o teor de Ca e a produtividade de grãos para a planta inteira (a), última folha completamente expandida (b), penúltima folha | |

completamente expandida (c) e folha Y (d), aos 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (30DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias após DPF (15DPF) e no florescimento (FLORESC.), para seis cultivares de arroz irrigado. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... 56

FIGURA 5 - Correlação entre o teor de Mg e a produtividade de grãos para a planta inteira (a), última folha completamente expandida (b), penúltima folha completamente expandida (c) e folha Y (d), aos 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (30DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias após DPF (15DPF) e no florescimento (FLORESC.), para seis cultivares de arroz irrigado. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... 57

FIGURA 6 - Leituras com o clorofilômetro na última folha completamente expandida, aos 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias após DPF (15DPF) e no florescimento (FLORESC.), em função das doses de N e 1ª aplicação de N em cobertura antes do alagamento (a) e depois do alagamento (b). Cultivar IRGA 417. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... 63

FIGURA 7 - Leituras com a cartela de cores na última folha completamente expandida, aos 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias após DPF (15DPF) e no florescimento (FLORESC.), em função das doses de N e 1ª aplicação de N em cobertura antes do alagamento (a) e depois do alagamento (b). Cultivar IRGA 417. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... 65

FIGURA 8 - Correlação entre as leituras do clorofilômetro e o teor de N na planta inteira, para quatro épocas de avaliação, 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias após DPF (15DPF) e florescimento (FLORESC.), em função das doses de N e 1ª aplicação de N em cobertura antes do alagamento (a) e depois do alagamento (b). Cultivar IRGA 417. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... 66

FIGURA 9 - Correlação entre as leituras da cartela de cores e o teor de N na planta inteira para quatro épocas de avaliação, 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias

| | |
|---|----|
| após DPF (15DPF) e florescimento (FLORESC.), em função das doses de N e 1ª aplicação em cobertura antes do alagamento (a) e depois do alagamento (b). Cultivar IRGA 417. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... | 67 |
| FIGURA 10 - Correlação entre as leituras do clorofilômetro e o teor de N na folha Y para diferenciação do primórdio floral (DPF) e 15 dias após DPF (15DPF) e na folha bandeira para o florescimento (FLORESC), em função das doses de N e 1ª aplicação em cobertura antes do alagamento (a) e depois do alagamento (b). Cultivar IRGA 417. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... | 68 |
| FIGURA 11 - Correlação entre as leituras da cartela de cores e o teor de N na folha Y para diferenciação do primórdio floral (DPF) e 15 dias após DPF (15DPF) e na folha bandeira para o florescimento (FLORESC), em função das doses de N e 1ª aplicação em cobertura antes do alagamento (a) e depois do alagamento (b). Cultivar IRGA 417. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... | 69 |
| FIGURA 12 - Correlação entre as leituras da cartela de cores e do clorofilômetro (médias dos valores das leituras entre as formas de aplicação de N), para as quatro épocas de avaliação, aos 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias após a diferenciação do primórdio floral (15DPF) e florescimento (FLORESC.), em função das doses de N. Cultivar IRGA 417. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS. | 70 |
| FIGURA 13 - Leituras com o clorofilômetro na última folha completamente expandida, aos 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (30DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias após DPF (15DPF) e no florescimento (FLORESC.), para seis cultivares de arroz irrigado. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... | 72 |
| FIGURA 14 - Leituras com a cartela de cores na última folha completamente expandida, aos 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (30DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias após DPF (15DPF) e no florescimento (FLORESC.), para seis cultivares de arroz irrigado. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... | 75 |
| FIGURA 15 - Correlação entre as leituras do clorofilômetro e o teor de N na última folha completamente expandida, para seis cultivares de arroz irrigado, | |

| | |
|--|----|
| em cinco épocas de avaliação, aos 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (30DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias após DPF (15DPF) e no florescimento (FLORESC.). Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... | 75 |
| FIGURA 16 - Correlação entre as leituras da cartela de cores e o teor de N na última folha completamente expandida, para seis cultivares de arroz irrigado, aos 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (30DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias após DPF (15DPF) e florescimento (FLORESC.). Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... | 76 |
| FIGURA 17 - Correlação entre as leituras da cartela de cores e do clorofilômetro, para as cinco épocas de avaliação, aos 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (30DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias após DPF (15DPF) e no florescimento (FLORESC.), para seis cultivares de arroz irrigado. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... | 77 |
| FIGURA 18 - Correlação entre as leituras do clorofilômetro na última folha completamente expandida e a produtividade de grãos, aos 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (30DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias após DPF (15DPF) e no florescimento (FLORESC.), para seis cultivares de arroz irrigado. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... | 78 |
| FIGURA 19 - Correlação entre as leituras da cartela de cores na última folha completamente expandida e a produtividade de grãos, aos 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (30DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias após DPF (15DPF) e no florescimento (FLORESC.), para seis cultivares de arroz irrigado. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... | 79 |

LISTA DE TABELAS

| | Página |
|--|---------------|
| TABELA 1 - Características químicas do solo amostrado na profundidade de 0 - 20cm antes da instalação do experimento. Área Experimental do Departamento de Fitotecnia. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... | 40 |
| TABELA 2 - Teor de N na planta inteira, última folha completamente expandida, penúltima folha completamente expandida e folha Y, para cultivares de arroz irrigado nas épocas de avaliação. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... | 43 |
| TABELA 3 - Teor de P na planta inteira, última folha completamente expandida, penúltima folha completamente expandida e folha Y, para cultivares de arroz irrigado nas épocas de avaliação. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... | 44 |
| TABELA 4 - Teor de K na planta inteira, última folha completamente expandida, penúltima folha completamente expandida e folha Y, para cultivares de arroz irrigado nas épocas de avaliação. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... | 46 |
| TABELA 5 - Teor de Ca na planta inteira, última folha completamente expandida, penúltima folha completamente expandida e folha Y, para cultivares de arroz irrigado nas épocas de avaliação. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS.. | 47 |
| TABELA 6 - Teor de Mg na planta inteira, última folha completamente expandida, penúltima folha completamente expandida e folha Y, para cultivares de arroz irrigado nas épocas de avaliação. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS.. | 48 |
| TABELA 7 - Produção de matéria seca de seis cultivares de arroz irrigado em cinco épocas de avaliação. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... | 50 |
| TABELA 8 - Nutrientes acumulados na matéria seca da parte aérea das plantas de seis cultivares de arroz irrigado em cinco épocas de avaliação. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... | 51 |

| | |
|--|----|
| TABELA 9 - Produtividade de grãos de seis cultivares de arroz irrigado. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... | 52 |
| TABELA 10 - Características químicas do solo amostrado na profundidade de 0 - 20cm antes da instalação do experimento. Área Experimental do Departamento de Fitotecnia. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... | 60 |
| TABELA 11 - Produtividade de grãos do cultivar de arroz irrigado IRGA 417, em função das doses N e 1ª aplicação de N em cobertura, antes e depois do alagamento. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... | 71 |
| TABELA 12 - Produtividade de grãos de seis cultivares de arroz irrigado. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... | 77 |
| TABELA 13 - Produção de matéria seca de seis cultivares de arroz irrigado em cinco épocas de avaliação. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... | 78 |
| TABELA 14 - Análise de variância para produção de matéria seca de seis cultivares de arroz irrigado em cinco épocas de avaliação. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... | 92 |

LISTA DE ANEXOS

| | Página |
|--|---------------|
| ANEXO A - Fotos do experimento a campo. Fonte: Britzke (2006) | 90 |
| ANEXO B - Separação da última folha das plantas de arroz. Fonte: Britzke (2006)..... | 91 |
| ANEXO C - Análise de variância para produção de matéria seca de seis cultivares de arroz irrigado em cinco épocas de avaliação. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... | 92 |
| ANEXO D - Fotos do experimento a campo. Fonte: Britzke (2005/2006) | 93 |
| ANEXO E - Leituras realizadas com o clorofilômetro. Fonte: Britzke (2006)..... | 94 |
| ANEXO F - Leituras realizadas com a cartela de cores. Fonte: Britzke (2006)..... | 94 |
| ANEXO G - Média das leituras da cartela de cores entre as épocas de avaliação para cada dose de N e para as duas formas de 1ª aplicação de N em cobertura. Cultivar IRGA 417. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... | 95 |
| ANEXO H - Análise de regressão para as leituras do clorofilômetro em função das doses de N, duas formas de 1ª aplicação de N em cobertura, antes e depois do alagamento e épocas de avaliação. Cultivar IRGA 417. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... | 95 |
| ANEXO I - Análise de regressão para as leituras da cartela de cores em função das doses de N, duas formas de 1ª aplicação de N em cobertura, antes e depois do alagamento e épocas de avaliação. Cultivar IRGA 417. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... | 95 |
| ANEXO J - Produção de matéria seca da parte aérea das plantas de arroz, em função das doses de N, duas formas de 1ª aplicação de N em cobertura, antes | |

| | |
|--|----|
| e depois do alagamento e épocas de avaliação. Cultivar IRGA 417. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... | 95 |
| ANEXO L - Nitrogênio acumulado na matéria seca da parte aérea das plantas de arroz, em função das doses de N, duas formas de 1ª aplicação de N em cobertura, antes e depois do alagamento e épocas de avaliação. Cultivar IRGA 417. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... | 96 |
| ANEXO M - Nitrogênio acumulado na matéria seca da parte aérea das plantas de arroz, para seis cultivares de arroz irrigado em cinco épocas de avaliação. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS..... | 96 |

SUMÁRIO

| | Página |
|--|---------------|
| 1 INTRODUÇÃO | 19 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 22 |
| 2.1 A cultura do arroz irrigado | 22 |
| 2.1.1 A cultura do arroz irrigado no Rio Grande do Sul..... | 23 |
| 2.1.2 A produtividade da cultura do arroz irrigado e a adubação..... | 23 |
| 2.2 Avaliação da disponibilidade de nutrientes às plantas | 25 |
| 2.2.1 Avaliação da disponibilidade de nutrientes ao arroz irrigado..... | 28 |
| 2.2.1.1 Disponibilidade de nutrientes e a adubação..... | 28 |
| 2.2.1.2 Análise de solo para o arroz irrigado | 29 |
| 2.2.1.3 Análise de tecido para arroz irrigado..... | 31 |
| 2.2.1.4 Avaliação da disponibilidade de nitrogênio através de testes de campo..... | 33 |
| a) Clorofilômetro..... | 34 |
| b) Cartela de cores..... | 36 |
| 3 ESTUDO 1 | 38 |
| 3.1 Introdução | 38 |
| 3.2 Material e métodos | 39 |
| 3.2.1 Instalação e condução do experimento a campo..... | 39 |
| 3.2.2 Avaliações e determinações realizadas..... | 41 |
| 3.2.3 Análise estatística..... | 41 |
| 3.3 Resultados e discussão | 42 |
| 3.4 Conclusões | 57 |
| 4 ESTUDO 2 | 58 |

| | |
|---|----|
| 4.1 Introdução | 58 |
| 4.2 Material e métodos | 59 |
| 4.2.1 Instalação e condução do experimento 1..... | 59 |
| 4.2.2 Instalação e condução do experimento 2..... | 61 |
| 4.2.3 Avaliações e determinações realizadas..... | 61 |
| 4.2.4 Análise estatística..... | 62 |
| 4.3 Resultados e discussão | 62 |
| 4.3.1 - Experimento 1..... | 62 |
| 4.3.2 - Experimento 2..... | 71 |
| 4.4 Conclusões | 79 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 81 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 82 |
| ANEXOS | 89 |

1 INTRODUÇÃO

A cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) está presente principalmente nos países em desenvolvimento e desempenha papel estratégico em níveis econômico e social. O Brasil é o nono produtor mundial, sendo sua produção realizada de duas maneiras, cultivo em várzea (irrigado por alagamento) e em terras altas (sequeiro). O Rio Grande do Sul é o maior produtor brasileiro, no qual é praticado, predominantemente o cultivo do arroz irrigado por alagamento, contribuindo com aproximadamente 2/3 da produção total de arroz nacional. Embora a produtividade média do Estado atualmente esteja entre as maiores do Brasil (6.317 kg ha⁻¹ na safra 2005/06 - ANUÁRIO BRASILEIRO DO ARROZ, 2006), a ocorrência de alguns fatores, como clima desfavorável, manejo inadequado da fertilidade e da irrigação, deficiências no controle de pragas e doenças, entre outros, podem ser limitantes para obtenção de uma maior produtividade da cultura.

O manejo da fertilidade para o arroz irrigado pode ser realizado do mesmo modo que para as demais culturas de sequeiro, ou seja, com auxílio da análise de solo, estimando-se a disponibilidade de nutrientes antes da implantação da cultura. Porém, para os solos alagados, a lâmina de água que fica sobre a superfície do solo cria um ambiente onde predominam microrganismos anaeróbicos, os quais provocam algumas alterações nas propriedades do solo, devido à redução de compostos inorgânicos, especialmente nitrato, óxidos de manganês e ferro e sulfato. Dentre as principais mudanças que ocorrem no solo, estão o aumento do pH e da disponibilidade de fósforo e de ferro e a perda de nitrogênio por desnitrificação. Devido ao fato de que é difícil prever a intensidade das alterações provocadas pelo alagamento, a interpretação dos resultados da análise de solo, muitas vezes, torna-se imprecisa para diagnosticar a disponibilidade dos nutrientes às plantas. Por isso, a análise foliar poderia ser um instrumento que possibilitaria uma melhor estimativa do estado nutricional das plantas e, conseqüentemente, um ajuste mais preciso da dose de fertilizante a ser utilizada para a cultura do arroz irrigado.

A análise foliar consiste em analisar determinadas partes da planta em alguns estádios definidos da cultura, indicando se a planta apresenta quantidades suficientes dos nutrientes para atender sua demanda ou se eles estão em quantidades deficientes ou, ainda, em algumas situações, em excesso. A análise

foliar poderia ser realizada em duas situações distintas para a cultura do arroz irrigado. Em uma primeira situação, com a finalidade de diagnosticar a necessidade de correção da adubação ainda durante o ciclo da cultura, neste caso com destaque para a adubação nitrogenada em cobertura, e em uma segunda situação, como referência para adubação de um cultivo subsequente.

A amostragem das plantas é tão fundamental quanto a própria análise, visto que esta deve ser representativa da situação real da lavoura e o resultado da análise deverá ser interpretado de modo a dar significado aos valores obtidos em uma determinada condição. Dessa forma, para poder interpretar o estado nutricional da planta de arroz é fundamental estabelecer um procedimento de amostragem apropriado, ou seja, o conhecimento da parte e do estágio de desenvolvimento da planta mais adequados à análise.

Os aspectos genéticos e morfológicos das plantas de arroz podem diferir entre os cultivares, significando que o desenvolvimento das plantas, duração do ciclo e a quantidade de nutrientes requerida pela cultura e a encontrada na planta podem diferir entre os genótipos. Assim, pode haver a necessidade de se utilizar diferentes padrões para os diferentes genótipos ou grupos de comportamento semelhante.

Outro aspecto a ser considerado é que, entre os nutrientes essenciais, o nitrogênio é um dos elementos requeridos em maior quantidade pela cultura do arroz irrigado por alagamento e, também é um elemento sujeito a vários processos influenciados pelas condições de oxidação e redução, os quais aumentam a dificuldade de avaliação de sua disponibilidade através da análise do solo, pelo teor da matéria orgânica.

A utilização da análise foliar para ajustar a adubação nitrogenada durante o cultivo do arroz irrigado pode ser uma ferramenta útil, porém é um método bastante demorado de obtenção dos resultados, em função dos procedimentos normais de coleta, preparo da amostra e determinação analítica. Para as situações em que o objetivo é ajustar a dose de nitrogênio a ser utilizada poderiam ser utilizados testes indiretos de campo, que estimem a quantidade de nitrogênio no tecido do arroz irrigado. Um desses testes de avaliação à campo é a estimativa do teor de clorofila na planta, pelo clorofilômetro, o qual tem uma relação direta com o teor de nitrogênio no tecido de algumas culturas. Entretanto, sua utilização pressupõe a calibração entre o teor de nitrogênio determinado, seguindo um procedimento de amostragem e análise das plantas consideradas padrão, e os valores fornecidos pelo aparelho.

Outra possibilidade, já utilizada em outros países, é o emprego da cartela de cores, a qual consiste em uma cartela com diferentes tonalidades da coloração verde que também tem relação com o teor de nitrogênio no tecido. Da mesma forma que o clorofilômetro, seus resultados também dependem de uma calibração com a análise do teor de nitrogênio do tecido.

Um melhor entendimento do resultado da análise de tecido, bem como a correlação desses valores com outros parâmetros da planta que podem ser utilizados para estimar a condição nutricional do arroz irrigado por alagamento, tornam-se fundamentais para utilização dessas técnicas no manejo da adubação para a cultura. Essas informações poderão contribuir sobremaneira para a utilização racional dos fertilizantes e o alcance do potencial produtivo do arroz irrigado, com reflexos econômicos e ambientais sobre a sustentabilidade da cadeia produtiva orizícola no RS. Nesse sentido, desenvolveu-se este trabalho com os objetivos de:

- a) Avaliar a influência do cultivar, do estágio de desenvolvimento e da parte da planta de arroz irrigado sobre os teores de macronutrientes do tecido e correlacionar com a produtividade de grãos;
- b) Correlacionar os valores do clorofilômetro e da cartela de cores com o teor de nitrogênio no tecido das plantas quando submetidos a diferentes condições de disponibilidade de N e quando oriundas de diferentes cultivares de arroz irrigado;
- c) Correlacionar os valores do clorofilômetro e da cartela de cores com a produtividade de grãos da cultura de arroz irrigado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura do arroz irrigado

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma gramínea anual classificada no grupo de plantas C3, adaptada a ambientes aquáticos. É um dos cereais mais cultivados no mundo especialmente na Ásia, onde se constitui na base alimentar da população. Bem antes de qualquer evidência histórica, o arroz foi, provavelmente, o principal alimento e a primeira planta cultivada na Ásia, sendo o sudeste desse continente apontado por historiadores e pesquisadores como o local de origem do arroz. As mais antigas referências ao arroz são encontradas na literatura chinesa, há cerca de 5.000 anos (CNPAP/EMBRAPA).

Aproximadamente 150 milhões de hectares são plantados anualmente no mundo e a produção atinge em torno de 600 milhões de toneladas. O sistema irrigado corresponde a 55% da área cultivada e contribui com 75% da produção total (FAIRHURST & DOBERMANN, 2002). Os países em desenvolvimento têm no arroz uma importante cultura sob o ponto de vista social e econômico, pois este é considerado um dos alimentos com melhor balanceamento nutricional, extremamente versátil, que se adapta a diferentes condições de solo e clima, sendo a espécie de maior potencial de aumento de produção para o controle da fome no mundo (AZAMBUJA et al., 2004).

No continente americano, durante o início do período de tráfico dos escravos pelo Oceano Atlântico, os navios negreiros eram normalmente abastecidos com excedentes de arroz da África. Assim, o surgimento e desenvolvimento dessa cultura nas Américas está diretamente relacionado com o conhecimento das técnicas de produção do oeste africano (PEREIRA, 2002). Sabe-se também que, no Brasil, o arroz silvestre era cultivado pelos índios tupis antes mesmo da chegada dos portugueses.

No Brasil, a cultura do arroz representa aproximadamente 5% do total de grãos produzidos, com cerca de 10,6 milhões de toneladas colhidas. Essa produção é oriunda do cultivo irrigado em várzea e do cultivo de sequeiro (AZAMBUJA et al., 2004). Segundo estes autores, no ano de 2001/2002, a produção nacional de arroz foi oriunda 32% do cultivo de sequeiro e 68% do cultivo irrigado. O cultivo de arroz

em várzea (irrigado por alagamento) é o tradicionalmente praticado na Região Sul do Brasil, sendo o Rio Grande do Sul (RS) o maior produtor brasileiro.

2.1.1 A cultura do arroz irrigado no Rio Grande do Sul

No Estado do RS não existem referências sobre o cultivo deste cereal durante os séculos XVI e XVII. Provavelmente, os imigrantes açorianos (primeiros colonizadores) tenham sido os “fundadores” da lavoura no Estado. As primeiras lavouras irrigadas surgiram na década de 1890, as margens do Rio Santa Maria, nos municípios de Taquara e Santa Cruz. A partir de 1903 teriam início os primeiros cultivos com instalações de levante mecânico para irrigação nas proximidades de Pelotas (PEREIRA, 2002).

Por volta de 1930, a adubação do arroz era uma técnica que começava a ser adotada, mas quase que exclusivamente em Pelotas. Ali, em associação com as charqueadas, utilizavam-se adubos compostos de farinhas de ossos, sangue e fosfato. Os grandes orizicultores adubavam sempre suas lavouras e possuíam fábricas de adubos; os pequenos por sua vez, também costumavam realizar adubação, mas somente a partir do segundo ano de cultivo numa mesma área (MASSERA, 1983 *apud* PEREIRA, 2002).

Hoje o cultivo do arroz irrigado no RS é de importância sócio-econômica inquestionável, sendo produzido em praticamente todas as regiões da metade sul do Estado, que possuem solos de várzea aptos para este tipo de cultivo, contribuindo com aproximadamente 30% da produção total de grãos do Estado (IRGA, 2001). São cerca de um milhão de hectares utilizados anualmente com a cultura do arroz irrigado, com produções estáveis apresentando uma produtividade média (em torno de 6 Mg ha^{-1}) próxima das obtidas em países tradicionais no cultivo (EUA, Austrália e Japão) (AZAMBUJA et al., 2004). Porém, ainda está distante do rendimento obtido em algumas áreas experimentais e em partes de lavouras comerciais do Estado, que alcançam até o dobro da média estadual.

2.1.2 A produtividade da cultura do arroz irrigado e a adubação

A diferença encontrada entre o potencial de produtividade da cultura e a média obtida pelos produtores chama-se “lacuna de produtividade”, e está

principalmente relacionada com condições edafo-climáticas e práticas de manejo (MARCHEZAN, 2002). Segundo este autor, dentre os fatores principais do manejo da cultura que afetam a produtividade das lavouras pode-se destacar: qualidade das sementes, manejo da irrigação, época e densidade de semeadura, sistema de cultivo e cultivares, manejo de plantas daninhas, insetos-praga e doenças e o manejo da adubação.

Para a cultura do arroz irrigado, o manejo atual da adubação é estabelecido em função dos resultados da análise de solo associados com o sistema de semeadura e expectativa de rendimento da cultura. Recomenda-se que a adubação com P e K seja realizada na ocasião da semeadura, podendo em alguns casos de solos arenosos fazer-se o parcelamento do K com uma adubação de cobertura. A adubação nitrogenada também está baseada no sistema de semeadura e expectativa de rendimento de grãos em função do teor de MOS. Recomenda-se a aplicação de 10kg ha^{-1} de N na semeadura e o restante em cobertura (CQFS 2004).

O N é considerado um macronutriente essencial para as plantas, faz parte da molécula de clorofila, citocromo e de todas as enzimas e coenzimas. Depois do carbono, hidrogênio e oxigênio, é o elemento encontrado em maiores quantidades nas plantas (ARIMA, 1995). A disponibilidade de N às plantas afeta as taxas de iniciação de expansão foliar, tamanho final e a senescência das folhas (SCHRÖDER et al., 2000). Além disso, o N é o principal nutriente responsável pelo aumento dos componentes da produtividade (FAGERIA et al., 2003). O número de panículas por unidade de área é relatado como um dos mais importantes componentes da produtividade, quando não existem estresses ambientais (MILLER et al., 1991; ZENG & SHANNON, 2000). A aplicação de N na fase vegetativa contribui para a formação de perfilhos e, portanto, para o número de panículas, sendo dependente da cultivar utilizada e da população de plantas (MARZARI, 2005). Na fase reprodutiva ocorre a definição de mais dois componentes, número de espiguetas por panícula e peso de grãos (MARZARI, 2005).

Devido à rápida transformação do N adicionado via fertilizante e grande perda, principalmente, por volatilização e desnitrificação, a eficiência de recuperação do N pela cultura do arroz é considerada baixa. DE DATTA et al. (1988) relata que a eficiência de recuperação do N na cultura do arroz irrigado situa-se entre 20 e 40% do N adicionado. Utilizando a média de 33% de eficiência de recuperação do N para cereais em geral, RAUN & JOHNSON (1999) calcularam que os 67% de N perdidos

resultam em uma perda anual no valor de, aproximadamente, US\$ 15,9 bilhões de fertilizante nitrogenado. Isto sem levar em consideração o custo do dano ambiental provocado pelas perdas deste N. Desta forma, fica evidente a necessidade de aumentar a eficiência de recuperação do N pela cultura do arroz irrigado, buscando reduções nas perdas de N do solo e melhoria na sua absorção e assimilação pelas plantas (BREDEMEIER & MUNDSTOCK, 2000).

Escolher o cultivar adequado também é extremamente importante para obter altas produtividades da cultura com melhor aproveitamento dos nutrientes. Os cultivares modernos de arroz irrigado são mais eficientes na absorção e utilização do N na produção de grãos em comparação aos tradicionais (FAGERIA et al., 2003). Segundo estes autores, a capacidade do cultivar em acumular N na fase vegetativa e translocá-lo na fase reprodutiva, nos estádios de floração e enchimento de grãos, é o que determina o número de espiguetas férteis e a massa de grãos. Em média para cada quilograma de N aplicado são produzidos 23 kg de grãos de arroz.

Assim, as práticas de manejo, como o uso de doses adequadas e a época apropriada de aplicação de nitrogênio em cobertura, juntamente com o controle adequado da água de irrigação, são fundamentais para o aumento da sua eficiência (FAGUERIA et al., 2003) e da produtividade de grãos da cultura.

2.2 Avaliação da disponibilidade de nutrientes às plantas

Para se saber a quantidade de fertilizante a se utilizar em determinada cultura é necessário saber quanto de nutriente já se encontra disponível no solo, resultante da liberação dos colóides pelos processos de troca, pela mineralização da matéria orgânica através da atividade microbiana, e dessorção dos que estão ligados à superfície dos grupos funcionais por complexo de esfera interna.

A principal ferramenta para se fazer a estimativa da disponibilidade de nutrientes para determinada cultura é através da análise de solo, que tem como objetivo principal a utilização racional de insumos em quantidade, forma e época de aplicação, visando, dessa forma, a elevação e manutenção dos teores de nutrientes no solo e a otimização de retornos econômicos das culturas (CQFS, 2004). O sistema de recomendação é composto de etapas que iniciam na amostragem do solo, seguido da análise laboratorial, interpretação dos resultados e recomendação da dose do(s) nutriente(s) a ser(em) utilizado(s) (CQFS, 2004). O diagnóstico da

fertilidade do solo é feito pelo enquadramento dos resultados das análises de solo em amplitudes de valores (faixas), conforme a probabilidade de resposta das culturas. As faixas de disponibilidade de nutrientes são estabelecidas com base em resultados de pesquisa a campo, relacionando o rendimento relativo das culturas com os teores de nutrientes no solo, e que se entende por calibração de um método de análise. Com base nas curvas de calibração foram definidos os níveis de suficiência das culturas (CQFS, 2004).

Outra possibilidade de se fazer estimativa da disponibilidade de nutrientes é através da análise do tecido vegetal, porém esta análise somente permite fazer uma avaliação complementar das condições de fertilidade do solo avaliada pela análise do solo e, desta maneira, fazer a verificação e o monitoramento do estado nutricional das plantas durante o ciclo (CQFS, 2004). Segundo esta, na maior parte dos casos, a concentração de nutrientes em folhas completamente expandidas de plantas é a melhor indicação do seu estado nutricional, refletindo a condição de fertilidade do solo. Em outras palavras, a diagnose foliar consiste em analisar o solo usando a planta como solução extratora (MALAVOLTA et al., 1997). Com a análise da planta é possível identificar corretamente se um dado nutriente está em um nível suficiente ou deficiente na planta, naquela época. A acumulação de nutrientes é obtida do produto do teor de nutrientes no tecido da planta pela produção de matéria seca da palha ou dos grãos. Ela expressa a quantidade de nutrientes extraídos para reposição no solo para manter a fertilidade no nível desejado (FAGERIA et al., 2003).

O ideal ao se analisar uma folha, seria fazer uma comparação entre o teor do elemento na amostra e o teor do mesmo em folhas padronizadas, especialmente quanto ao tipo, época de coleta e quantidade. Porém, nem sempre se encontram disponíveis valores padrões para se fazer esta comparação. Os valores dos padrões são geralmente obtidos analisando-se folhas de plantas altamente produtivas, nas quais as quantidades e proporções dos elementos são consideradas adequadas. Para fins de comparação tem-se que amostrar folhas do mesmo modo que se procedeu com os padrões. Caso contrário, a comparação poderá levar a resultados errôneos (MALAVOLTA, 1992).

A parte da planta requerida para amostragem é de grande importância, pois há diferenças no teor dos nutrientes entre folhas, caules e raízes (GIANELLO & BISSANI, 2004). Entre todos os órgãos da planta (raiz, caule, ramos, folhas e frutos),

a folha é o que reflete melhor o estado nutricional, isto é, responde mais às variações no suprimento de um elemento, seja este proveniente do solo ou do fertilizante aplicado ao solo. A quantidade de nutrientes nela encontrados é consequência do efeito de fatores que atuaram e, às vezes, interagiram entre si até o momento em que o órgão foi colhido para análise (MALAVOLTA et al., 1997). Uma planta bem suprida com macro e/ou micronutrientes essenciais possui nas suas folhas todos os elementos em quantidades e proporções adequadas, sendo por isso, capaz de proporcionar altas produtividades e compensadoras do ponto de vista econômico. Por outro lado, uma planta mal nutrida em macro e micronutrientes terá nas suas folhas um ou mais elementos em quantidades insuficientes para dar colheitas altas e remuneradoras. Uma planta poderá ser mal alimentada também se um ou mais elementos estiver presente nas folhas em quantidades ou proporções excessivas ou tóxicas (MALAVOLTA, 1992).

A amostragem bem feita é tão importante quanto a análise propriamente dita. Na operação de amostragem, é necessário conhecer a parte mais adequada da planta destinada à análise, a idade da planta, a posição das folhas e o número de amostras suficientes para representar uma determinada área (BARBOSA FILHO et al., 1994). A amostragem é a fase onde ocorrem os erros que mais dificultam a interpretação dos resultados da análise foliar. É necessário conhecer o momento exato da coleta, pois este varia entre culturas. Segundo MALAVOLTA et al. (1997), alguns fatores podem servir como fonte de erro na obtenção de valores para a interpretação nutricional, entre eles estão: variedade, idade das folhas, presença de frutos, exposição solar, quantidade de chuva, práticas culturais e pragas e moléstias. Pragas ou moléstias podem provocar sintomas foliares muito parecidos com os de deficiência ou excesso de nutrientes nas plantas.

A interpretação da análise também é uma etapa crítica do método. A interpretação dos valores analíticos dos componentes vegetais requer a calibração prévia para cada nutriente, cultura, e, em alguns casos, para variedade, pois a concentração dos nutrientes varia com a espécie, idade e estágio de desenvolvimento (GIANELLO & BISSANI, 2004). Uma interpretação correta somente pode ser feita se houver disponibilidade de valores, obtidos através de amostras padrões em trabalhos de pesquisa, para as variedades em uso (GIANELLO & BISSANI, 2004). Outro fator a ser considerado é que nem sempre a análise de um único elemento isoladamente é suficiente para a avaliação do estado

nutricional, pois todos os elementos devem estar em níveis adequados para o crescimento e a produção da cultura (MALAVOLTA et al., 1997).

2.2.1 Avaliação da disponibilidade de nutrientes ao arroz irrigado

2.2.1.1 Disponibilidade de nutrientes e a adubação

Quando o solo é inundado, ocorre o processo de redução, provocado por microrganismos anaeróbicos, facultativos ou obrigatórios, que utilizam o oxigênio de substâncias oxidadas do solo para o seu metabolismo, provocando uma série de modificações físicas, químicas e físico-químicas, destacando-se o aumento da disponibilidade de vários nutrientes essenciais, dentre eles o P, e perda de outros, principalmente de N, pelos vários processos envolvidos (SCIVITTARO & MACHADO, 2004). O metabolismo microbiano também provoca alterações no pH e nas reações de redução de nitrato, sulfato e óxidos de ferro e de manganês do solo (CAMARGO & TEDESCO, 2004), o que desencadeia as demais alterações químicas neste ambiente.

O aumento dos valores de pH em solos alagados, conforme observado por MORAES & FREIRE (1974), aumenta a concentração de P na solução do solo, devido principalmente à redução dos compostos férricos para formas ferrosas, com liberação do P retido por adsorção ou por ligação química específica (SOUSA et al., 2004). Com isso, mesmo que se obtenham valores baixos de teor de P extraível (método Mehlich-I) em solo seco, a resposta é relativamente baixa à adubação fosfatada para o cultivo do arroz irrigado (SCIVITTARO & MACHADO, 2004). Segundo estes autores, situação semelhante também ocorre com o K, que mesmo com teor médio ou baixo de K disponível no solo, normalmente os resultados mostram baixa resposta em rendimento à aplicação de K. Um dos fatores relacionados à falta de resposta à aplicação de K pode ser pela liberação do K das frações não-trocável e estrutural, que pode suprir durante algum tempo a demanda da cultura pelo nutriente (CASTILHOS & MEURER, 1999).

Na maioria das vezes, é difícil de estabelecer uma relação entre as características do solo antes do alagamento e o comportamento da planta de arroz no solo alagado (VAHL & SOUSA, 2004). Por isso, algumas vezes, são encontradas

baixas correlações entre métodos de determinação da quantidade disponível de um determinado nutriente com a resposta da cultura em produtividade de grãos (RANNO, 2004).

Para a maioria das recomendações de adubação nitrogenada das culturas, o teor de matéria orgânica do solo é um indicativo da disponibilidade de N durante o ciclo da cultura (ARGENTA et al., 2002). O N disponível no solo é praticamente todo proveniente da decomposição e mineralização da matéria orgânica (SCIVITTARO & MACHADO, 2004) e a sua baixa disponibilidade é decorrente de que 95% ou mais do N do solo encontra-se complexado na forma orgânica, sendo somente uma pequena parte mineralizada pela microbiota do solo durante o ciclo da cultura (CAMARGO et al., 1999). Tendo em vista que os fatores que afetam a decomposição e a mineralização são distintos nos solos, a disponibilidade de N é também bastante variável (SOSBAI, 2005). Em experimentos realizados com o objetivo de estabelecer uma relação entre o teor de matéria orgânica do solo e a resposta do arroz à adubação nitrogenada, SCIVITTARO & MACHADO (2004) demonstraram que não houve um bom ajustamento na relação das variáveis, revelando que essa metodologia não deve ser recomendada como critério único de avaliação da disponibilidade de nitrogênio e indicativo da necessidade de adubação nitrogenada para o arroz irrigado, nas condições de cultivo do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

O baixo ajuste entre o teor de MOS e disponibilidade de N para o arroz irrigado deve estar relacionado com as alterações do N em solo alagado. O nitrato é o primeiro composto oxidado do solo a ser reduzido pelos microrganismos anaeróbicos, após o desaparecimento do O₂, sendo rapidamente reduzido a N₂O e N₂ voláteis e desaparecendo do solo em poucos dias de alagamento, este processo denomina-se desnitrificação. A velocidade de desnitrificação depende, principalmente, da presença de material orgânico de fácil decomposição, do tipo de microrganismos envolvidos, do pH do solo e da temperatura (VAHL & SOUSA, 2004).

2.2.1.2 Análise de solo para o arroz irrigado

O sistema de recomendação de adubação para o arroz irrigado baseia-se na utilização da análise de solo como um instrumento básico para determinar as

necessidades de utilização de corretivos e fertilizantes, conforme abordado anteriormente. A coleta do solo é a etapa crítica do processo, onde deverão ser coletadas amostras representativas de áreas com características homogêneas, na camada de 0-20cm de profundidade do solo, coletadas com pá ou trado calador (SOSBAI, 2005). Para qualquer sistema de cultivo de arroz irrigado, a recomendação de fertilizantes baseia-se na análise do solo e orienta-se pelas tabelas de recomendação encontradas em “Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil” (SOSBAI, 2005) e “Manual de adubação e calagem para os estados do RS e SC” (CQFS, 2004).

As recomendações para o cultivo de arroz irrigado enquadram-se no sistema de adubação por cultura, baseadas na análise do solo para cada cultivo. As recomendações de adubação fosfatada e potássica estão baseadas na determinação dos teores de P e K disponíveis extraídos pelo método Mehlich-1, considerando-se o sistema de implantação da lavoura (semeadura em solo seco ou pré-germinado) e a faixa de expectativa de rendimento. Como já abordado anteriormente, nem sempre a correlação entre o que foi determinado pelo método e o que é disponibilizado durante o cultivo é suficientemente precisa, tendo em vista as reações que ocorrem após o alagamento do solo. A recomendação da adubação para o N tem como base o teor de matéria orgânica do solo e também considera o sistema de implantação da lavoura e as faixas de expectativa de rendimento (CQFS, 2004).

Há grande variabilidade, principalmente em função do clima, na decomposição e mineralização da matéria orgânica e subsequente liberação de N às plantas. Além disso, parte do fertilizante nitrogenado aplicado é assimilado pela cultura, sendo o restante parcialmente imobilizado no solo e/ou perdido através da volatilização de amônia, desnitrificação, lixiviação e escoamento superficial (KUNDU & LADHA, 1999). Assim, a dose recomendada de N pode ser sub ou superestimada. Quando for subestimada ocorrem prejuízos pela limitação do rendimento de grãos e quando superestimada diminuição dos lucros pelos gastos desnecessários com adubos (ARGENTA et al., 2003) e ainda, dependendo da situação pode haver contaminação das águas superficiais e/ou subterrâneas (SCHRÖDER et al., 2000). Outro aspecto importante é que o alagamento das áreas de várzea desencadeia uma série de mudanças no ciclo do N que fazem com que o seu comportamento nesses solos seja completamente diferente do observado em ambientes bem

drenados. A dinâmica dessas transformações é particularmente importante para a cultura do arroz irrigado por alagamento, uma vez que o solo permanece alagado durante a maior parte do ciclo da cultura (SOUSA et al., 2004).

Quando o N não for aplicado na quantidade e época correta, pode ocorrer deficiência na cultura do arroz. As principais razões da deficiência deste nutriente são suas perdas por vários processos, baixas doses de aplicação em função da sua estimativa inadequada e a diminuição do teor de matéria orgânica devido aos cultivos sucessivos (FAGERIA et al., 2003). Porém, o N é considerado como um dos elementos com maior flexibilidade de utilização, pois pode ser aplicado em várias fases de desenvolvimento da cultura, desde a semeadura até o início da formação da panícula (MARCHEZAN, 2002). Também é importante considerar que a resposta da cultura à aplicação de nitrogênio está relacionada à radiação solar. Boas condições de luminosidade no período compreendido entre 20 dias antes e 20 dias após o florescimento aumenta a eficiência de uso do N e, conseqüentemente, contribuem para maior rendimento de grãos (SOSBAI, 2005). A escolha correta do genótipo permite utilizar mais intensivamente a tecnologia de adubação nitrogenada em cobertura, que se bem utilizada, pode auxiliar na melhor exploração do potencial produtivo dos cultivares (MARCHEZAN, 2002).

Devido às dificuldades encontradas para estimar a disponibilidade de nutrientes com a análise do solo, especialmente para o arroz irrigado por alagamento, existem outros métodos que podem servir como parâmetro complementar para saber se a planta está com nível suficiente ou não de determinado nutriente. O método indicado pela CQFS (2004) para este tipo de monitoramento é a determinação do teor de nutrientes através da análise do tecido da planta.

2.2.1.3 Análise de tecido para arroz irrigado

A recomendação da amostragem para análise foliar do arroz irrigado é de se coletar 50 folhas bandeiras no início do florescimento (30-50% das panículas florescidas), e os resultados da análise foliar podem ser utilizados para o acompanhamento dos resultados da adubação, comparando com as faixas de suficiência fornecidas pelo Manual de Adubação e Calagem (CQFS, 2004). Outras recomendações para a coleta de plantas de arroz são encontradas na literatura.

MALAVOLTA (1992) recomenda coletar a folha recém madura que forma “Y” em relação à folha nova e enrolada acima, no meio do estágio de perfilhamento. LINDSAY (1972) *apud* BARBOSA FILHO et al. (1994) diz que, em geral, as folhas mais novas, que tenham completado seu desenvolvimento normal, situadas pouco abaixo do ponto terminal de crescimento, refletem com maior precisão o estado nutricional da planta.

A faixa de macronutrientes no tecido vegetal considerada suficiente pela CQFS (2004) para a cultura do arroz são: N (2,6-4,2%), P (0,25-0,48%), K (1,5-4,0%), Ca (0,25-0,4%), Mg (0,15-0,30%) e S (0,2-0,3%), e para os micronutrientes: Cu (5-20 mg kg⁻¹); Fe (70-300 mg kg⁻¹), Mn (30-600 mg kg⁻¹) e Zn (20-100 mg kg⁻¹). Estes valores indicados pela CQFS (2004) foram obtidos da literatura e, portanto, com grandes variações de local, tipo e manejo do solo, época de coleta das amostras, clima e cultivares, o que justifica a amplitude das faixas apresentadas.

Cabe salientar que têm sido relatadas, na literatura, diferenças entre genótipos de arroz irrigado quanto ao uso eficiente dos nutrientes, sendo K por FURLANI et al. (1986), N por FAGERIA et al. (1995) e P por FURLANI et al. (1983). Consta que isto ocorre devido a diferenças no processo de absorção e utilização de nutrientes e que está relacionado com a mudança nas características morfológicas e fisiológicas das plantas. Com esta, ocorre mudança nos principais mecanismos de absorção e utilização dos nutrientes (FAGERIA et al., 2003). Devido a este fato, para determinados genótipos, poderiam ser encontrados valores mais próximos do teor crítico mínimo ou máximo no tecido da planta, o que indica a necessidade de realizar estudos para se avaliar o comportamento de diferentes genótipos, delimitando-se faixas por grupos de genótipos com características semelhantes e, desta forma, diminuir a amplitude de variação dos teores críticos de nutrientes no tecido foliar das faixas atuais de recomendação.

Para se usar a análise de plantas como critério para identificar o nível de suficiência ou deficiência de N na planta, pode ser necessário obter dados em diferentes estádios de desenvolvimento da planta durante o ciclo da cultura. A análise da planta no estágio vegetativo é mais importante para identificar a deficiência e corrigi-la na mesma safra. Geralmente, na fase reprodutiva, a aplicação de N não proporciona aumento significativo na produtividade de grãos, devido ser o número de panículas, que tem grande influência sobre a produção, ser definido na fase vegetativa (FAGERIA et al., 2003). Dessa forma, avaliações do teor de N no

tecido vegetal durante o ciclo de cultivo, especialmente na fase reprodutiva do arroz, 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 desse nutriente em um determinado estágio de desenvolvimento da planta (ARGENTA et al., 2002).

As dificuldades encontradas na análise de tecido são, principalmente, a demora na obtenção dos resultados, a pouca disponibilidade de laboratórios que realizem este tipo de análise e a falta de valores padrões adequados para o estágio vegetativo que possibilite a correção de N durante o cultivo. Além disso, a CQFS (2004) não fornece a quantidade de N a ser aplicada se os valores encontrados não estiverem dentro das faixas consideradas adequadas para os nutrientes. Isso indica que novos estudos devem ser realizados como objetivo de avaliar os cultivares que estão sendo utilizados atualmente, buscando faixas do teor adequado de nutrientes para o estágio vegetativo que representem o status nutricional da cultura, indicando se ela está com deficiência, suficiência ou até mesmo em excesso de um determinado nutriente, para posteriormente definir uma recomendação de adubação de N em cobertura. Existem outros métodos rápidos e práticos, que podem ser utilizados para avaliar a disponibilidade de N na planta e ajustar a adubação nitrogenada em cobertura, como o clorofilômetro e a cartela de cores. Estes métodos são utilizados em outros países e também para outras culturas, porém ainda não estão calibrados para o uso com os cultivares de arroz em uso no RS e/ou Brasil.

2.2.1.4 Avaliação da disponibilidade de nitrogênio através de testes de campo

A eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado pela cultura do arroz irrigado é relativamente baixa devido às rápidas perdas do N aplicado, por meio de volatilização e desnitrificação em sistemas de solo inundado (PENG et al., 1996). Assim, o monitoramento do teor de N no tecido das plantas de arroz, através do estabelecimento de níveis de suficiência em alguns estágios específicos do desenvolvimento da planta, poderá contribuir para o um manejo mais preciso quanto a quantidade a ser aplicada e o momento de aplicação, aumentando o sincronismo entre a necessidade da cultura e a disponibilidade de N no solo. Economicamente, conhecer a época e a quantidade necessária de fertilizante nitrogenado possibilita

menores perdas e, conseqüentemente, uso mais eficiente do nutriente e maior rendimento da cultura.

A recomendação de dividir a aplicação de N em estádios específicos de crescimento pré-definidos nem sempre proporciona boa associação entre o nutriente aplicado com a demanda da cultura, em função da ampla variação no requerimento de N pelas plantas e no suprimento do nutriente pelo solo (PENG et al. 1996). Assim, sistemas de recomendação mais dinâmicos e flexíveis seriam mais eficientes no manejo do N. Para uma avaliação rápida e precisa do *status* de N na planta, e, conseqüentemente, uma recomendação de adubação em cobertura durante o ciclo de cultivo e na quantidade exigida pela cultura, foram desenvolvidos métodos que estimam, direta ou indiretamente, o teor de N no tecido foliar das plantas. Dentre os métodos que já estão sendo testados e/ou utilizados, dependendo da cultura, destacam-se o medidor portátil de clorofila (clorofilômetro) e a cartela de cores.

Na Austrália, por exemplo, o sistema de recomendação para o manejo do N (RICECHECK, 2006) ressalta que, em função do método de análise do solo para estimar o nível de N antes da semeadura não ser confiável, deve-se levar em consideração para o ajuste fino da adubação nitrogenada fatores como a planta e o clima. Para o fator planta, leva-se em consideração principalmente o grupo varietal, o peso de matéria fresca, o teor de N no tecido das plantas no estágio de iniciação de panícula e o N acumulado no tecido das plantas. Baseado nos valores obtidos o agricultor pode ajustar a dose de fertilizante nitrogenado a aplicar na lavoura.

a) Clorofilômetro

O medidor de clorofila, modelo SPAD-502 desenvolvido pela empresa Minolta no Japão, fornece leituras que correspondem ao teor do pigmento clorofila presente na folha. Os valores são calculados com base na quantidade de luz transmitida pela folha em duas regiões de comprimento de onda (650nm e 940nm), nas quais a absorção pela clorofila é diferente (MINOLTA, 1989). Os comprimentos de onda, escolhidos para medição do teor de clorofila, 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. A luz transmitida, que depende do tom verde da folha, é convertida em sinais elétricos e a razão das intensidades da luz transmitida nas duas regiões de comprimentos de ondas corresponde a um valor

numérico, chamado de leitura SPAD (Soil Plant Analysis Development), que é mostrado num visor (FONTES, 2001). Assim, o clorofilômetro mede um valor correspondente ao teor de clorofila na folha sem destruí-la (ARGENTA et al., 2001).

Pesquisas foram desenvolvidas para demonstrar a existência de correlação entre as leituras do clorofilômetro e o teor de clorofila na folha de cereais (ARGENTA et al., 2001) e entre as leituras do clorofilômetro e o teor de N nas folhas de plantas de diversas culturas, como tomate (GUIMARÃES et al., 1999), pimentão (GODOY et al., 2003), feijão (CARVALHO et al., 2003; DIDONET et al., 2005), algodoeiro herbáceo (NEVES et al., 2005), evidenciando que as leituras realizadas com o clorofilômetro têm potencial para diagnosticar o *status* de N na planta.

Em trabalho que testou características da planta (teor e acúmulo de N, leitura correspondente ao teor de clorofila (clorofilômetro), produção de matéria seca e área foliar) como indicadores do nível de N na planta de milho, ARGENTA et al. (2002) constataram que a leitura do clorofilômetro foi o melhor indicador do nível de N na planta. O clorofilômetro ou método SPAD também foi testado para a cultura do arroz, para avaliação do nível de N na planta e necessidade de aplicação de N em cobertura (TURNER & JUND, 1991; PENG et al., 1993; 1996). PENG et al. (1993) determinaram um valor crítico de 35 unidades SPAD para os estádios de pré-panícula e iniciação da panícula para o cultivar de arroz irrigado IR72. Um valor SPAD crítico é a leitura SPAD para um nível crítico de N na planta, abaixo do qual a cultura não irá atingir seu potencial produtivo.

Similar a outras ferramentas de diagnóstico, as leituras do clorofilômetro são influenciados por algumas condições específicas. MALAVOLTA et al. (1997) fazem algumas considerações quanto às condições de uso do aparelho:

a) a única variável influenciando o teor de clorofila deve ser o teor de N foliar; convém lembrar que quase todas as deficiências, e alguns excessos causam clorose. BALASUBRAMANIAN et al. (1999) fornece o exemplo de que a deficiência de fósforo (P) nas plantas de arroz tende a produzir folhas verde-escuro, que pode dar uma leitura SPAD alta (ex.: 39 para plantas deficientes em P e 35 para plantas normais) e conclui dizendo que o método funciona adequadamente quando outros nutrientes estão adequados no solo e na planta.

b) cultivar, tipo e idade da folha influenciam a tonalidade e, portanto a leitura do clorofilômetro. Como citado anteriormente, há diferença entre os cultivares principalmente quanto à espessura e peso específico da folha. Outros fatores

também podem estar relacionados, como por exemplo, a intensidade e duração do período de senescência que, segundo REED et al. (1980), apresenta grande componente genotípico.

c) a parte da folha introduzida no instrumento pode modificar a leitura. PENG et al. (1993) recomendam que a leitura com o clorofilômetro seja realizada na última folha completamente expandida, com três leituras realizadas em torno do meio da folha, 30 mm de um lado da nervura central. De acordo com FONTES (2001), temperaturas extremas, déficit ou excesso de água e ataque de patógenos são outros fatores que podem influenciar nos valores das leituras do clorofilômetro.

Apesar das potencialidades apresentadas pelos diversos autores, citadas anteriormente, a utilização do teor de clorofila, determinado através do medidor portátil de clorofila, apresenta limitações como parâmetro indicador para o manejo de N em cereais, tais como: pouca amplitude das leituras SPAD; outros fatores podem estar afetando a síntese de clorofila, além da disponibilidade de N no solo; baixa precisão quando os teores de N na planta são altos; pouca precisão para determinar a quantidade a se aplicar de N (ARGENTA et al., 2001). O uso do clorofilômetro para a cultura do arroz irrigado, no Brasil e Rio Grande do Sul ainda é pouco estudado, e não se conhecem valores de leituras de clorofilômetro críticas para a cultura nessas condições.

b) Cartela de cores

O custo relativamente alto do clorofilômetro (\pm US\$ 2,000.00 por unidade) pode limitar sua aceitação pelos agricultores. A cartela de cores (LCC - Leaf Color Chart) é um indicador simples, de fácil uso e barato para avaliar o status de N na planta, portanto pode ser usado para determinar o requerimento específico de N para a cultura do arroz irrigado. A cartela de cores ou LCC consiste de diferentes tonalidades da cor verde, as quais têm relação com o conteúdo de nitrogênio no tecido e tem como objetivo indicar a necessidade de N das culturas. A cor da folha índice (última folha completamente expandida) é medida por comparação da cor da parte do meio da folha com as cores da cartela. Se a cor da folha estiver entre dois valores, a média dos valores é obtida como a leitura da cartela (FAIRHURST & WITT, 2002).

Assim como o clorofilômetro, a tonalidade da cor crítica na cartela de cores

precisa ser determinada para manejar as aplicações de N (SINGH et al., 2002). Estes autores testaram o uso da cartela de cores para cultivares de trigo e de arroz em vários anos de cultivo, utilizando uma cartela desenvolvida pelo International Rice Research Institute (IRRI), que consiste em seis tons de verde. Determinaram, como valores críticos para os experimentos, 4 ou 5 unidades LCC, aplicando 30 kg N ha⁻¹ quando os valores das leituras estivessem abaixo destes e concluíram que a aplicação de N baseada no valor de 4 unidades LCC foi razoavelmente consistente com os valores críticos determinados pelo clorofilômetro. O valor crítico da cartela de cores depende, principalmente, da variedade e do método de estabelecimento da cultura (semeadura direta, transplante, pré-germinado, etc.), enquanto que a quantidade de fertilizante nitrogenado a ser aplicada em cobertura é específica para a estação e depende, principalmente, da expectativa de aumento na produtividade que é influenciada pelo clima (FAIRHURST & WITT, 2002).

Alguns fatores também podem influenciar na avaliação com a cartela de cores, como por exemplo, a deficiência ou toxidez de nutrientes, pragas e doenças. A avaliação visual do verde da folha também é influenciada pela variabilidade da luz do sol (intensidade e ângulo do sol) (MALAVOLTA, et al., 1997).

Este método ainda é pouco estudado e também não existem valores de leituras considerados críticos para as condições do Brasil e RS. Dessa forma, são necessários trabalhos que avaliem a utilização do método para a cultura do arroz irrigado e sua correlação com o teor de N e a produtividade de grãos.

3 ESTUDO 1 - Influência do cultivar, estágio de desenvolvimento e parte da planta nos teores de macronutrientes e sua correlação com produtividade de grãos de arroz.

3.1 Introdução

As condições anaeróbicas ocasionadas pela manutenção da lâmina de água sobre o solo contribuem para que ocorram algumas alterações nas propriedades do solo, durante o cultivo do arroz irrigado. A dificuldade de prever a intensidade com que estas alterações ocorrem e de que forma irão influenciar na produtividade de um determinado cultivar de arroz irrigado, torna a avaliação da disponibilidade de nutrientes através da análise de solo, na maioria das vezes, uma ferramenta imprecisa. Isto significa dizer que a análise do solo não deve ser utilizada como critério único de avaliação da disponibilidade de nutrientes e recomendação da dose de fertilizante a ser utilizado na cultura.

Uma possibilidade de complementar a avaliação da disponibilidade de nutrientes é através da análise do tecido vegetal, monitorando o estado nutricional das plantas (CQFS, 2004). O “Manual de adubação e calagem para os Estados do RS e SC” (CQFS, 2004) indica uma faixa de suficiência para o teor de macro e micronutrientes no tecido de várias culturas, dentre elas a cultura do arroz irrigado. Os valores considerados suficientes às plantas para cada nutriente consideram que a amostragem das plantas deve ser realizada no estágio de florescimento com a coleta de 50 folhas bandeira por amostra. Entretanto, os valores indicados pela CQFS (2004) correspondem a uma faixa relativamente ampla de teores dos nutrientes no tecido das plantas. Esta amplitude de variação dos valores deve atender as características de todos os cultivares de arroz irrigado disponíveis para cultivo. Em estudos com os nutrientes N (FAGERIA, et al., 1995), K (FURLANI et al., 1986;) e P (FURLANI et al., 1983) demonstrou-se que o uso eficiente de nutrientes pode ser diferente entre os cultivares de arroz. Assim, existe a necessidade de que novos estudos sejam realizados com o objetivo de verificar se existem diferenças para os cultivares de arroz irrigado disponíveis atualmente, nos valores dos teores de nutrientes no tecido.

Outro aspecto a ser considerado é que, no estágio de florescimento, a análise

de tecido pode ser utilizada apenas como uma ferramenta para monitorar se a cultura estava ou não com teores adequados, pois neste momento de cultivo já não há mais possibilidade de realizar uma correção da adubação. Assim, a análise neste estágio somente seria uma avaliação complementar para um próximo cultivo. Além disso, não há referências sobre os valores adequados de teores de N na fase vegetativa, quando ainda é possível ajustar a adubação nitrogenada em cobertura, durante o ciclo vigente, considerando que a folha bandeira ainda não foi emitida. Dessa forma, é necessário avaliar a influência da parte da planta coletada e da época em que foi realizada a amostragem ao longo do desenvolvimento da cultura do arroz irrigado, especialmente durante a fase vegetativa.

Os teores encontrados na análise de tecido precisam também estar correlacionados com os valores de produtividade de grãos da cultura, ou seja, a interpretação dos valores do teor dos nutrientes em qualquer fase ou parte da planta só é válida se para aquela (s) fase (s) o maior ou menor teor de nutrientes encontrados em uma planta estiverem correlacionados com uma maior ou menor produtividade de grãos, respectivamente.

Os objetivos deste estudo foram de verificar se há diferença entre os cultivares de arroz irrigado nos teores de macronutrientes encontrados no tecido foliar em função da parte da planta coletada para avaliação e da época de amostragem ao longo do ciclo da cultura e, se os valores encontrados têm correlação com a produtividade de grãos.

3.2 Material e métodos

3.2.1. Instalação e condução do experimento a campo

O experimento foi instalado na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), município de Santa Maria - RS, no período de novembro de 2005 a abril de 2006 (Anexo A). O clima da região fisiográfica da Depressão Central do Rio Grande do Sul enquadra-se na classe "Cfa", subtropical úmido, de acordo com a classificação climática de Köppen (MORENO, 1961). O solo do local de instalação do experimento é classificado como Planossolo Háplico eutrófico arênico (EMBRAPA, 2006), sendo sua análise química

realizada no Laboratório de Análise de Solos do Departamento de Solos da UFSM, a qual se encontra na tabela 1.

Os tratamentos utilizados neste experimento foram seis cultivares de arroz irrigado: BR-IRGA 409, BR-IRGA 410, IRGA 417, IRGA 421, EPAGRI 108 e HÍBRIDO 2 (IRGA). Esses materiais foram selecionados em função das diferenças de ciclo, super-precoce (IRGA 421, ciclo= 100 dias), médio (BR-IRGA 409, ciclo= 126 dias; BR-IRGA 410, ciclo= 123 dias; IRGA 417, ciclo= 115 dias) e longo (EPAGRI 108, ciclo=142 dias). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições.

O preparo do solo da área experimental foi realizado através de aração e gradagens, com posterior nivelamento da área. A semeadura dos cultivares de arroz irrigado foi realizada no dia 13 de novembro de 2005, com espaçamento entre linhas de 0,17m e densidade de sementes de 150 kg ha⁻¹, com exceção para o Híbrido 2 com densidade de 50 kg ha⁻¹. Cada parcela possuía uma área de 25m² (5m x 5m), totalizando 24 parcelas e uma área total de 600m².

O controle de plantas daninhas foi realizado no dia 02 de dezembro de 2005, um dia antes do alagamento da área, utilizando-se Nominee® (bispyribacsodium) 130 mL ha⁻¹. No dia seguinte, iniciou-se o alagamento da área, mantendo-se uma lâmina de água com aproximadamente 10 cm de altura, até próximo a data da colheita de grãos de arroz.

TABELA 1 - Características químicas do solo na profundidade de 0 - 20 cm antes da instalação do experimento. Área Experimental do Departamento de Fitotecnia. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS.

| pH água 1:1 | Índice SMP | M.O. | P* | K* | Al** | Ca** | Mg** |
|-------------|------------|-------------------------|---------------------------------|-------|---|------|------|
| | | ..g kg ⁻¹ .. | mg dm ⁻³ | |cmol _c dm ⁻³ | | |
| 4,9 | 5,6 | 19 | 7,6 | 68 | 0,7 | 7,5 | 2,3 |

Baseado em CQFS (2004) os teores de P, K, Ca e Mg são: alto, médio, alto e alto, respectivamente.

* extraído com solução Mehlich-1

** extraído com KCl 1 mol L⁻¹

A adubação da área foi realizada aplicando-se, na semeadura, 250 kg da fórmula 5-20-30 de N-P₂O₅-K₂O e a aplicação de 110 kg ha⁻¹ de N em cobertura dividido em duas épocas: 1ª aplicação - estádio vegetativo V4-V5 - foram aplicados 60 kg ha⁻¹ de N (um dia antes da entrada d'água na área) e a 2ª aplicação - início da diferenciação do primórdio floral - R0, onde foram aplicados 50 kg ha⁻¹ de N,

utilizando uréia como fonte do nutriente. A definição dos estádios seguiu a escala de COUNCE et al. (2000).

3.2.2 Avaliações e determinações realizadas

Durante o ciclo dos cultivares de arroz irrigado foram realizadas cinco avaliações: 1ª avaliação - aos 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura; 2ª avaliação - aos 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura; 3ª avaliação - no início da diferenciação do primórdio floral; 4ª avaliação - aos 15 dias após a diferenciação do primórdio floral e a 5ª avaliação - no florescimento (30-50% das panículas florescidas). A partir da 3ª avaliação, as determinações seguiram o estágio fenológico da planta para cada cultivar, em função dos cultivares possuírem ciclos diferentes. Em cada avaliação, foram realizadas as seguintes determinações: a) produção de matéria seca, através da coleta de um metro linear de parte aérea das plantas de arroz, as quais foram secas em estufa a 65°C até massa constante; b) determinação dos teores de N, P, K, Ca e Mg em laboratório através da análise química do tecido das plantas de arroz, sendo utilizadas nesta determinação: i) toda parte aérea das plantas - em todas as avaliações; ii) última folha completamente expandida (Anexo B), na 2ª, 3ª, 4ª e 5ª avaliações; iii) penúltima folha completamente expandida e iv) folha "Y" (junção da última e penúltima folha completamente expandida, 50 folhas por parcela) ambas na 2ª, 3ª e 4ª avaliações.

Para a avaliação dos teores dos nutrientes no tecido das plantas de arroz, a parte aérea e/ou folhas das plantas de arroz foram secas em estufa a 65°C, moídas e armazenadas em recipientes fechados. Para a extração e determinação dos macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg), seguiu-se a metodologia de digestão ácida, descrita por TEDESCO et al. (1995), exceto para o P, onde a determinação seguiu a metodologia descrita por MURPHY & RILLEY (1962).

3.2.3 Análise estatística

Os resultados foram analisados através da análise de variância utilizando o software estatístico SOC NTIA/EMBRAPA (EMBRAPA, 1997) e quando significativos, os efeitos de tratamento foram comparados pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro. As análises de correlação simples (Pearson)

foram realizadas pelo mesmo programa, também em nível de 5% de probabilidade de erro.

3.3 Resultados e discussão

O teor de N variou entre os cultivares de arroz e entre as épocas de avaliação para cada cultivar, nas diferentes partes da planta (Tabela 2). Quando se utilizou a planta inteira para determinação do teor de N, as diferenças entre os cultivares ocorreram apenas na avaliação realizada no estágio de florescimento. Porém, de maneira geral, os valores do teor de N na planta inteira foram reduzindo para todos os cultivares a medida que avançou a realização da avaliação. FAGERIA et al. (2003), em trabalho realizado na Embrapa Arroz e Feijão com o cultivar de arroz irrigado Mética 1, também observaram que com o avanço da idade da planta o teor de N diminuía na parte aérea. Ou seja, quando se utiliza a planta inteira para avaliação do teor de N deve-se levar em consideração a época em que foi realizada a avaliação, pois as diferenças são significativas ao longo do ciclo. Contudo, quando foram utilizadas somente algumas folhas (última, penúltima e Y) das plantas para determinação do teor de N, foi possível detectar diferenças significativas entre os cultivares a partir de 30DAAN e, de maneira geral, menor interferência das épocas de avaliação quando comparado com a utilização da planta inteira. Esse comportamento poderia ser interpretado como uma manutenção dos teores de N nas folhas mais jovens ao longo do ciclo, já que as três partes utilizadas estão localizadas muito próximas na planta e possuem pouca diferença de idade entre si.

De modo geral, os maiores valores de N no tecido foram obtidos com a amostragem da última folha, depois com a penúltima folha e folha Y e os menores valores para a coleta da planta inteira. Isso porque na determinação do teor de N na planta inteira são incluídos colmos e algumas folhas em senescência que podem ter diluído o teor de N total da planta. Isto quer dizer que, dependendo da parte da planta avaliada e das épocas de amostragem, a interpretação dos teores obtidos pela análise de tecido deve ser diferente.

O P, como no caso do N, é também um elemento móvel na planta, e sua deficiência aparece primeiramente nas folhas mais velhas. Porém a deficiência de P na cultura do arroz aparece na fase inicial do crescimento, se o solo estiver deficiente neste nutriente (FAGERIA et al., 2003). Em comparação ao teor de N,

TABELA 2 - Teor de N na planta inteira, última folha completamente expandida, penúltima folha completamente expandida e folha Y, para cultivares de arroz irrigado nas épocas de avaliação. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS.

| Cultivar | Épocas de avaliação | | | | |
|---|---------------------|-----------|------------|-----------|----------|
| | 15 DAAN | 30 DAAN | DPF | 15 DPF | FLORESC. |
| teor de N (%) - planta inteira | | | | | |
| BR-IRGA 409 | 2,49 a A | 2,03 a AB | 1,78 a B | 1,76 a B | 1,28 b C |
| BR-IRGA 410 | 2,82 a A | 1,80 a B | 1,67 a BC | 1,76 a B | 1,15 b C |
| IRGA 417 | 2,58 a A | 2,00 a AB | 1,95 a AB | 1,72 a BC | 1,05 b C |
| IRGA 421 | 2,56 a A | n. d. | 1,74 a B | n. d. | 1,88 a C |
| EPAGRI 108 | 2,79 a A | 1,87 a AB | 1,53 a B | 1,61 a B | 0,95 b B |
| HÍBRIDO 2 | 2,96 a A | 2,43 a B | 2,08 a BC | 1,90 a C | 1,00 b D |
| teor de N (%) - última folha | | | | | |
| BR-IRGA 409 | n. d. | 3,82 a A | 2,81 bc A | 2,94 ab A | 3,18 a A |
| BR-IRGA 410 | n. d. | 3,28 a A | 2,77 bc A | 3,17 a A | 3,14 a A |
| IRGA 417 | n. d. | 3,56 a A | 3,30 ab A | 3,21 a A | 3,34 a A |
| IRGA 421 | n. d. | n. d. | 3,61 a A | n. d. | 3,67 a A |
| EPAGRI 108 | n. d. | 3,19 a A | 2,24 c BC | 2,60 b B | 1,93 b C |
| HÍBRIDO 2 | n. d. | 3,90 a A | 3,63 a A | 3,08 a B | 3,15 a B |
| teor de N (%) - penúltima folha | | | | | |
| BR-IRGA 409 | n. d. | 3,36 ab A | 2,55 bc B | 2,76 a AB | n. d. |
| BR-IRGA 410 | n. d. | 3,12 b A | 2,51 bc A | 2,81 a A | n. d. |
| IRGA 417 | n. d. | 3,40 ab A | 2,78 bc A | 2,66 a A | n. d. |
| IRGA 421 | n. d. | n. d. | 3,76 a | n. d. | n. d. |
| EPAGRI 108 | n. d. | 2,73 b A | 2,30 c A | 2,78 a A | n. d. |
| HÍBRIDO 2 | n. d. | 4,12 a A | 3,28 ab B | 2,99 a B | n. d. |
| teor de N (%) - folha Y | | | | | |
| BR-IRGA 409 | n. d. | 3,64 ab A | 2,58 bc B | 2,73 a B | n. d. |
| BR-IRGA 410 | n. d. | 3,22 bc A | 2,67 bc A | 2,99 a A | n. d. |
| IRGA 417 | n. d. | 3,50 b A | 3,10 ab AB | 2,95 a B | n. d. |
| IRGA 421 | n. d. | n. d. | 3,67 a | n. d. | n. d. |
| EPAGRI 108 | n. d. | 3,01 c A | 2,27 c B | 2,69 a AB | n. d. |
| HÍBRIDO 2 | n. d. | 3,98 a A | 3,50 a B | 3,04 a C | n. d. |

15DAAN= 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura; 30DAAN= 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura; DPF= diferenciação do primórdio floral; 15DPF= 15 dias após a diferenciação do primórdio floral; FLORESC.= florescimento; n. d.= não determinado.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula dentro da linha, não são significativamente diferentes pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna, não são significativamente diferentes pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

houve pouca variação entre os cultivares e entre as épocas de avaliação para o teor de P no tecido (Tabela 3). O 'HÍBRIDO 2' destaca-se porque demonstrou as maiores diferenças nos teores de P encontrados ao longo do ciclo. Quando utilizada a planta inteira, os cultivares aumentaram significativamente o teor de P até a avaliação 4ª avaliação (15DPF) e diminuíram no florescimento. FAGUERIA et al. (2003),

utilizando o cultivar de arroz irrigado JAVAÉ, encontraram diminuição nos teores de P ao longo do ciclo, também para planta inteira. Porém, esses autores obtiveram valores de teor de P nas plantas um pouco superiores quando comparados com os obtidos neste experimento, para as fases de DPF e florescimento (0,26% e 0,23%, respectivamente).

TABELA 3 - Teor de P na planta inteira, última folha completamente expandida, penúltima folha completamente expandida e folha Y, para cultivares de arroz irrigado nas épocas de avaliação. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS.

| Cultivar | Épocas de avaliação | | | | |
|---|---------------------|-----------|-----------|----------|-----------|
| | 15 DAAN | 30 DAAN | DPF | 15 DPF | FLORESC. |
| teor de P (%) - planta inteira | | | | | |
| BR-IRGA 409 | 0,17 ab B | 0,20 a AB | 0,23 a AB | 0,24 a A | 0,19 a AB |
| BR-IRGA 410 | 0,17 ab B | 0,18 a B | 0,20 a AB | 0,26 a A | 0,21 a AB |
| IRGA 417 | 0,18 a A | 0,21 a A | 0,21 a A | 0,24 a A | 0,24 a A |
| IRGA 421 | 0,15 b B | n. d. | 0,21 a A | n. d. | 0,19 a AB |
| EPAGRI 108 | 0,18 a B | 0,20 a AB | 0,22 a AB | 0,25 a A | 0,18 a B |
| HÍBRIDO 2 | 0,15 b D | 0,19 a BC | 0,21 a AB | 0,26 a A | 0,17 a CD |
| teor de P (%) - última folha | | | | | |
| BR-IRGA 409 | n. d. | 0,17 a A | 0,16 a A | 0,20 a A | 0,15 ab A |
| BR-IRGA 410 | n. d. | 0,16 a A | 0,16 a A | 0,20 a B | 0,14 b A |
| IRGA 417 | n. d. | 0,17 a A | 0,17 a A | 0,22 a A | 0,16 ab A |
| IRGA 421 | n. d. | n. d. | 0,18 a A | n. d. | 0,17 a A |
| EPAGRI 108 | n. d. | 0,20 a A | 0,22 a A | 0,16 a A | 0,17 a A |
| HÍBRIDO 2 | n. d. | 0,17 a AB | 0,17 a AB | 0,21 a A | 0,16 ab B |
| teor de P (%) - penúltima folha | | | | | |
| BR-IRGA 409 | n. d. | 0,21 ab A | 0,20 a A | 0,22 a A | n. d. |
| BR-IRGA 410 | n. d. | 0,17 b A | 0,21 a A | 0,22 a A | n. d. |
| IRGA 417 | n. d. | 0,18 b A | 0,24 a A | 0,21 a A | n. d. |
| IRGA 421 | n. d. | n. d. | 0,20 a | n. d. | n. d. |
| EPAGRI 108 | n. d. | 0,27 a A | 0,21 a AB | 0,16 a B | n. d. |
| HÍBRIDO 2 | n. d. | 0,18 b A | 0,24 a A | 0,25 a A | n. d. |
| teor de P (%) - folha Y | | | | | |
| BR-IRGA 409 | n. d. | 0,19 ab A | 0,18 a A | 0,21 a A | n. d. |
| BR-IRGA 410 | n. d. | 0,16 b A | 0,18 a A | 0,21 a A | n. d. |
| IRGA 417 | n. d. | 0,17 b A | 0,20 a A | 0,21 a A | n. d. |
| IRGA 421 | n. d. | n. d. | 0,19 a | n. d. | n. d. |
| EPAGRI 108 | n. d. | 0,23 a A | 0,21 a A | 0,16 a B | n. d. |
| HÍBRIDO 2 | n. d. | 0,17 b B | 0,20 a AB | 0,23 a A | n. d. |

15DAAN= 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura; 30DAAN= 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura; DPF= diferenciação do primórdio floral; 15DPF= 15 dias após a diferenciação do primórdio floral; FLORESC.= florescimento; n. d.= não determinado.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula dentro da linha, não são significativamente diferentes pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna, não são significativamente diferentes pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

De maneira geral, os teores de P foram muito semelhantes, independente do cultivar, época de avaliação ou parte da planta avaliada. Em termos de interpretação prática destes resultados, isto poderia indicar que, para o teor de P, uma mesma faixa de valores poderia ser considerada adequada para diferentes cultivares independente da época de avaliação ou parte da planta avaliada.

Também houve diferença significativa entre os cultivares e/ou entre as épocas de avaliação para o teor de K, mas com comportamento diferente conforme a parte da planta analisada (Tabela 4). Considerando a planta inteira, não houve diferença significativa entre cultivares em nenhuma época de avaliação. Da mesma forma, à exceção de 'BR-IRGA 409' e 'BR-IRGA 410', não houve interferência da época de avaliação sobre o teor de K. FAGERIA et al. (2003) comentam que a eficiência de translocação do K para os grãos é muito menor do que a do N e P, para a cultura do arroz, tendo em vista que a maior parte do nutriente absorvido fica na palha de arroz (FAGERIA et al., 1990 *apud* FAGERIA et al., 2003).

Para as avaliações realizadas nas folhas, os cultivares apresentaram diferenças entre si em algumas épocas de avaliação. Entretanto, à semelhança do P (Tabela 3) os valores do teor de K nas folhas foram similares aos obtidos com a planta inteira, com uma tendência de pequena diminuição dos valores à medida que avança o ciclo (Tabela 4), o que pode significar que, bem como para o P, para o K poderiam ser estipuladas faixas do teor adequado independente da época de avaliação, parte avaliada ou do cultivar.

O teor de Ca nas plantas de arroz também diferiu significativamente entre os cultivares e entre as épocas avaliadas para cada cultivar, em função da parte da planta coletada (Tabela 5). Quando avaliada a planta inteira, as diferenças entre cultivares ficaram evidentes em 30DAAN e DPF, enquanto que não foram significativas as diferenças encontradas nas demais avaliações. Nas folhas, as diferenças entre cultivares ocorreram nas avaliações a partir da DPF, exceto para a penúltima folha aos 15DPF.

É interessante destacar que, de maneira geral, o teor de Ca na planta inteira diminuiu significativamente da 1ª até a 5ª avaliação e na última folha aumentaram significativamente da 1ª até a 5ª avaliação para todos os cultivares. O fato do teor de Ca ter aumentado na última folha ao longo do ciclo pode estar relacionado a uma boa disponibilidade de Ca durante o ciclo e à sua utilização pela planta, já que o Ca é um elemento imóvel dentro da planta e seus sintomas de deficiência são

observados principalmente em folhas e órgãos mais novos (MALAVOLTA et al., 1997). Para a interpretação dos valores de Ca, o estabelecimento de faixas adequadas deve obrigatoriamente levar em consideração a época de avaliação e a parte da planta avaliada.

TABELA 4 - Teor de K na planta inteira, última folha completamente expandida, penúltima folha completamente expandida e folha Y, para cultivares de arroz irrigado nas épocas de avaliação. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS.

| Cultivar | Épocas de avaliação | | | | |
|---|---------------------|-----------|-----------|------------|-----------|
| | 15 DAAN | 30 DAAN | DPF | 15 DPF | FLORESC. |
| teor de K (%) - planta inteira | | | | | |
| BR-IRGA 409 | 1,84 a A | 1,91 a A | 1,96 a A | 1,86 a A | 1,08 a B |
| BR-IRGA 410 | 1,96 a A | 1,53 a BC | 1,82 a AB | 1,72 a ABC | 1,40 a C |
| IRGA 417 | 1,93 a A | 1,98 a A | 1,88 a A | 1,80 a A | 1,69 a A |
| IRGA 421 | 1,86 a A | n. d. | 1,89 a A | n. d. | 1,61 a A |
| EPAGRI 108 | 1,97 a A | 1,64 a A | 1,69 a A | 1,28 a A | 1,49 a A |
| HÍBRIDO 2 | 1,72 a A | 1,89 a A | 1,88 a A | 1,59 a A | 1,15 a A |
| teor de K (%) - última folha | | | | | |
| BR-IRGA 409 | n. d. | 1,68 b A | 1,77 a A | 1,85 a A | 1,33 ab A |
| BR-IRGA 410 | n. d. | 2,20 A A | 1,93 a A | 1,47 a B | 1,24 ab B |
| IRGA 417 | n. d. | 1,97 ab A | 1,90 a A | 1,76 a A | 1,31 ab B |
| IRGA 421 | n. d. | n. d. | 1,70 a A | n. d. | 1,45 a A |
| EPAGRI 108 | n. d. | 1,97 ab A | 1,87 a AB | 1,60 a B | 1,19 b C |
| HÍBRIDO 2 | n. d. | 1,96 ab A | 1,92 a A | 1,51 a B | 1,40 ab B |
| teor de K (%) - penúltima folha | | | | | |
| BR-IRGA 409 | n. d. | 1,71 a A | 1,96 ab A | 1,41 a A | n. d. |
| BR-IRGA 410 | n. d. | 1,95 a AB | 2,33 ab A | 1,76 a B | n. d. |
| IRGA 417 | n. d. | 1,90 a AB | 2,30 ab A | 1,74 a B | n. d. |
| IRGA 421 | n. d. | n. d. | 1,72 b | n. d. | n. d. |
| EPAGRI 108 | n. d. | 2,40 a A | 1,63 b AB | 1,44 a B | n. d. |
| HÍBRIDO 2 | n. d. | 1,78 a B | 2,47 a A | 1,58 a B | n. d. |
| teor de K (%) - folha Y | | | | | |
| BR-IRGA 409 | n. d. | 1,69 b A | 1,85 a A | 1,66 a A | n. d. |
| BR-IRGA 410 | n. d. | 2,11 a A | 2,08 a A | 1,61 a B | n. d. |
| IRGA 417 | n. d. | 1,95 ab A | 2,06 a A | 1,75 a A | n. d. |
| IRGA 421 | n. d. | n. d. | 1,71 a | n. d. | n. d. |
| EPAGRI 108 | n. d. | 2,14 a A | 1,76 a AB | 1,52 a B | n. d. |
| HÍBRIDO 2 | n. d. | 1,89 ab B | 2,13 a A | 1,52 a C | n. d. |

15DAAN= 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura; 30DAAN= 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura; DPF= diferenciação do primórdio floral; 15DPF= 15 dias após a diferenciação do primórdio floral; FLORESC.= florescimento; n. d.= não determinado.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula dentro da linha, não são significativamente diferentes pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna, não são significativamente diferentes pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

TABELA 5 - Teor de Ca na planta inteira, última folha completamente expandida, penúltima folha completamente expandida e folha Y, para cultivares de arroz irrigado nas épocas de avaliação. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS.

| Cultivar | Épocas de avaliação | | | | |
|--|---------------------|------------|------------|------------|-----------|
| | 15 DAAN | 30 DAAN | DPF | 15 DPF | FLORESC. |
| teor de Ca (%) - planta inteira | | | | | |
| BR-IRGA 409 | 0,82 a A | 0,56 ab B | 0,35 bc BC | 0,47 a B | 0,29 a C |
| BR-IRGA 410 | 0,75 a A | 0,69 a B | 0,16 cd D | 0,32 a C | 0,29 a D |
| IRGA 417 | 0,80 a A | 0,56 ab AB | 0,41 b AB | 0,55 a AB | 0,38 a B |
| IRGA 421 | 0,76 a A | n. d | 0,70 a A | n. d. | 0,32 a B |
| EPAGRI 108 | 0,78 a A | 0,67 a B | 0,42 b B | 0,28 a BC | 0,51 a C |
| HÍBRIDO 2 | 0,86 a A | 0,57 ab B | 0,15 d C | 0,33 a BC | 0,26 a C |
| teor de Ca (%) - última folha | | | | | |
| BR-IRGA 409 | n. d. | 0,31 a B | 0,30 b B | 0,40 ab AB | 0,91 a A |
| BR-IRGA 410 | n. d. | 0,43 a AB | 0,30 b B | 0,43 ab AB | 0,62 ab A |
| IRGA 417 | n. d. | 0,39 a B | 0,31 b B | 0,37 b B | 0,70 ab A |
| IRGA 421 | n. d. | n. d. | 0,58 a A | n. d. | 0,43 b A |
| EPAGRI 108 | n. d. | 0,33 a C | 0,51 a B | 0,57 a AB | 0,69 ab A |
| HÍBRIDO 2 | n. d. | 0,33 a B | 0,32 b B | 0,34 b B | 0,74 ab A |
| teor de Ca (%) - penúltima folha | | | | | |
| BR-IRGA 409 | n. d. | 0,65 a A | 0,57 b A | 0,65 a A | n. d. |
| BR-IRGA 410 | n. d. | 0,65 a A | 0,57 b Ab | 0,39 a B | n. d. |
| IRGA 417 | n. d. | 0,44 a A | 0,55 b A | 0,38 a A | n. d. |
| IRGA 421 | n. d. | n. d. | 0,87 a | n. d. | n. d. |
| EPAGRI 108 | n. d. | 0,45 a A | 0,60 ab A | 0,60 a A | n. d. |
| HÍBRIDO 2 | n. d. | 0,47 a A | 0,54 b A | 0,46 a A | n. d. |
| teor de Ca (%) – folha Y | | | | | |
| BR-IRGA 409 | n. d. | 0,44 a A | 0,41 bc A | 0,51 ab A | n. d. |
| BR-IRGA 410 | n. d. | 0,51 a A | 0,40 c B | 0,41 ab B | n. d. |
| IRGA 417 | n. d. | 0,41 a A | 0,40 c A | 0,38 b A | n. d. |
| IRGA 421 | n. d. | n. d. | 0,69 a | n. d. | n. d. |
| EPAGRI 108 | n. d. | 0,38 a B | 0,55 ab A | 0,58 a A | n. d. |
| HÍBRIDO 2 | n. d. | 0,38 a A | 0,40 c A | 0,39 b A | n. d. |

15DAAN= 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura; 30DAAN= 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura; DPF= diferenciação do primórdio floral; 15DPF= 15 dias após a diferenciação do primórdio floral; FLORESC.= florescimento; n. d.= não determinado.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula dentro da linha, não são significativamente diferentes pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna, não são significativamente diferentes pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

Os teores de Mg também diferiram entre os cultivares e entre as épocas de avaliação de cada cultivar (Tabela 6). De forma semelhante ao Ca, também houve diminuição significativa nos teores de Mg na planta inteira com a progressão do ciclo e aumento significativo nos teores para a última folha, porém com menor amplitude e somente para alguns cultivares. A determinação do teor de Mg realizada na penúltima folha não diagnosticou diferença significativa entre os cultivares em todas

as épocas e para cada cultivar ao longo do ciclo, exceto na DPF, em que o 'IRGA 421' se diferenciou significativamente dos demais. Isto poderia indicar que a penúltima folha não é a parte da planta mais recomendada para se fazer a determinação de Mg.

TABELA 6 - Teor de Mg na planta inteira, última folha completamente expandida, penúltima folha completamente expandida e folha Y, para cultivares de arroz irrigado nas épocas de avaliação. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS.

| Cultivar | Épocas de avaliação | | | | |
|--|---------------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | 15 DAAN | 30 DAAN | DPF | 15 DPF | FLORESC. |
| teor de Mg (%) - planta inteira | | | | | |
| BR-IRGA 409 | 0,34 a A | 0,31 b AB | 0,17 c B | 0,25 a AB | 0,17 b B |
| BR-IRGA 410 | 0,29 bc B | 0,35 b A | 0,33 a A | 0,19 a C | 0,17 b C |
| IRGA 417 | 0,33 ab A | 0,29 b A | 0,15 c A | 0,31 a A | 0,20 b A |
| IRGA 421 | 0,31 abc A | n. d. | 0,35 a A | n. d. | 0,17 b B |
| EPAGRI 108 | 0,31 abc B | 0,35 a A | 0,23 bc B | 0,20 a B | 0,31 a B |
| HÍBRIDO 2 | 0,28 c AB | 0,29 b A | 0,30 ab A | 0,21 a AB | 0,17 b B |
| teor de Mg (%) - última folha | | | | | |
| BR-IRGA 409 | n. d. | 0,18 a A | 0,15 bc B | 0,22 ab A | 0,23 ab A |
| BR-IRGA 410 | n. d. | 0,15 a A | 0,14 c A | 0,15 c A | 0,17 bc A |
| IRGA 417 | n. d. | 0,16 a A | 0,13 c A | 0,19 bc A | 0,20 abc A |
| IRGA 421 | n. d. | n. d. | 0,31 a A | n. d. | 0,13 c B |
| EPAGRI 108 | n. d. | 0,17 a B | 0,19 b B | 0,27 a A | 0,25 a A |
| HÍBRIDO 2 | n. d. | 0,15 a B | 0,15 bc B | 0,18 bc B | 0,24 ab A |
| teor de Mg (%) - penúltima folha | | | | | |
| BR-IRGA 409 | n. d. | 0,23 a A | 0,21 b A | 0,25 a A | n. d. |
| BR-IRGA 410 | n. d. | 0,23 a A | 0,18 b A | 0,15 a A | n. d. |
| IRGA 417 | n. d. | 0,17 a A | 0,18 b A | 0,18 a A | n. d. |
| IRGA 421 | n. d. | n. d. | 0,37 a | n. d. | n. d. |
| EPAGRI 108 | n. d. | 0,23 a A | 0,22 b A | 0,21 a A | n. d. |
| HÍBRIDO 2 | n. d. | 0,21 a A | 0,18 b A | 0,16 a A | n. d. |
| teor de Mg (%) - folha Y | | | | | |
| BR-IRGA 409 | n. d. | 0,20 a A | 0,17 b A | 0,23 ab A | n. d. |
| BR-IRGA 410 | n. d. | 0,18 a A | 0,15 b A | 0,15 b A | n. d. |
| IRGA 417 | n. d. | 0,16 a A | 0,15 b A | 0,19 ab A | n. d. |
| IRGA 421 | n. d. | n. d. | 0,33 a | n. d. | n. d. |
| EPAGRI 108 | n. d. | 0,19 a A | 0,20 b A | 0,24 a A | n. d. |
| HÍBRIDO 2 | n. d. | 0,18 a A | 0,16 b A | 0,17 ab A | n. d. |

15DAAN= 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura; 30DAAN= 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura; DPF= diferenciação do primórdio floral; 15DPF= 15 dias após a diferenciação do primórdio floral; FLORESC.= florescimento; n. d.= não determinado.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula dentro da linha, não são significativamente diferentes pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna, não são significativamente diferentes pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

De modo geral, para os teores obtidos na planta inteira ocorreu uma diminuição ao longo do ciclo para quase todos os nutrientes, o que pode estar relacionado com o aumento da matéria seca da parte aérea com a idade da planta, conhecido como efeito de diluição (MALAVOLTA et al., 1997). Os dados fornecidos pela CQFS (2004) não consideram a produção de matéria seca da parte aérea das plantas e/ou o acúmulo de nutrientes na planta, somente o teor de macro e micronutrientes absoluto. Assim, considerando-se que a disponibilidade de nutrientes influencia o crescimento e o desenvolvimento das plantas, uma lavoura com baixa disponibilidade de nutrientes, conseqüentemente apresentará baixa produção de matéria seca e menor efeito de diluição. Assim, os teores de nutrientes poderão apresentar-se iguais ou até maiores que em uma lavoura com alta disponibilidade de nutrientes, alta produção de matéria seca e grande efeito de diluição dos nutrientes. Certamente, a produtividade de grãos destas duas condições de lavoura, será diferente mesmo que ambas estejam com valores de nutrientes dentro das faixas estabelecidas como adequadas. Isto poderia ser interpretado de forma que o teor de nutrientes no tecido das plantas de arroz, por si só, pode não ser suficiente para predizer se as plantas da lavoura apresentam um adequado estado nutricional.

Um exemplo foi o cultivar EPAGRI 108, que apresentou alta produção de matéria seca a partir da DPF em diante (Tabela 7) e, juntamente com o cultivar IRGA 417, a maior produtividade de grãos (Tabela 9), embora este cultivar tenha apresentado os menores teores de N na planta inteira, da DPF em diante, e na última folha ao longo do ciclo (Tabela 2), inclusive ficando abaixo do nível de suficiência do teor de N preconizado pela CQFS (2004) para a folha bandeira (última folha expandida) no estágio de florescimento.

Os teores de macronutrientes, obtidos para os cultivares deste estudo, utilizando-se a última folha no estágio de florescimento, que corresponde a folha bandeira, podem ser comparados com o nível de suficiência de macronutrientes no tecido das plantas de arroz preconizado pela CQFS (2004). Os cultivares encontram-se dentro da faixa de suficiência para o teor de N (%), com exceção do cultivar EPAGRI 108, que ficou abaixo do limite mínimo de 2%. Para os teores de P e K, todos os cultivares apresentaram valores abaixo do limite mínimo preconizado em 0,25% e 1,5%, respectivamente. Para os teores de Ca todos os cultivares apresentaram valores acima do limite máximo (0,40%), estando os teores de Mg

TABELA 7 - Produção de matéria seca de seis cultivares de arroz irrigado em cinco épocas. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS.

| Cultivares | Épocas de avaliação | | | | |
|-------------|---------------------------------|---------|----------|---------|----------|
| | 15DAAN | 30DAAN | DPF | 15DPF | FLORESC. |
| | kg ha ⁻¹ | | | | |
| BR-IRGA 409 | 426 c | 2.632 a | 3.676 bc | 6.912 a | 10.735 a |
| BR-IRGA 410 | 725 ab | 3.235 a | 3.765 bc | 7.412 a | 12.985 a |
| IRGA 417 | 842 a | 3.255 a | 4.397 b | 6.985 a | 11.915 a |
| IRGA 421 | 546 bc | n. d. | 2.485 c | n. d. | 6.735 a |
| EPAGRI 108 | 465 bc | 2.725 a | 6.897 a | 9.338 a | 10.874 a |
| HÍBRIDO 2 | 426 c | 2.505 a | 3.176 bc | 8.074 a | 13.250 a |

15DAAN= 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura; 30DAAN= 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura; DPF= diferenciação do primórdio floral; 15DPF= 15 dias após a diferenciação do primórdio floral; FLORESC.= florescimento; n. d.= não determinado.

Médias seguidas pela mesma letra dentro da coluna, não são significativamente diferentes pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

obtidos também dentro da faixa de suficiência, exceto para o cultivar IRGA 421 que ficou abaixo do limite mínimo da faixa de suficiência de 0,15%.

Neste experimento, não houve diferença significativa para a produção de matéria seca (Tabela 7) na maioria das épocas avaliadas entre os cultivares testados. O acúmulo de nutrientes também não apresentou diferença significativa para a maioria das épocas avaliadas, à exceção da 1ª época, que apresentou as maiores diferenças entre os cultivares (Tabela 8). A ausência de diferença significativa pode ser atribuída ao coeficiente de variação, para avaliação da matéria seca, que esteve entre médio e alto (STORCK et al., 2006), variando de 14,12 a 25,92, para todas as avaliações (Anexo C). Estes valores elevados para o coeficiente de variação fizeram com que o efeito dos tratamentos não fosse avaliado com boa sensibilidade pela análise estatística, apesar da amplitude dos valores encontrados no experimento.

Embora as diferenças entre os cultivares para o teor de nutrientes no tecido não tenham sido significativas para todas as épocas de avaliação e partes da planta, a produtividade de grãos (Tabela 9) apresentou diferenças significativas entre os cultivares. As diferenças na produtividade são explicadas pelo fator genético ou potencial produtivo de cada cultivar já que os outros fatores (nutricional, ambiental e de manejo) foram iguais para todos os cultivares utilizados.

TABELA 8 - Nutrientes acumulados na matéria seca da parte aérea das plantas de seis cultivares de arroz irrigado em cinco épocas de avaliação. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS.

| Cultivares | Épocas de avaliação | | | | |
|-------------|---------------------------------------|---------|----------|----------|----------|
| | 15DAAN | 30DAAN | DPF | 15DPF | FLORESC. |
| | N (kg ha ⁻¹) | | | | |
| BR-IRGA 409 | 10,6 b | 101,4 a | 103,8 a | 202,9 a | 348,7 a |
| BR-IRGA 410 | 20,7 a | 105,8 a | 103,6 a | 235,9 a | 409,8 a |
| IRGA 417 | 21,6 a | 119,8 a | 147,3 a | 223,1 a | 402,1 a |
| IRGA 421 | 13,9 ab | n. d. | 90,3 a | n. d. | 246,7 a |
| EPAGRI 108 | 12,7 ab | 87,1 a | 155,0 a | 242,9 a | 210,8 a |
| HÍBRIDO 2 | 12,7 ab | 100,3 a | 115,2 a | 253,6 a | 406,8 a |
| | P (kg ha ⁻¹) | | | | |
| BR-IRGA 409 | 0,72 c | 5,25 a | 8,30 b | 16,69 a | 20,40 ab |
| BR-IRGA 410 | 1,26 ab | 5,80 a | 7,44 b | 19,03 a | 27,05 ab |
| IRGA 417 | 1,49 a | 6,82 a | 9,31 b | 16,26 a | 28,50 a |
| IRGA 421 | 0,82 bc | n. d. | 5,14 b | n. d. | 12,74 b |
| EPAGRI 108 | 0,85 bc | 5,50 a | 15,12 a | 22,86 a | 19,96 ab |
| HÍBRIDO 2 | 0,61 c | 4,86 a | 6,86 b | 20,55 a | 21,96 ab |
| | K (kg ha ⁻¹) | | | | |
| BR-IRGA 409 | 7,72 c | 49,40 a | 71,24 ab | 128,42 a | 116,75 a |
| BR-IRGA 410 | 14,25 ab | 50,20 a | 67,90 b | 127,54 a | 182,09 a |
| IRGA 417 | 16,23 a | 65,57 a | 82,52 ab | 119,95 a | 192,83 a |
| IRGA 421 | 10,29 bc | n. d. | 48,02 b | n. d. | 108,70 a |
| EPAGRI 108 | 9,21 bc | 44,94 a | 117,75 a | 159,31 a | 154,86 a |
| HÍBRIDO 2 | 7,74 c | 47,94 a | 59,48 b | 129,64 a | 152,30 a |
| | Ca (kg ha ⁻¹) | | | | |
| BR-IRGA 409 | 3,51 b | 14,98 a | 12,84 b | 33,03 a | 31,82 ab |
| BR-IRGA 410 | 5,40 ab | 22,10 a | 12,25 b | 23,84 a | 37,79 ab |
| IRGA 417 | 6,68 a | 18,46 a | 18,04 ab | 39,55 a | 46,34 ab |
| IRGA 421 | 4,20 b | n. d. | 16,99 ab | n. d. | 21,87 b |
| EPAGRI 108 | 3,63 b | 18,13 a | 28,32 a | 26,24 a | 55,70 a |
| HÍBRIDO 2 | 3,55 b | 14,36 a | 9,68 b | 27,09 a | 33,77 ab |
| | Mg (kg ha ⁻¹) | | | | |
| BR-IRGA 409 | 1,46 bc | 14,98 a | 12,84 b | 17,55 a | 19,05 ab |
| BR-IRGA 410 | 2,07 ab | 22,10 a | 12,25 b | 14,29 a | 21,16 ab |
| IRGA 417 | 2,81 a | 18,46 a | 18,04 ab | 22,36 a | 25,27 ab |
| IRGA 421 | 1,69 bc | n. d. | 16,99 ab | n. d. | 11,55 b |
| EPAGRI 108 | 1,44 bc | 18,13 a | 28,32 a | 18,33 a | 33,76 a |
| HÍBRIDO 2 | 1,17 c | 14,36 a | 9,82 b | 16,80 a | 23,06 ab |

15DAAN= 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura; 30DAAN= 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura; DPF= diferenciação do primórdio floral; 15DPF= 15 dias após a diferenciação do primórdio floral; FLORESC.= florescimento; n. d.= não determinado.

Médias seguidas pela mesma letra dentro da coluna, não são significativamente diferentes pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

TABELA 9 - Produtividade de grãos de seis cultivares de arroz irrigado. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS.

| Cultivares | Produtividade de grãos Mg ha ⁻¹ |
|-------------|---|
| BR-IRGA 409 | 5,12 c |
| BR-IRGA 410 | 6,01 bc |
| IRGA 417 | 7,98 a |
| IRGA 421 | 5,93 bc |
| EPAGRI 108 | 7,93 a |
| HÍBRIDO 2 | 6,72 b |

Médias seguidas pela mesma letra não são significativamente diferentes pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

Foram realizadas correlações simples entre a produtividade de grãos e os teores dos nutrientes nas diferentes partes da planta e nas diferentes épocas de avaliação de cada cultivar, para identificar se algum dos procedimentos de avaliação do teor de macronutrientes do tecido apresentava correlação direta com a produtividade de grãos de arroz.

Para o teor de N, nas diferentes partes da planta e épocas de avaliação (Figuras 1a, 1b, 1c e 1d), não houve correlação significativa com a produtividade de grãos para nenhuma das variáveis utilizadas, inclusive para os teores de N obtidos na folha bandeira no florescimento e que estavam dentro das faixas de suficiência preconizadas pela CQFS (2004). Resultados semelhantes foram encontrados para os demais nutrientes. A única correlação significativa, porém inversa, foi obtida entre o teor de Ca na penúltima folha e a produtividade de grãos (Figura 4c), sem significado agrônomo prático. Isto significa que, embora o teor de nutrientes no tecido das plantas estime o estado nutricional, esta estimativa não reflete diretamente nas diferenças da produtividade de grãos, obtidas para os seis cultivares. Isto também reforça a possibilidade de serem utilizados outros parâmetros complementares à análise de tecido para avaliação nutricional das plantas, desde que incluam parâmetros de crescimento vegetativo e/ou acúmulo de nutrientes.

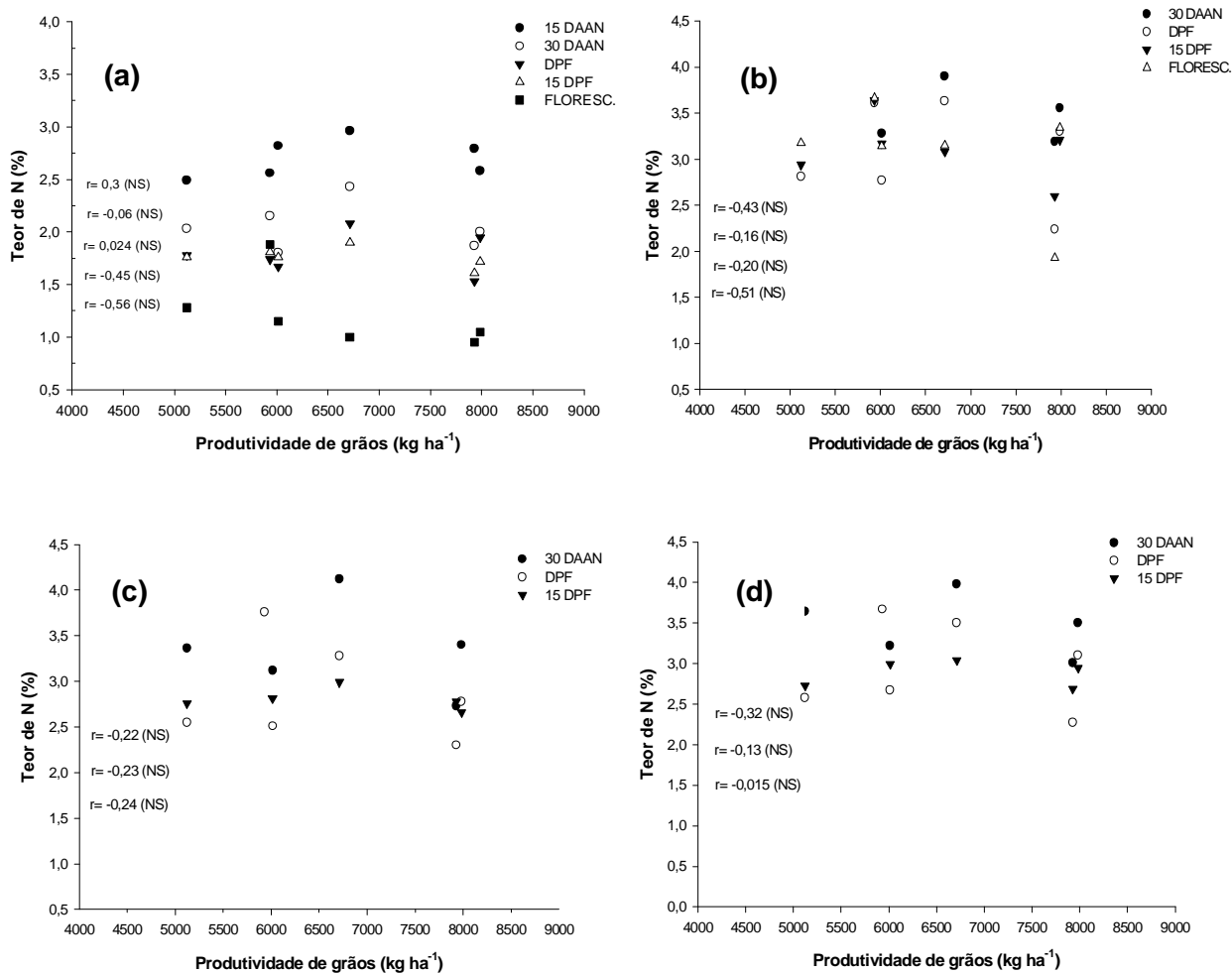


FIGURA 1. Correlação entre o teor de N e a produtividade de grãos para a planta inteira (a), última folha completamente expandida (b), penúltima folha completamente expandida (c) e folha Y (d), aos 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (30DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias após DPF (15DPF) e no florescimento (FLORESC.), para seis cultivares de arroz irrigado. Safra 2005/06. Santa Maria - RS.

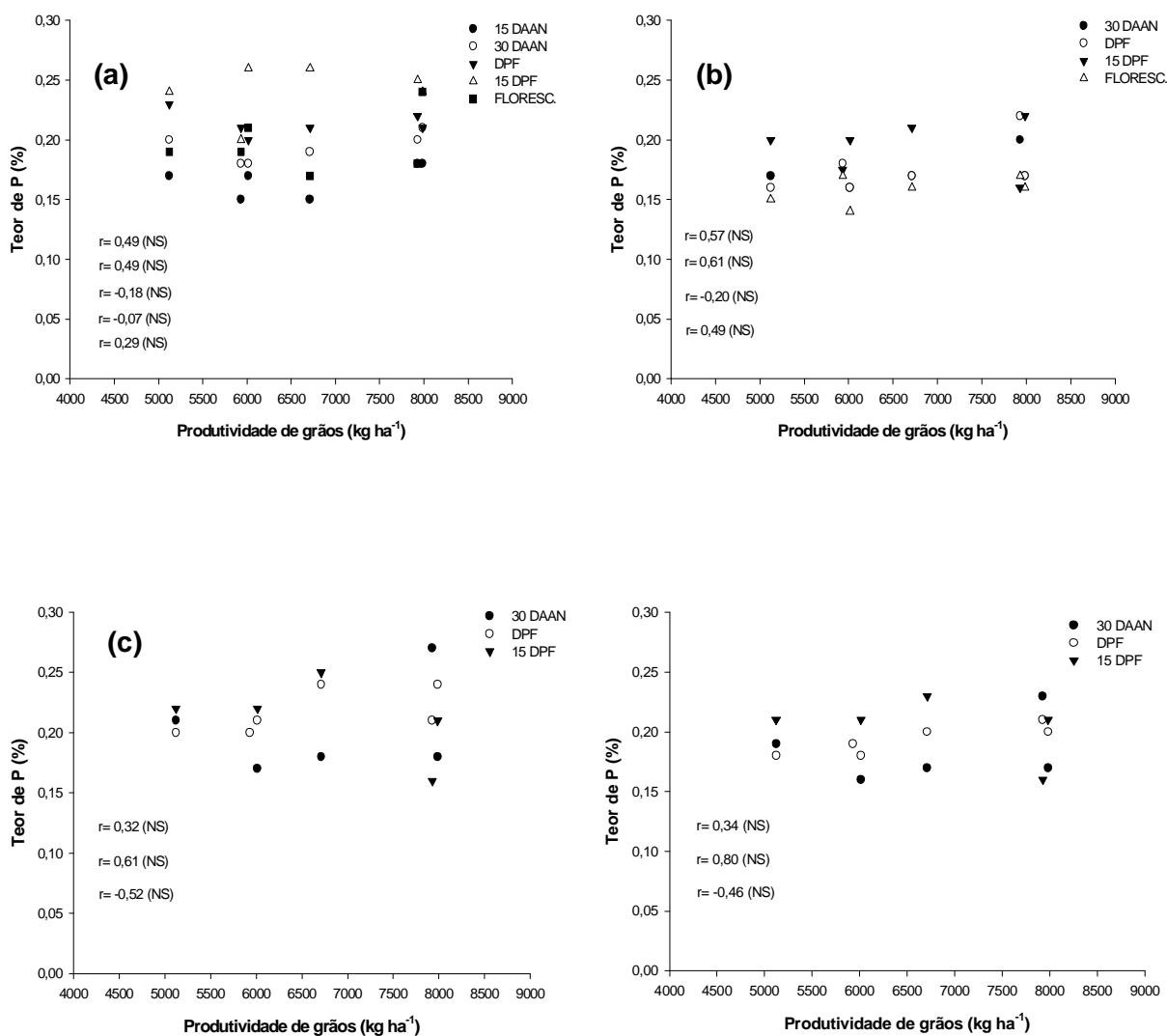


FIGURA 2. Correlação entre o teor de P e a produtividade de grãos para a planta inteira (a), última folha completamente expandida (b), penúltima folha completamente expandida (c) e folha Y (d), aos 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (30DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias após DPF (15DPF) e no florescimento (FLORESC.), para seis cultivares de arroz irrigado. Safra 2005/06. Santa Maria - RS.

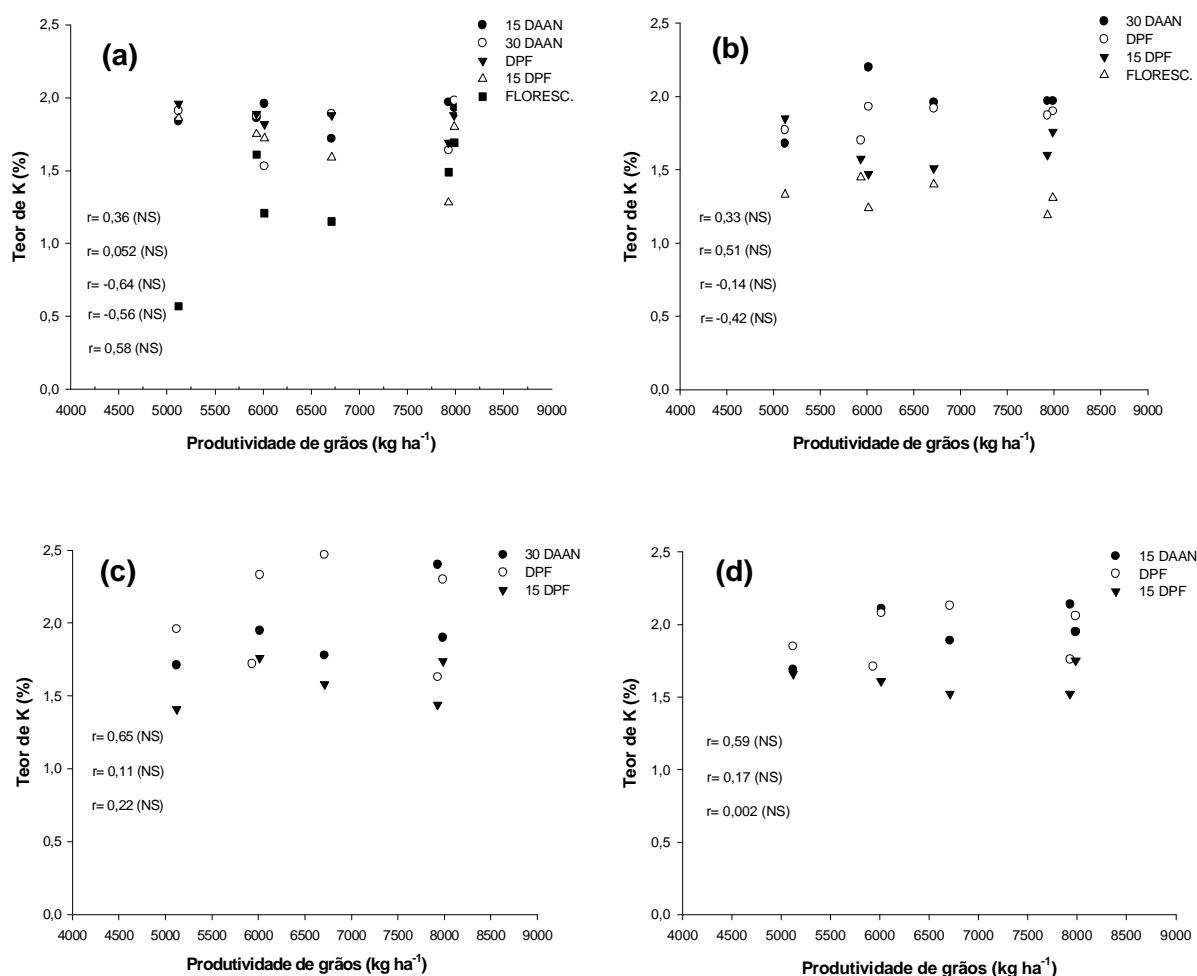


FIGURA 3. Correlação entre o teor de K e a produtividade de grãos para a planta inteira (a), última folha completamente expandida (b), penúltima folha completamente expandida (c) e folha Y (d), aos 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (30DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias após DPF (15DPF) e no florescimento (FLORESC.), para seis cultivares de arroz irrigado. Safra 2005/06. Santa Maria - RS.

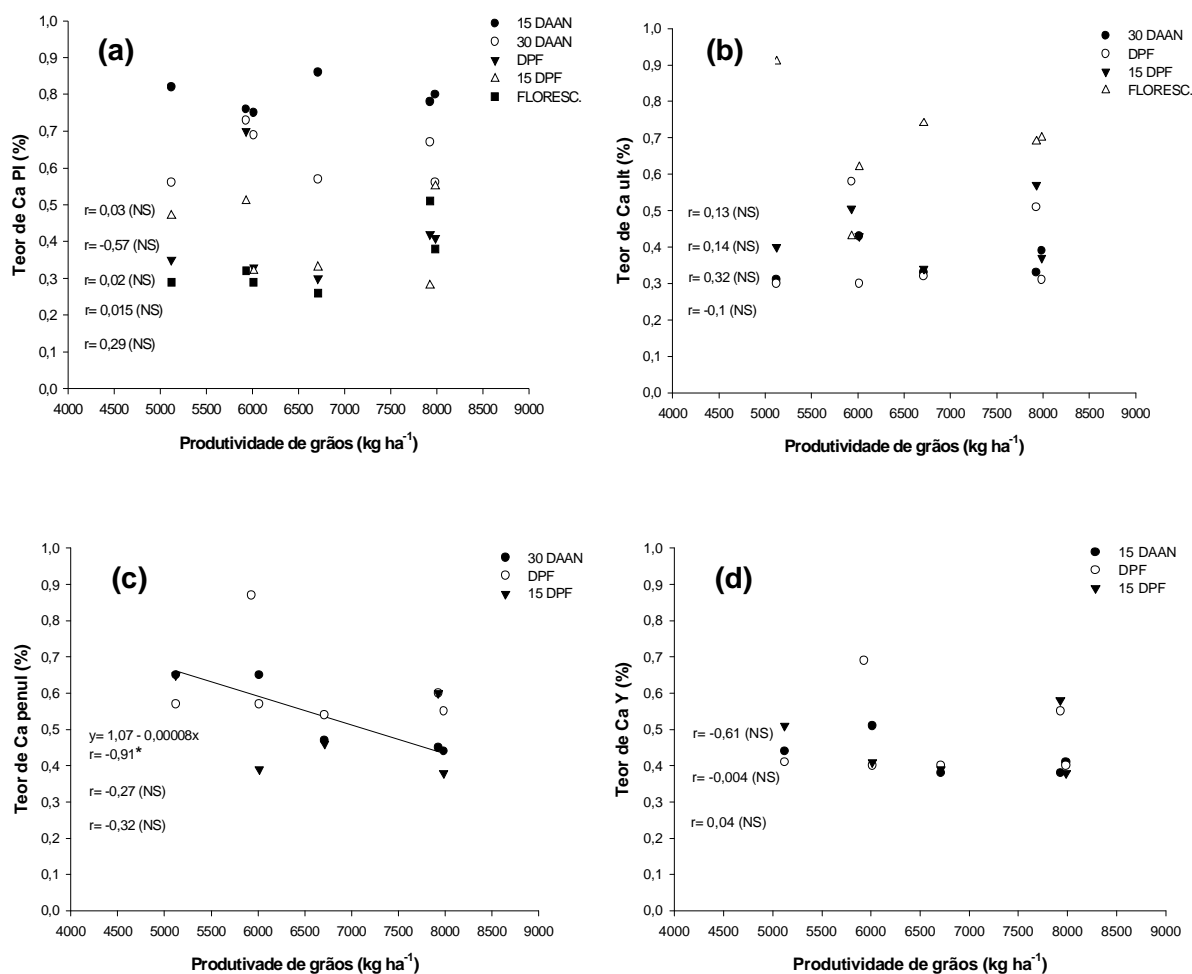


FIGURA 4. Correlação entre o teor de Ca e a produtividade de grãos para a planta inteira (a), última folha completamente expandida (b), penúltima folha completamente expandida (c) e folha Y (d), aos 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (30DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias após DPF (15DPF) e no florescimento (FLORESC.), para seis cultivares de arroz irrigado. Safra 2005/06. Santa Maria - RS.

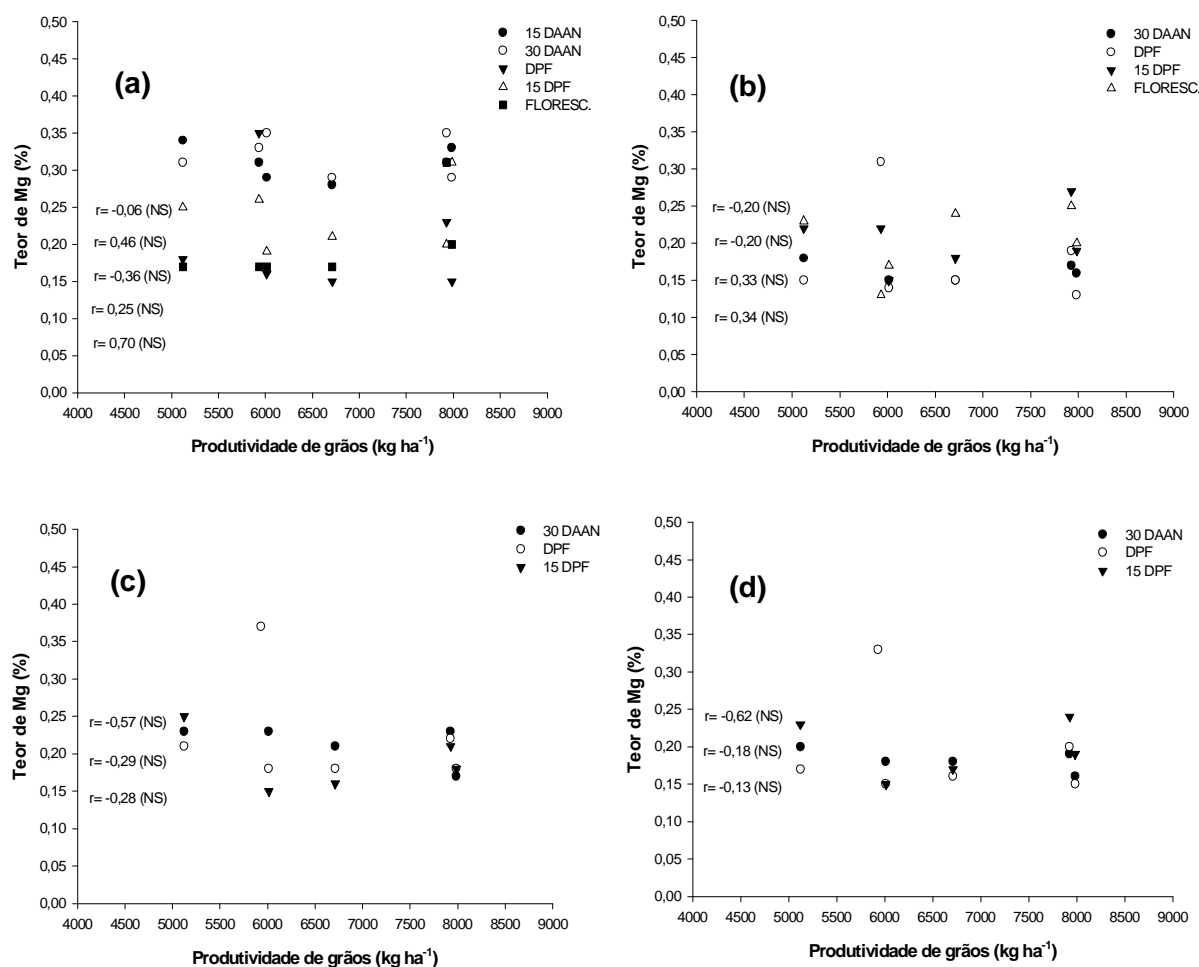


FIGURA 5. Correlação entre o teor de Mg e a produtividade de grãos para a planta inteira (a), última folha completamente expandida (b), penúltima folha completamente expandida (c) e folha Y (d), aos 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (30DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias após DPF (15DPF) e no florescimento (FLORESC.), para seis cultivares de arroz irrigado. Safra 2005/06. Santa Maria - RS.

3.4 Conclusões

A interpretação dos teores de N, Ca e Mg no tecido depende da parte da planta avaliada e da época de amostragem. Já, para o P e K, uma mesma faixa de valores pode ser considerada adequada, independentemente da época de avaliação ou da parte avaliada.

No caso do N, Ca e Mg, as folhas (última, penúltima e Y) do arroz não refletem os teores de macronutrientes da planta inteira.

O estado nutricional das plantas, estimado pelo teor de nutrientes no tecido, não se correlaciona com a produtividade de grãos quando se consideram diferentes cultivares de arroz irrigado por alagamento.

4 ESTUDO 2 - Monitoramento da disponibilidade de N ao longo do ciclo da cultura do arroz irrigado e avaliação dos métodos utilizados na estimativa do teor de N.

4.1 Introdução

O N é um dos elementos minerais requeridos em maior quantidade pelas plantas e o que mais limita o crescimento. Este nutriente é constituinte de proteínas, ácidos nucléicos e muitos outros importantes constituintes celulares, incluindo membranas e diversos hormônios vegetais (SOUZA & FERNANDES, 2006). No solo, o N está presente em diversas formas, incluindo amônio, nitrato, aminoácidos, peptídeos e formas orgânicas complexas insolúveis (SOUZA & FERNANDES, 2006), sendo a matéria orgânica a principal reserva de N às plantas do solo.

Em áreas cultivadas com arroz irrigado por alagamento, o solo passa por um período de transformação a partir do momento em que é coberto pela lâmina de água. Com o alagamento, o ar existente nos poros do solo é expulso, porém a oxidação da matéria orgânica continua através dos processos de respiração anaeróbica e fermentação. A transferência de elétrons continua, mas os aceptores de elétrons são outros que não o O_2 , como por exemplo, o $N-NO_3^-$, que é o primeiro composto a ser reduzido após o desaparecimento do O_2 . O $N-NO_3^-$ pode então passar por desnitrificação às formas voláteis, N_2O ou N_2 , que não podem ser aproveitadas pela planta. Além disso, outro processo que contribui com as alterações do N no solo é a nitrificação do $N-NH_4^+$ liberado de materiais orgânicos ou de fertilizantes amoniacais ou amídicos em zonas oxidadas do solo, passando a $N-NO_3^-$ o qual pode ser perdido, se passar pelo processo de desnitrificação, em zonas reduzidas. Assim o N é um dos elementos mais influenciados pela dinâmica de reações redox após alagamento do solo.

Estas e outras reações que acontecem com o N em solos alagados são difíceis de serem previstas e quantificadas quando se utiliza a análise do solo, com determinação do teor de matéria orgânica como estimativa da disponibilidade de N no solo durante o ciclo da cultura do arroz irrigado. Assim, o teor de matéria orgânica não deveria ser utilizado como único critério para quantificar a dose de N a ser utilizada.

Métodos que estimam a disponibilidade de N nas plantas foram desenvolvidos para complementar os resultados da análise de solo e estimar com maior exatidão a época e a dose de fertilizante a ser utilizado. Entre eles pode-se destacar o clorofilômetro e a cartela de cores. Ambos os métodos fazem uma avaliação indireta do teor de N na planta. O clorofilômetro permite fazer medições instantâneas do valor correspondente ao teor de clorofila na folha, o qual tem uma relação direta com o teor de N na folha. A cartela de cores, por avaliação visual da tonalidade da cor verde, a qual tem uma relação com o teor de clorofila da folha, também faz uma avaliação indireta do teor de N na planta. Embora baseada no mesmo princípio, a cartela de cores foi desenvolvida como uma alternativa de menor custo em relação ao clorofilômetro, e sua avaliação é mais simplista, porém, a cartela de cores, geralmente tem menor sensibilidade que o clorofilômetro.

A utilização desses métodos para uma determinada cultura é viável desde que seja comprovada a correlação das leituras com o teor de N das plantas e com a produtividade de grãos. Assim, faz-se necessário avaliar tais métodos para determinar a viabilidade de uso com eficiência para estimar o estado nutricional das plantas considerando situações de variada disponibilidade de N e a utilização de diferentes cultivares de arroz irrigado.

Os objetivos deste estudo foram: monitorar, através do clorofilômetro e da cartela de cores, o nível de N na planta ao longo do ciclo da cultura com aplicação de diferentes doses de N e em diferentes cultivares, correlacionar os valores das leituras do clorofilômetro e da cartela de cores com o teor de N no tecido das plantas e com a produtividade de grãos e avaliar a possibilidade de uso da cartela de cores como ferramenta auxiliar à recomendação de N em arroz irrigado por alagamento.

4.2 Material e métodos

4.2.1 Instalação e condução do experimento 1 - Doses e forma de aplicação de N.

O experimento foi instalado na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), município de Santa Maria - RS, no período de novembro de 2005 a março de 2006 (Anexo D). O clima da região fisiográfica da Depressão Central do Rio Grande do Sul enquadra-se na classe "Cfa", subtropical úmido, de acordo com a classificação climática de Köppen

(MORENO, 1961). O solo do local de instalação do experimento é classificado como Planossolo Háplico eutrófico arênico (EMBRAPA, 2006), sendo sua análise química realizada pelo Laboratório de Análise de Solos, Departamento de Solos/CCR/UFMS, a qual se encontra na tabela 10.

Os tratamentos utilizados neste experimento foram cinco doses de N (0, 50, 80, 120 e 160 kg de N ha⁻¹) e duas formas de aplicação de N na 1ª adubação de cobertura (antes e depois do alagamento da área). Para isso, cada parcela foi subdividida (duas partes iguais, sem individualização por taipas), sendo que uma recebeu aplicação do N um dia antes do alagamento da área e outra um dia depois do alagamento da área.

O total da dose de N de cada tratamento foi dividida em três épocas de aplicação: 1ª aplicação - semeadura - foram utilizados 350 kg da fórmula 5-20-30 N-P₂O₅-K₂O (17,5 kg de N ha⁻¹), 2ª aplicação - estágio vegetativo V4-V5 - quando foi aplicada a metade da dose de cada tratamento, e 3ª aplicação - início da diferenciação do primórdio floral - R0, onde foi aplicada a metade da dose de cada tratamento descontada a quantidade utilizada na semeadura. O N aplicado nos tratamentos foi na forma de uréia.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e com quatro repetições. Cada subparcela possuía uma área de 10m² (2m x 5m), totalizando 40 subparcelas e uma área total de 400m². A forma de aplicação de N foi realizada com faixas dentro de cada bloco.

O preparo do solo da área experimental foi realizado através de aração e gradagens, com posterior nivelamento da área. O cultivar de arroz semeado foi o IRGA 417, de ciclo médio, no dia 03 de novembro de 2005, com espaçamento entre linhas de 0,17m e densidade de sementes de 120 kg ha⁻¹, a emergência das plântulas ocorreu 10 dias após a semeadura.

TABELA 10 - Características químicas do solo na profundidade de 0 - 20cm antes da instalação do experimento. Área Experimental do Departamento de Fitotecnia. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS.

| pH água 1:1 | Índice SMP | M.O. | P* | K* | Al** | Ca** | Mg** |
|-------------|------------|--------------------------|-------------------------------|----|--|------|------|
| | | .. g kg ⁻¹ .. | mg dm ⁻³ | | cmol _c dm ⁻³ | | |
| 5,7 | 6,2 | 25 | 9,3 | 52 | 0 | 7,5 | 3 |

Segundo CQFS os teores de P, K, Ca e Mg são: alto, médio, alto e alto, respectivamente.

* extraído com solução Mehlich-1

** extraído com KCl 1 mol L⁻¹

O controle de plantas daninhas foi realizado no dia 29 de novembro de 2005, um dia antes do alagamento da área, utilizando-se Nominee® (bispribacsodium) na dose de 130mL ha⁻¹. No dia seguinte (30 de novembro de 2005) iniciou-se o alagamento da área, mantendo-se uma lâmina de água com aproximadamente 10cm de altura, até próximo a data da colheita de grãos. Também foi realizado o controle de lagarta-militar (*Spodoptera frugiperda*) no dia 07 de dezembro de 2005, utilizando-se Talcord 250 EC® (permetrina) 100 mL ha⁻¹.

4.2.2 Instalação e condução do experimento 2 - Cultivares de arroz irrigado

Este experimento segue a mesma descrição de instalação e condução do experimento do Estudo 1.

4.2.3 Avaliações e determinações realizadas

No experimento 1 foram realizadas quatro avaliações para monitorar a disponibilidade de N nas plantas de arroz irrigado: 1ª - aos 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura; 2ª - na diferenciação do primórdio floral; 3ª - aos 15 dias após a diferenciação do primórdio floral; e 4ª - no florescimento (30-50% das panículas florescidas). Em cada avaliação foram realizadas as seguintes determinações: a) índice de clorofila medido pela leitura do aparelho portátil, clorofilômetro (modelo SPAD-502), com uma leitura na posição intermediária da folha, em 15 plantas por subparcela (Anexo E); b) coloração das folhas através do contraste com a cartela de cores "Leaf Color Chart", produzida pela University of California Cooperative Extension, na porção intermediária da folha das mesmas 15 plantas por parcela utilizadas para a leitura com clorofilômetro (Anexo F). Para a realização das leituras com o clorofilômetro e cartela de cores foi utilizada a última folha completamente expandida das plantas de arroz.

Em cada avaliação foi realizada a determinação do teor de N total das folhas. Para esta determinação foram coletadas amostras de folhas das plantas, 50 folhas por subparcela, sendo utilizadas para a 2ª e 3ª avaliação a folha Y e para a 4ª avaliação a folha bandeira, não foi realizada coleta de folhas na 1ª avaliação. As amostras foram secas em estufa a 65°C, moídas e armazenadas em recipientes fechados. Para a extração e determinação seguiu-se a metodologia descrita por

TEDESCO et al. (1995), extração com digestão ácida ($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$) e determinação com destilador de arraste de vapor semi-micro Kjeldahl, com NaOH 10 mol L^{-1} .

Foram avaliadas também a produção de matéria seca dos tratamentos, coletando-se um metro linear de matéria verde, que foi seca em estufa a $65 \text{ }^\circ\text{C}$ e determinada a massa, após peso constante. Para determinar a produtividade de grãos da cultura, coletou-se uma área útil de $3,4\text{m}^2$, sendo posteriormente as panículas trilhadas e a umidade corrigida para 13%, com produtividade expressa em Mg ha^{-1} .

As avaliações e determinações realizadas no experimento 2 foram iguais às realizadas no experimento 1, salvo que, no experimento 2 foi realizada uma avaliação a mais (cinco épocas) realizada aos 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (30DAAN) e para a determinação do teor de N nas folhas, para posterior correlação com as leituras do clorofilômetro e cartela de cores, foi utilizada a última folha completamente expandida ao invés da folha Y utilizada no experimento 1.

4.2.4 Análise estatística

Os resultados foram avaliados através da análise de variância utilizando o software estatístico SOC NTIA/EMBRAPA (EMBRAPA, 1997) e quando significativos, os efeitos de tratamentos quantitativos foram comparados através da análise de regressão. Enquanto os efeitos de tratamentos qualitativos foram comparados pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro. As análises de correlação simples (Pearson), entre as variáveis testadas, foram realizadas pelo mesmo programa, também em nível de 5% de probabilidade de erro.

4.3 Resultados e discussão

4.3.1 - Experimento 1 - Monitoramento do nível de N ao longo do ciclo da cultura do arroz irrigado com o clorofilômetro e a cartela de cores, com aplicação de diferentes doses de N.

O monitoramento da disponibilidade de N nas plantas de arroz irrigado, realizado através das leituras com o clorofilômetro, é apresentado na figura 6. Na 1ª

avaliação (15DAAN), houve diferença significativa entre as médias das leituras para cada dose de N aplicada, em ambas as formas de aplicação de N em cobertura, antes e depois do alagamento. Houve efeito de interação entre as doses e as formas de aplicação de N, sendo que as equações de resposta das leituras do clorofilômetro às doses de N foram lineares (leitura= $29,85 + 0,0586$ dose de N, para o N aplicado antes do alagamento e leitura= $33,64 + 0,0498$ dose de N, para o N aplicado depois do alagamento). Este fato é importante, pois evidencia que o método do clorofilômetro foi sensível em diagnosticar a disponibilidade de N às plantas na fase vegetativa de cultivo. De modo geral, os valores das leituras para a aplicação de N depois do alagamento foram maiores (33,5 a 37,9 SPAD) do que as obtidas com aplicação antes do alagamento (29,5 a 34,2 SPAD). Entretanto, estas diferenças, provavelmente, devem estar mais relacionadas à heterogeneidade da área onde foi instalado o experimento do que ao efeito da forma de aplicação, tendo em vista que este fator foi estabelecido em faixas e, portanto, sem aleatoriedade experimental. Isso fica evidente quando observado os valores da produtividade de grãos, considerando que inclusive para a testemunha são maiores os valores da produtividade obtidos para o modo de aplicação de N depois do alagamento (Tabela 11). É provável que, nas parcelas onde o N foi aplicado depois do alagamento da

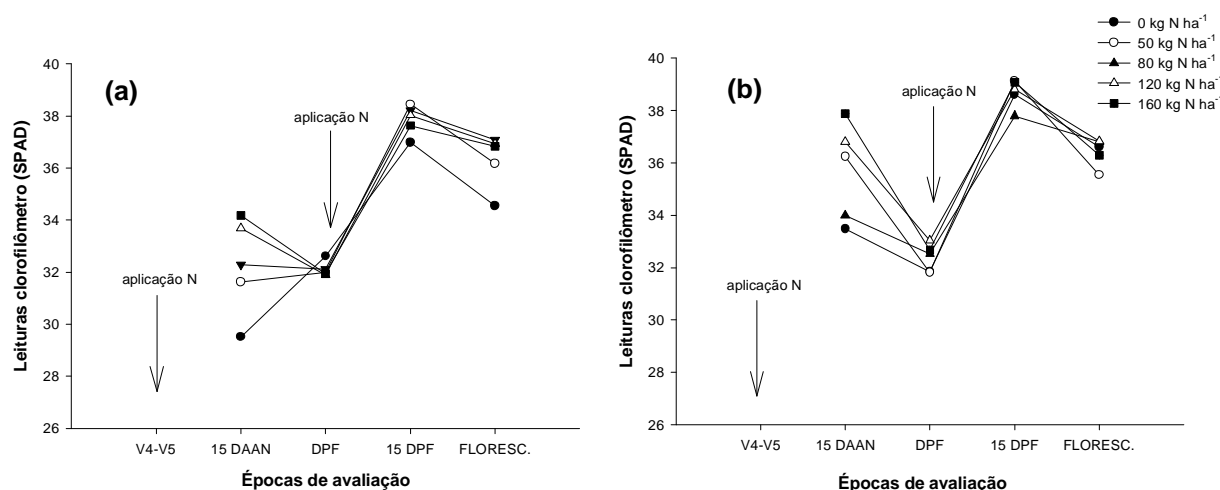


FIGURA 6. Leituras com o clorofilômetro na última folha completamente expandida, aos 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias após DPF (15DPF) e no florescimento (FLORESC.), em função das doses de N e 1ª aplicação em cobertura antes do alagamento (a) e depois do alagamento (b). Cultivar IRGA 417. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS.

área, as plantas de arroz começaram seu desenvolvimento em melhores condições de fertilidade do solo, o que influenciou o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, proporcionou maiores leituras na 1ª avaliação. De qualquer modo, utilizando os parâmetros da regressão para as duas formas de aplicação de N, foram necessários valores semelhantes de N aplicado para proporcionar a variação de uma unidade SPAD (entre 17 e 20 kg N ha⁻¹) nesta avaliação.

A partir de 15DAAN, a resposta das leituras do clorofilômetro à aplicação das doses de N não foi significativa, com exceção para a avaliação no florescimento para a aplicação de N antes do alagamento, que também foi linear, porém apresentou um R² extremamente baixo (0,22) (Anexo H). Esse comportamento poder ser atribuído à influência da testemunha (0 kg N ha⁻¹), única que se distingue das demais (Figura 6), sem importância prática na comparação das doses de N aplicadas. Dessa forma, pode-se destacar que depois da primeira avaliação não foi possível identificar os efeitos das doses de N aplicadas, mesmo com uma 2ª aplicação de N em cobertura.

Provavelmente, a partir da DPF tenha ocorrido remobilização do N das folhas maduras (fonte) para partes da planta em desenvolvimento (dreno), já que este é um elemento de alta mobilidade dentro da planta (TAIZ & ZEIGER, 2004). Esta mobilidade deve-se pelas proteínas liberarem compostos nitrogenados permeáveis no floema (CARVALHO, 2005). Segundo SOUZA & FERNANDES (2006) o processo de remobilização é essencial para suprir tecidos que não participam na assimilação de N, como por exemplo, os órgãos reprodutivos. A remobilização do N pode ter ocasionado as condições semelhantes do nível de N nas plantas dos diferentes tratamentos, que refletiram na falta de resposta à 2ª aplicação das doses de N em cobertura, verificada pelas leituras do clorofilômetro. A ausência de resposta das leituras do clorofilômetro às doses de N na DPF em diante, não quer dizer que o método não seja adequado para avaliar a disponibilidade de N às plantas. Pelo contrário, é provável que as plantas estivessem com estado nutricional semelhante e, houvesse falta de resposta ao N aplicado.

Se por um lado a remobilização do N na planta é de fundamental importância, por outro lado, pode mascarar o estado nutricional da planta monitorado pelo clorofilômetro. A mobilidade do N faz com que ele seja translocado das folhas mais velhas para as mais novas sendo os casos de deficiência observados somente nas folhas mais velhas. Como as leituras do clorofilômetro são realizadas em folhas recentemente desenvolvidas, há menor probabilidade e/ou estas demoram mais

tempo para expressar uma eventual deficiência de N da planta. Desta forma, leituras altas do clorofilômetro, não significam necessariamente boa disponibilidade de N no solo e na planta. A remobilização é baseada na variação de diferentes processos fisiológicos e bioquímicos, utilização do mineral estocado no vacúolo, degradação de proteínas estocadas, ou ainda degradação de estruturas celulares (cloroplastos, por exemplo) e enzimas, transformando nutrientes minerais estruturalmente ligados em formas móveis (MARSCHNER, 1995).

O monitoramento da disponibilidade de N na planta através das leituras da cartela de cores (Figura 7) teve um comportamento semelhante ao das leituras realizadas com o clorofilômetro. Porém, na 1ª avaliação, as leituras realizadas com a cartela de cores tiveram uma amplitude menor do que aquelas obtidas com o clorofilômetro, independentemente da forma de aplicação de N em cobertura. Isto indica que este método foi menos sensível em diagnosticar as diferenças da disponibilidade de N na planta que o clorofilômetro, pois não conseguiu discriminar a influência das doses de N aplicadas. Tendo em vista a escala reduzida e a menor sensibilidade, houve interação significativa apenas para a forma de aplicação da 1ª adubação de N em cobertura, independente da época de avaliação realizada. Assim, os resultados da análise de regressão entre leituras e doses de N da média

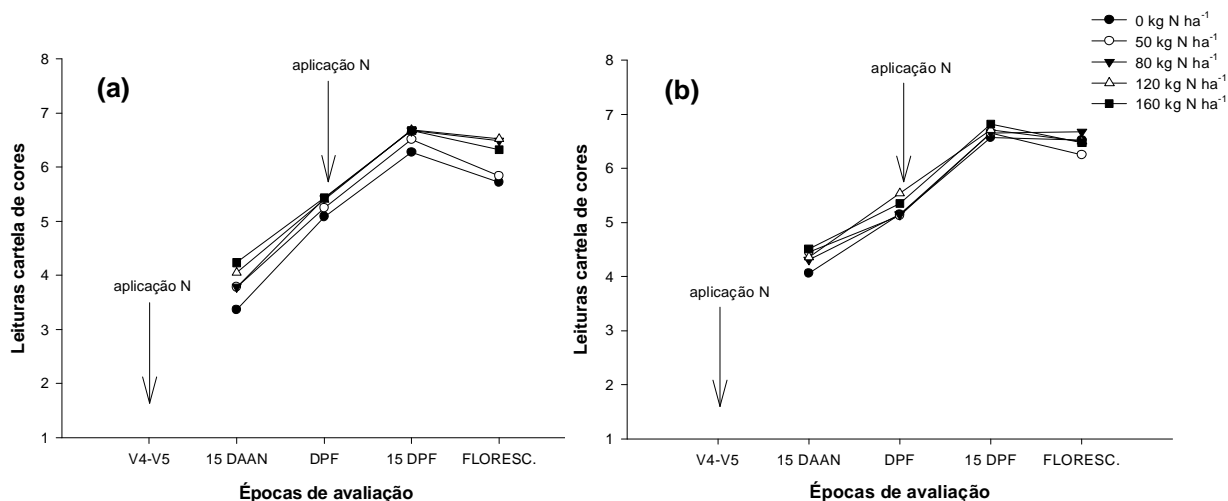


FIGURA 7. Leituras com a cartela de cores na última folha completamente expandida, aos 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias após DPF (15DPF) e no florescimento (FLORESC.), em função das doses de N e 1ª aplicação em cobertura antes do alagamento (a) e depois do alagamento (b). Cultivar IRGA 417. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS.

da figura 7 podem ser interpretados pela média das leituras da cartela de cores de cada dose de N entre as épocas de avaliação (Anexos F e H).

A correlação entre as leituras do clorofilômetro e o teor de N na planta inteira foi dependente da época de avaliação, para ambos as formas da 1ª aplicação de N em cobertura (Figuras 8a e 8b). Além de não apresentar uma correlação única para todas as épocas de avaliação, algumas das épocas não apresentaram correlação significativa entre o teor de N na planta inteira com as leituras do clorofilômetro. Uma explicação da falta de correlação entre teor de N na planta inteira e as leituras do clorofilômetro poderia ser o fato de que foi utilizada toda a parte aérea das plantas na determinação do teor de N. Dependendo do estágio de desenvolvimento, fazem parte da amostra folhas mais velhas em senescência, o que pode ter diluído o teor de N total da planta. Assim, quando utilizados os resultados das leituras do clorofilômetro, que foram realizadas apenas em uma das folhas da planta (última expandida) a correlação com os valores da planta inteira não foram significativos. Mesmo quando as correlações foram significativas, na 3ª avaliação (15DPF) para o modo de aplicação de N antes do alagamento e na 2ª avaliação (DPF) para o modo de aplicação de N depois do alagamento, houve uma pequena variação em termos de teor de N ($\pm 0,5\%$) e leituras do clorofilômetro (1-2 unidades SPAD), o que pode

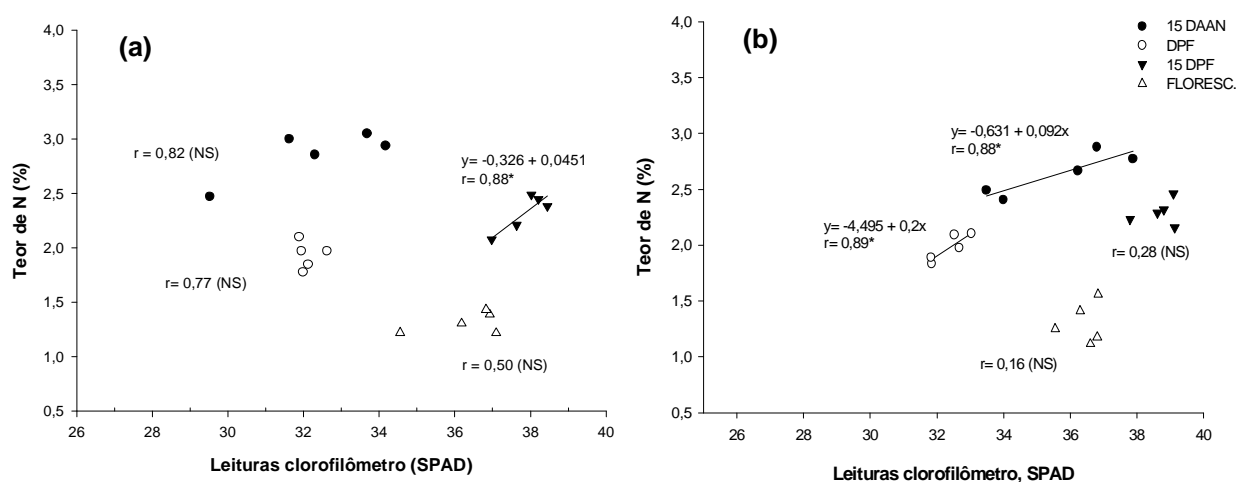


FIGURA 8. Correlação entre as leituras do clorofilômetro e o teor de N na planta inteira, para quatro épocas de avaliação, 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias após DPF (15DPF) e florescimento (FLORESC.), em função das doses de N e 1ª aplicação em cobertura antes do alagamento (a) e depois do alagamento (b). Cultivar IRGA 417. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS.

representar uma dificuldade em termos práticos na calibração dos valores considerados suficientes, tanto do teor de N quanto das leituras do clorofilômetro.

Outro fator que também pode influenciar na falta de correlação é que na análise de tecido de plantas para determinação do teor total de N, o N-NO_3^- que se acumula nos vacúolos das células da planta, quando há excesso de absorção de N-NH_4^+ (TAIZ & ZEIGER, 2004), é determinado pela análise laboratorial, o que não acontece com as leituras realizadas com o clorofilômetro, considerada uma vantagem do clorofilômetro em relação à análise de tecido. Porém, isto também poderia indicar uma deficiência do método, já que, segundo SCHRÖDER et al. (2000), um indicador ideal tem que reproduzir a relação do nível de N no sistema solo-planta e deve ser capaz de detectar ou predizer tanto a deficiência quanto o excesso de N na planta. A correlação entre as leituras da cartela de cores e o teor de N na planta inteira (Figura 9) mesmo quando analisado por épocas de avaliação não foi significativa em nenhuma das avaliações, demonstrando novamente a dificuldade de se utilizar a planta inteira para correlacionar as leituras dos testes indiretos com o teor de N. Também pode-se observar nesta figura que a amplitude de variação nas leituras da cartela de cores é menor do que a variação encontrada pelo clorofilômetro, evidenciando que o método foi menos sensível em detectar as diferenças entre as doses de N para cada época de avaliação.

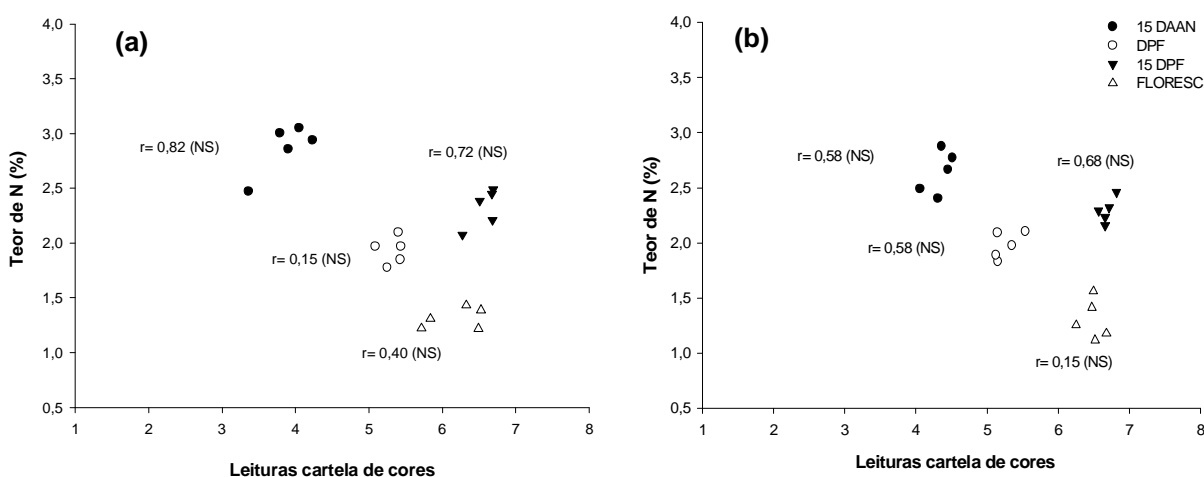


FIGURA 9. Correlação entre as leituras da cartela de cores e o teor de N na planta inteira para quatro épocas de avaliação, 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias após DPF (15DPF) e florescimento (FLORESC.), em função das doses de N e 1ª aplicação em cobertura antes do alagamento (a) e depois do alagamento (b). Cultivar IRGA 417. Safra 2005/06. Santa Maria - RS.

Entretanto houve uma correlação significativa entre as leituras do clorofilômetro e o teor de N nas últimas folhas (Y e bandeira) das plantas de arroz para ambos as formas de aplicação de N na 1ª adubação de cobertura (Figura 10a e 10b), sendo que o coeficiente de correlação para o modo de aplicação de N depois do alagamento (Figura 10b) foi maior do que para o modo de aplicação antes do alagamento (Figura 10a). O fato das leituras do clorofilômetro terem sido realizadas na última folha completamente expandida e o teor de N determinado apenas nas últimas folhas (folha Y e última folha expandida) das plantas explica a significância das correlações nesta situação em relação ao uso do teor de N nas plantas inteiras. Como as leituras do clorofilômetro não foram realizadas exatamente nas mesmas folhas das plantas coletadas para determinação laboratorial do teor de N, pode ter contribuído para a variabilidade entre as correlações obtidas, ocasionando diferenças entre a determinação dos métodos. ARGENTA (1991) em um estudo de correlação simples entre as leituras do clorofilômetro e o teor de N para a cultura milho, em quatro estádios de desenvolvimento da cultura e nove níveis de N, obteve resultados semelhantes aos encontrados neste experimento. Na correlação entre as leituras do clorofilômetro e o teor de N na planta inteira o autor obteve correlação significativa ($p < 0,05$) somente para o estágio de espigamento. Já quando determinou o teor de N na mesma folha ou em uma folha próxima à das leituras do clorofilômetro obteve correlação significativa para todos os estádios, com exceção

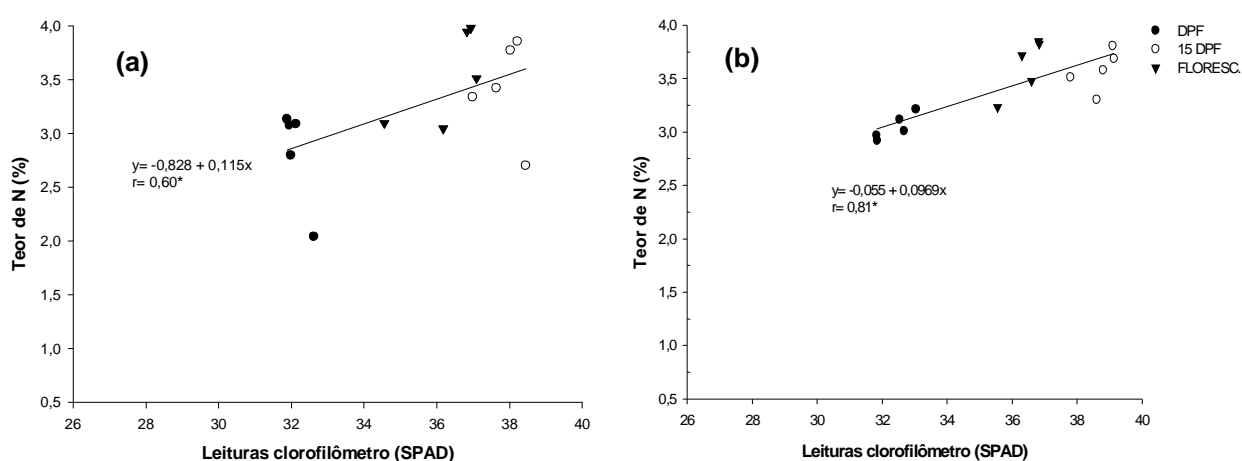


FIGURA 10. Correlação entre as leituras do clorofilômetro e o teor de N na folha Y para diferenciação do primórdio floral (DPF) e 15 dias após DPF (15DPF) e na folha bandeira para o florescimento (FLORESC), em função das doses de N e 1ª aplicação em cobertura antes do alagamento (a) e depois do alagamento (b). Cultivar IRGA 417. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS.

da primeira avaliação (estádio de três a quatro folhas completamente desenvolvidas). Em estudo desenvolvido com o cultivar de arroz irrigado IR72 para três doses de N e determinação do teor de N e leituras do clorofilômetro realizadas na última folha completamente expandida em três estádios (meio do perfilhamento, início da diferenciação da panícula e florescimento), PENG et al. (1993) obtiveram um $R^2=0,49$, o que corresponde a uma correlação (r) de aproximadamente 0,60, semelhante ao encontrado neste experimento.

Na figura 11 estão as correlações entre as leituras da cartela de cores e o teor de N nas folhas, para os dois modos de aplicação de N, com comportamento semelhante ao das leituras do clorofilômetro (Figura 10). Neste caso, a correlação também foi significativa, o que ressalta que, para o arroz, só é possível estimar o teor de N através do clorofilômetro e da cartela de cores nas folhas em que se fizer a avaliação, o que pode não representar as condições nutricionais da lavoura ou da planta como um todo. Novamente aspectos como a produção de massa e quantidade acumulada do (s) nutrientes (s) poderiam auxiliar nessa avaliação e fornecer resultados mais precisos para o manejo das adubações nitrogenadas em cobertura.

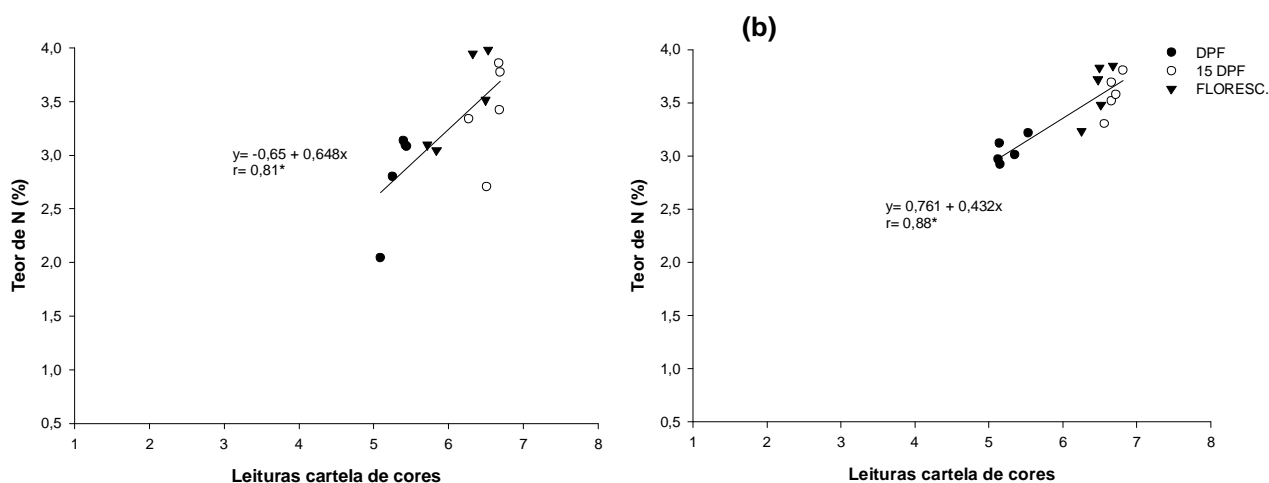


FIGURA 11. Correlação entre as leituras da cartela de cores e o teor de N na folha Y para diferenciação do primórdio floral (DPF) e 15 dias após DPF (15DPF) e na folha bandeira para o florescimento (FLORESC), em função das doses de N e 1ª aplicação em cobertura antes do alagamento (a) e depois do alagamento (b). Cultivar IRGA 417. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS.

Houve correlação significativa ($r = 0,84$; $p < 0,05$) entre o clorofilômetro e a cartela de cores (Figura 12), indicando que, embora com menor sensibilidade para

detectar diferenças, como discutido anteriormente, a cartela de cores poderia ser utilizada para substituir o uso do clorofilômetro. Com a análise de correlação para a 1ª época de avaliação realizada separada das demais épocas de avaliação, o valor (r) para a 1ª época seria de 0,95 e para as demais épocas de 0,85. Isto significa que a interpretação dos resultados para as avaliações deveria ser separada em função dos estádios (vegetativo e reprodutivo). Entretanto, cabe salientar que a primeira época de avaliação teve um comportamento que se diferenciou das demais avaliações, onde houve maior variação nas leituras do clorofilômetro em função das doses de N, sem uma variação proporcional para as leituras com a cartela de cores.

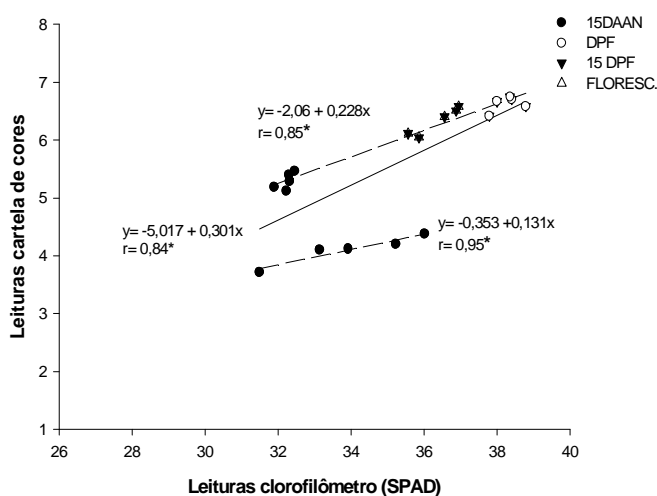


FIGURA 12. Correlação entre as leituras da cartela de cores e do clorofilômetro (médias dos valores das leituras entre os modos de aplicação de N, antes e depois do alagamento), para as quatro épocas de avaliação, aos 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias após a diferenciação do primórdio floral (15DPF) e florescimento (FLORESC.), em função das doses de N. Cultivar IRGA 417. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS.

A produtividade de grãos não foi influenciada pelas doses de N, embora tenha ocorrido uma variação de aproximadamente 900 kg ha^{-1} , quando o N foi aplicado antes do alagamento na 1ª adubação de cobertura, e de aproximadamente 200 kg ha^{-1} de grãos, quando o N foi aplicado depois do alagamento na 1ª adubação de cobertura. A forma de aplicação de N em cobertura também não influenciou na produtividade de grãos. A falta de resposta em termos de produtividade de grãos às doses de N é citada por vários autores (MACHADO & DIAS, 1985; DUARTE 2005; MARZARI, 2005) e, segundo SCIVITTARO & MACHADO (2004) estão

especialmente relacionados ao potencial de mineralização de N do solo e as condições climáticas durante o cultivo, e não somente à dose ou época de aplicação do N. A falta de resposta das leituras do clorofilômetro e cartela de cores à aplicação das doses de N, na avaliação realizada no florescimento, podem estar associadas ao semelhante estado nutricional das plantas neste estágio, o que resultou na falta de resposta da produtividade de grãos às doses de N.

TABELA 11 - Produtividade de grãos do cultivar de arroz irrigado IRGA 417, em função das doses de N e 1ª aplicação de N em cobertura, antes e depois do alagamento. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS.

| Doses de N kg ha ⁻¹ | Produtividade de grãos | |
|-----------------------------------|------------------------|---------------------|
| | N antes alagamento | N depois alagamento |
| 0 | 6,76 | 7,68 |
| 50 | 7,30 | 7,59 |
| 80 | 7,40 | 7,63 |
| 120 | 7,67 | 7,90 |
| 160 | 7,69 | 7,77 |

4.3.2 - Experimento 2 - Monitoramento da disponibilidade de N ao longo do ciclo da cultura do arroz irrigado, para diferentes cultivares e avaliação dos métodos utilizados na estimativa do teor de N.

Os cultivares avaliados apresentaram diferentes leituras no clorofilômetro em todas as avaliações realizadas (Figura 13). Segundo PENG et al. (1993), a leitura SPAD varia com o estágio de desenvolvimento da cultura e com a variedade, principalmente devido a diferenças na espessura e no peso específico da folha, ressaltando que, para um prognóstico preciso do *status* de N na planta usando o clorofilômetro, seria necessário calibrar separadamente a relação entre o N (base no peso seco) e as leituras do clorofilômetro para diferentes cultivares sob condições específicas de crescimento e para estágio específico de crescimento.

Nas duas primeiras avaliações (15DAAN e 30DAAN), as épocas de avaliação não levaram em consideração o estágio fenológico, o que pode ter determinado as diferenças no estado nutricional das plantas. Além disso, as plantas apresentavam diferentes quantidades de matéria seca (Tabela 6), com reflexos sobre o número de

folhas e perfilhos, o que pode determinar que o N tenha se diluído na massa de plantas e conseqüentemente diminuïram os valores das leituras do clorofilômetro.

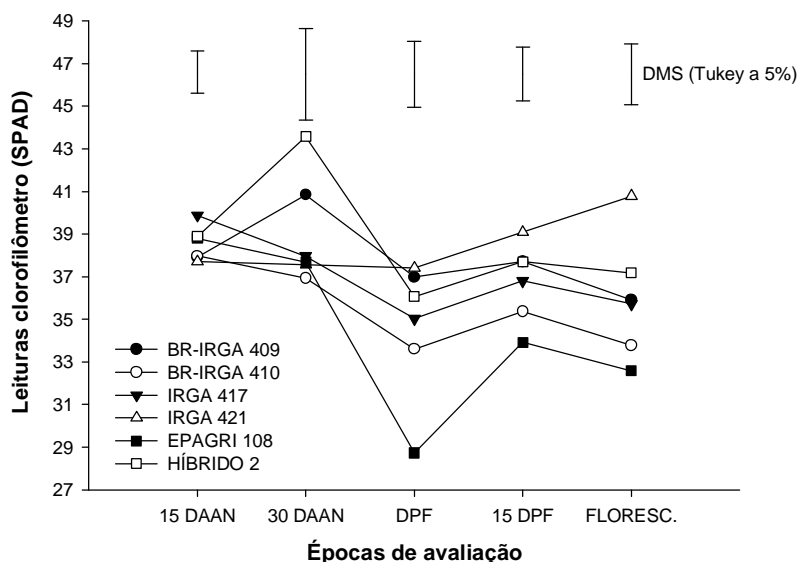


FIGURA 13. Leituras com o clorofilômetro na última folha completamente expandida, aos 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (30DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias após DPF (15DPF) e no florescimento (FLORESC.), para seis cultivares de arroz irrigado. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS.

Na terceira avaliação (DPF), realizada quando as plantas encontravam-se sob o mesmo estágio fenológico, também houve diferenças significativas entre os materiais avaliados, o que evidencia as diferentes condições nutricionais de cada genótipo mesmo sob as mesmas condições de solo, clima e cultivo. Com exceção do cultivar IRGA 421, todos os cultivares tiveram uma diminuição nos valores das leituras do clorofilômetro, o que pode estar relacionado ao aumento de matéria seca destes cultivares, verificado pela grande quantidade de matéria seca produzida até esta avaliação, que pode ter provido uma diluição dos nutrientes na planta. Na DPF o N, que é um elemento móvel, pode ter sido translocado na planta para a formação dos componentes de produtividade, diminuindo os teores de N encontrados na folha em que foi realizada a leitura do clorofilômetro. Neste estágio, posteriormente à realização das leituras com o clorofilômetro, foi realizada uma segunda aplicação de N em cobertura, o que pode ter promovido o pequeno aumento observado nas leituras na 4ª época de avaliação (15DPF).

Na quinta avaliação (florescimento), novamente o cultivar IRGA 421 obteve os maiores valores de leituras do clorofilômetro diferindo dos demais cultivares. Com exceção do IRGA 421, todos os demais cultivares tiveram suas leituras diminuídas nesta época de avaliação em função principalmente da demanda da planta por N, já que neste período começa a senescência das folhas e conseqüentemente translocação de N para o enchimento de grãos (SOUZA & FERNANDES, 2006).

De maneira geral, as plantas encontravam-se sob as mesmas condições de disponibilidade de N no solo, pois estavam sendo cultivadas na mesma área e receberam a mesma adubação, porém os cultivares apresentaram comportamento diferente entre si quanto à disponibilidade de N ao longo do ciclo e não seguiram a mesma tendência entre todas as épocas. Uma das explicações mais prováveis é que os cultivares têm capacidades diferentes de absorver e utilizar o N disponível no solo e esta capacidade pode variar durante o ciclo. Este fato e o de possuírem características fisiológicas, morfológicas e agrônômicas diferentes, provavelmente foram os fatores que levaram às diferentes produtividades de grãos dos cultivares.

Há uma separação de dois tipos de cultivares contrastantes quanto ao comportamento na utilização do N pelas plantas: (1) plantas que absorvem e assimilam maiores proporções de N na fase vegetativa e redistribuem intensamente na fase reprodutiva e apresentam rápida senescência associada com alta atividade de proteases e queda na capacidade fotossintética; e (2) plantas que apresentam grande proporção de absorção e assimilação de N após a floração, sendo as demais características opostas as da primeira (BELOW et al. 1981). Segundo BREDEMEIER & MUNDSTOCK (2000), a quantidade de N absorvida varia durante o ciclo de desenvolvimento da planta, em função da quantidade de raízes e da taxa de absorção por unidade de peso da raiz. Esta variação durante o ciclo é, em parte, explicada pela disponibilidade de N no solo, mas fatores intrínsecos à planta têm papel relevante neste processo, o que explica os diferentes valores de leitura do clorofilômetro e de teor de N na última folha durante o ciclo da planta. FRANÇA et al. (1999), em um experimento comparando dois cultivares de arroz (um de sequeiro e outro irrigado), observaram que a aparente similaridade nas taxas de absorção de N não implica no potencial produtivo similar nos cultivares estudados, e que esta é uma característica dependente principalmente da capacidade genotípica de partição do N acumulado pré-floração entre órgãos vegetativos e reprodutivos.

O cultivar IRGA 421, que apresentou os maiores valores de leitura durante o ciclo, foi o que apresentou uma das produtividades mais baixas, ficando acima somente do cultivar BR-IRGA 409 e não diferenciando do cultivar BR-IRGA 410 (Tabela 12). Já o cultivar EPAGRI 108 que na maioria das vezes apresentou os menores valores de leituras do clorofilômetro, apresentou, juntamente com o cultivar IRGA 417, a maior produtividade de grãos entre os demais cultivares. Isto leva a concluir que outros fatores, como quantidade de matéria seca produzida e o teor de N acumulado pela planta, devem ser levados em consideração para uma melhor interpretação dos resultados obtidos pelo método.

O comportamento da disponibilidade de N ao longo do ciclo da cultura monitorada pelas leituras da cartela de cores (Figura 14) foi semelhante ao observado pelas leituras do clorofilômetro. Porém, considerando cada época de avaliação separada, a sensibilidade deste método em diferenciar os cultivares foi menor que a do clorofilômetro. Enquanto o clorofilômetro diferenciou os materiais na primeira época de avaliação (15DAAN), não houve diferença entre os cultivares para as leituras realizadas com a cartela de cores (Figura 16), do que conclui-se que todas as plantas se encontravam num mesmo estado de disponibilidade de N, por este método.

Nas demais avaliações também é possível verificar que a cartela de cores não foi eficiente em separar as diferenças encontradas entre cultivares pelo clorofilômetro. A amplitude de valores da cartela de cores pode ser um fator que tenha influenciado na menor diferenciação entre os cultivares em relação ao clorofilômetro. Outras dificuldades encontradas com a utilização deste método foram a luminosidade, a exposição solar e o tom de verde de cada cultivar. Em dias nublados, com baixa luminosidade, a identificação na cartela de cores da cor correspondente ao verde das folhas é dificultada. Além disso, a posição da pessoa que está realizando as leituras em relação ao sol também modifica a interpretação dos valores, sendo indicado que a pessoa fique de costas para o sol, sombreando a planta escolhida para a leitura. O fato da cartela de cores ter sido desenvolvida em outro país para utilização em outros cultivares de arroz, que não os utilizados neste experimento, também dificultou a seleção da cor mais adequada à tonalidade do verde de alguns cultivares, como no caso do cultivar BR-IRGA 409. O que poderia implicar em uma adaptação nas tonalidades do verde da cartela de cores ou na

elaboração de uma nova cartela de cores para os cultivares mais representativos utilizados regionalmente.

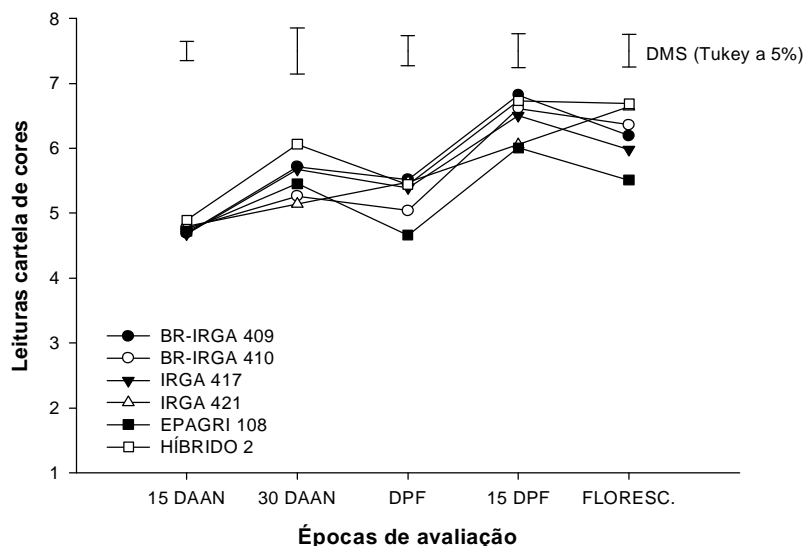


FIGURA 14. Leituras com a cartela de cores na última folha completamente expandida, aos 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (30DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias após DPF (15DPF) e no florescimento (FLORESC.), para seis cultivares de arroz irrigado. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS.

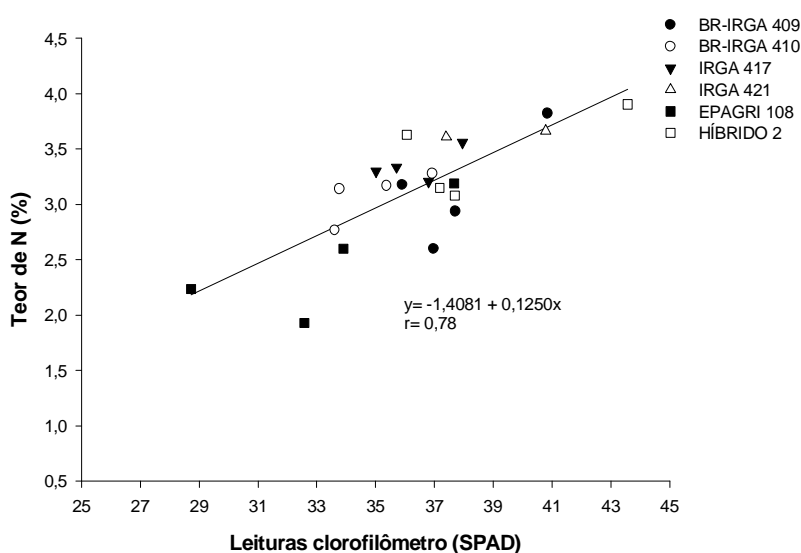


FIGURA 15. Correlação entre as leituras do clorofilômetro e o teor de N na última folha completamente expandida, para seis cultivares de arroz irrigado, em cinco épocas de avaliação, aos 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (30DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias após DPF (15DPF) e no florescimento (FLORESC.). Safra 2005/2006. Santa Maria - RS.

Na avaliação dos métodos de estimativa do teor de N, houve correlação significativa entre as leituras do clorofilômetro e o teor de N na última folha nos cultivares testados (Figura 15). Isto quer dizer que, independente do cultivar, houve uma correlação entre o método utilizado e o teor de N, quando a mesma parte da planta foi avaliada para os dois métodos.

Entretanto, para as leituras realizadas com a cartela de cores não houve correlação significativa com o teor de N na última folha (Figura 16). A amplitude da escala da cartela de cores e os efeitos da dificuldade de encontrar a tonalidade do verde da cartela para os diferentes cultivares, pode ter dificultado o ajuste com o teor de N na última folha. O que demonstra que a cartela de cores não teve a mesma sensibilidade na avaliação de diferentes materiais em comparação com o clorofilômetro.

Não houve correlação entre os métodos clorofilômetro e cartela de cores (Figura 17). Diferentemente dos resultados do experimento 1 (Figura 12) que demonstraram que a cartela de cores poderia ser uma alternativa para substituir o uso do clorofilômetro, em condições de diferentes disponibilidades de N para um mesmo cultivar, isto não foi observado quando se avaliaram diferentes cultivares.

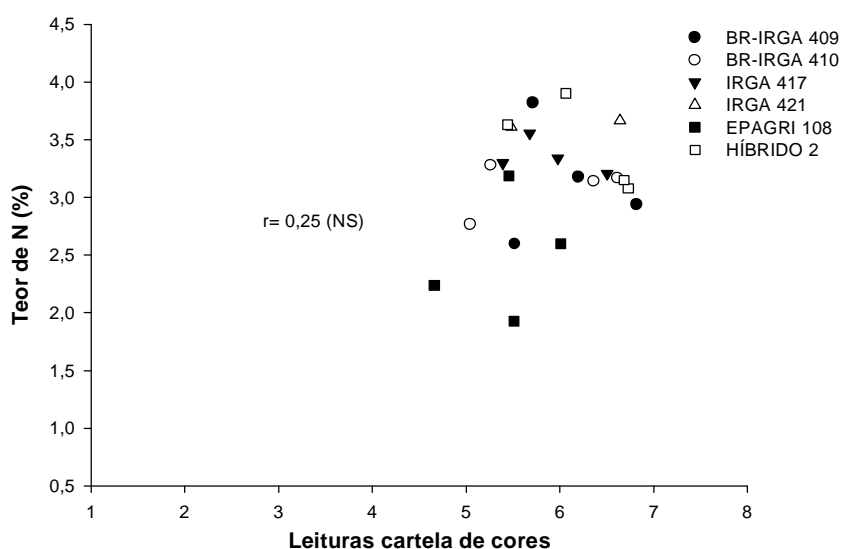


FIGURA 16. Correlação entre as leituras da cartela de cores e o teor de N na última folha completamente expandida, para seis cultivares de arroz irrigado, aos 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (30DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias após DPF (15DPF) e florescimento (FLORESC.). Safra 2005/2006. Santa Maria - RS.

Provavelmente a correlação não significativa da cartela de cores com o teor de N na última folha tenha influenciado negativamente na correlação entre os dois métodos testados. Isto indica que a cartela de cores não pode substituir o clorofilômetro na mesma equivalência para todos os cultivares, e que há necessidade de se considerar o fator cultivar na interpretação dos valores.

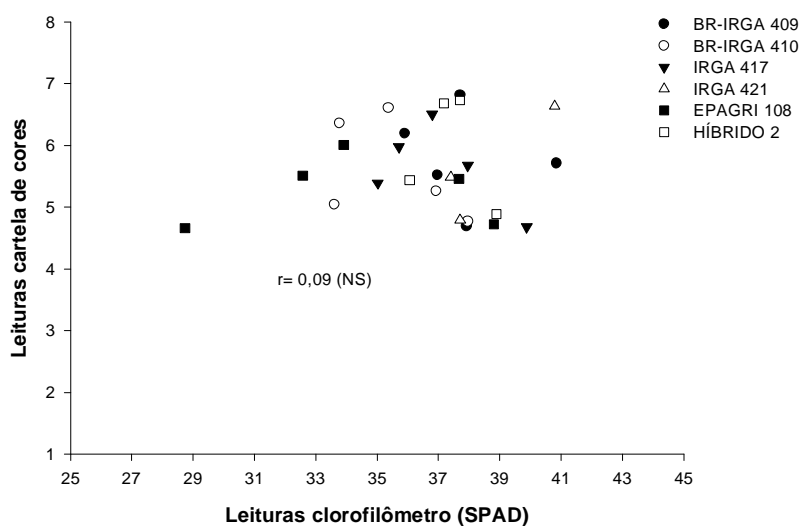


FIGURA 17. Correlação entre as leituras da cartela de cores e do clorofilômetro, para as cinco épocas de avaliação, aos 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (30DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias após DPF (15DPF) e no florescimento (FLORESC.), para seis cultivares de arroz irrigado. Safra 2005/06. Santa Maria - RS.

TABELA 12 - Produtividade de grãos de seis cultivares de arroz irrigado. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS.

| Cultivares | Produtividade de grãos Mg ha ⁻¹ |
|-------------|---|
| BR-IRGA 409 | 5,12 c |
| BR-IRGA 410 | 6,01 bc |
| IRGA 417 | 7,98 a |
| IRGA 421 | 5,93 bc |
| EPAGRI 108 | 7,93 a |
| HÍBRIDO 2 | 6,72 b |

Médias seguidas pela mesma letra não são significativamente diferentes pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

TABELA 13 - Produção de matéria seca de seis cultivares de arroz irrigado em cinco épocas de avaliação. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS.

| Cultivares | Épocas de avaliação | | | | |
|-------------|---------------------|---------|----------|---------|----------|
| | 15DAAN | 30DAAN | DPF | 15DPF | FLORESC. |
| | kg ha ⁻¹ | | | | |
| BR-IRGA 409 | 426 c | 2.632 a | 3.676 bc | 6.912 a | 10.735 a |
| BR-IRGA 410 | 725 ab | 3.235 a | 3.765 bc | 7.412 a | 12.985 a |
| IRGA 417 | 842 a | 3.255 a | 4.397 b | 6.985 a | 11.915 a |
| IRGA 421 | 546 bc | n. d. | 2.485 c | n. d. | 6.735 a |
| EPAGRI 108 | 465 bc | 2.725 a | 6.897 a | 9.338 a | 10.874 a |
| HÍBRIDO 2 | 426 c | 2.505 a | 3.176 bc | 8.074 a | 13.250 a |

15DAAN= 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura; 30DAAN= 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura; DPF= diferenciação do primórdio floral; 15DPF= 15 dias após a diferenciação do primórdio floral; FLORESC.= florescimento; n.d.= não determinado.

Médias seguidas mesma letra dentro da coluna, não são significativamente diferentes pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

Na correlação das leituras do clorofilômetro com a produtividade de grãos, houve correlação significativa somente na primeira época de avaliação (Figura 18). O que pode estar relacionado ao fato de que a avaliação do clorofilômetro em uma única folha não expresse o estado nutricional de toda a planta e que o fator diluição provocado pela diferente produção da matéria seca dos cultivares, tenha influenciado na obtenção dos valores do clorofilômetro, não se correlacionando com

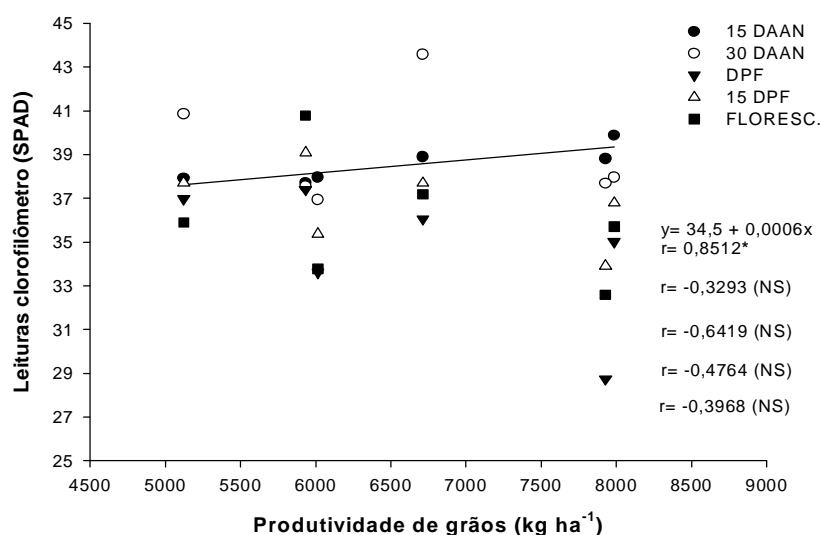


FIGURA 18. Correlação entre as leituras do clorofilômetro na última folha completamente expandida e a produtividade de grãos, aos 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (30DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias após DPF (15DPF) e no florescimento (FLORESC.), para seis cultivares de arroz irrigado. Safra 2005/06. Santa Maria - RS.

a produtividade de grãos. Fatores genéticos inerentes ao potencial produtivo das plantas são mais importantes para determinar a produtividade dos cultivares. Isto também indica que a produção de matéria seca e acúmulo de N possa ser uma ferramenta importante a se considerar, como já acontece em outros países e para outros sistemas, como, por exemplo, o Ricecheck na Austrália.

A correlação das leituras da cartela de cores com a produtividade de grãos não foi significativa para todas as épocas de avaliação (Figura 19). Os valores tenderam a diminuir com o aumento da produtividade, o que demonstra falta de aplicabilidade agrônômica, tendo em vista que leituras mais altas na cartela de cores, desde que outros fatores não estejam influenciando as determinações, estariam refletindo melhores condições nutricionais da lavoura, e conseqüentemente maiores produtividades.

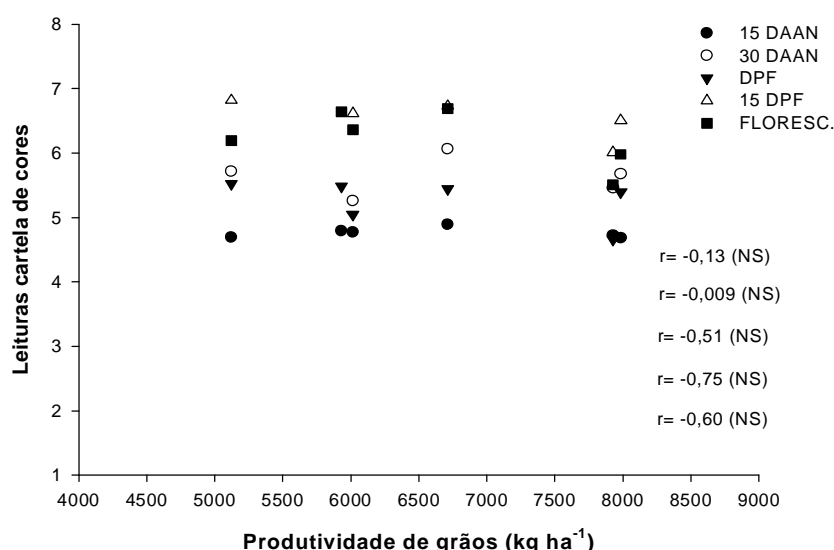


FIGURA 19. Correlação entre as leituras da cartela de cores na última folha completamente expandida e a produtividade de grãos, aos 15 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (15DAAN), 30 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura (30DAAN), diferenciação do primórdio floral (DPF), 15 dias após DPF (15DPF) e no florescimento (FLORESC.), para seis cultivares de arroz irrigado. Safra 2005/06. Santa Maria - RS.

4.4 Conclusões

Considerando um determinado cultivar, o clorofilômetro e a cartela de cores são sensíveis em estimar o teor de N na folha avaliada. Entretanto, ambos não são eficientes para estimar o teor de N na planta inteira.

Com menor sensibilidade, a cartela de cores pode ser um método alternativo ao clorofilômetro, desde que levado em consideração o fator cultivar na interpretação dos resultados.

O diferente estado nutricional dos cultivares, estimado pelo clorofilômetro e cartela de cores, não se correlaciona com a produtividade de grãos de arroz.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir deste estudo, foi possível constatar que a interpretação dos resultados da análise de alguns macronutrientes no tecido das plantas de arroz deve considerar a parte da planta coletada e a época da amostragem. Porém, não foi possível discriminar qual a melhor parte da planta ou época para se fazer a coleta de plantas, já que nenhum dos resultados apresentou correlação com a produtividade de grãos. Por outro lado, foi possível perceber que o teor dos macronutrientes no tecido das plantas não é suficiente para expressar o potencial de produtividade dos cultivares. Outros parâmetros, como a produção de matéria seca e/ou de nutrientes acumulados, poderiam auxiliar na interpretação destes resultados, podendo, inclusive, desde que calibrados estes parâmetros, haver a possibilidade de desconsiderar o fator cultivar.

Também foi possível verificar que, principalmente para o P, os teores encontrados no tecido das plantas estiveram abaixo do limite mínimo preconizado CQFS (2004) e, mesmo assim, a produtividade de grãos dos cultivares foi relativamente alta. Este fato ressalta a necessidade de estudos com o objetivo de averiguar se a faixa do teor de nutrientes considerada adequada pela CQFS (2004) para o P está de acordo com os resultados obtidos atualmente em experimentos desenvolvidos nos Estados do RS e SC.

O clorofilômetro e a cartela de cores demonstraram potencial para estimar o teor de N, exclusivamente, na folha em que foi realizada a leitura, porém, não foram métodos eficientes em diagnosticar o estado nutricional (referente ao N) da planta inteira do arroz irrigado. A cartela de cores apresentou menor sensibilidade em estimar o teor de N das plantas, em relação ao clorofilômetro, pois apresenta uma menor amplitude de leitura e não apresenta os tons de verde mais adequados aos cultivares avaliados. Por este fato, também não apresentou correlação com o teor de N de todos os cultivares de arroz irrigado avaliados, o que sugere que deve-se sempre considerar o cultivar na avaliação com a cartela de cores. Entretanto, para um mesmo cultivar, desde que calibradas as leituras, a cartela de cores poderia ser utilizada em substituição ao clorofilômetro, como uma alternativa de menor custo para o agricultor.

Tanto para o clorofilômetro e como para a cartela de cores, semelhante ao observado para o teor de macronutrientes do tecido foliar, os valores obtidos não

apresentaram correlação com a produtividade de grãos. Isso reforça que valores isolados referentes a estimativa estado nutricional, por qualquer dos métodos, pode não refletir o potencial produtivo do cultivar, e, assim, outros parâmetros da planta deveriam ser associados para melhor representar a condição nutricional e produtividade de grãos da cultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANUARIO BRASILEIRO DO ARROZ. Santa Cruz do Sul: Grupo Gazeta de Comunicações, 2006. 136 p.

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

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F. da; BORTOLIN, C. G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. **Ciência Rural.** v.31, n.4, p.715-722, 2001.

ARGENTA, G. et al. Parâmetros de planta como indicadores do nível de nitrogênio na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.** v.37, n.4, p.519-527, abr. 2002.

ARGENTA, G. et al. Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v.27, p.109-119, 2003.

ARIMA, Y. Uptake and accumulation of nitrogen. In: MATSUO, T. et al. (Eds.) **Science of the rice plant.** Tokyo: Food and Agriculture e Policy Research Center, 1995. p.327-343. V2: Physiology.

AZAMBUJA, I. H. V; VERNETTI Jr., F. J; MAGALHÃES Jr., A. M. Aspectos socioeconômicos da produção do arroz. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES Jr., A. M. de (Eds técnicos). **Arroz Irrigado no Sul do Brasil.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.

BALASUBRAMANIAN, V. On-farm adaptation of knowledge intensive nitrogen management technologies for rice systems. In: BALASUBRAMANIAN, V.; LADHA, J. K.; DENNIG, G. L. (Eds). **Resouce management in rice systems: nutrients.** 1999. p.79-95. Cap. 5.

BARBOSA FILHO, M. P.; DYNIA, J. F.; FAGERIA, N. K. **Zinco e Ferro na cultura do arroz.** 1. ed. Brasília: EMBRAPA, 71 p., 1994.

BELOW, F. E. et al. Availability of reduced N and carbohydrates for ear development of maize. **Plant Physiology.** v. 68, p.1186-1190, 1981.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural.** v.30, n.2, p.365-372, 2000.

CAMARGO, F. A. O. et al. Nitrogênio orgânico do Solo. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre: Gênese, 1999. p.117-137.

CAMARGO, F. A. O.; TEDESCO, M. J. Solos alagados. In: BISSANI, C. A. et al.

(Eds). **Fertilidade dos Solos e Adubação das culturas**. 1. ed. Porto Alegre: Gênese, 2004. p.187-193.

CARVALHO, P. G. **Efeitos do nitrogênio no crescimento e no metabolismo de frutanos em *Vernonia herbácea* (VELL.) RUSBY**. 2005. 116p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2005.

CARVALHO, M. A. C. et al. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio e teores foliares deste nutriente e de clorofila em feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.445-450, 2003.

CASTILHOS, R. M. V.; MEURER, E. J. Suprimento de potássio para o arroz alagado, em solos do RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1., REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 22., 1999, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p.334-337.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: SBCS-NRS/EMBRAPA-CNPT, 2004, 400 p.

COUNCE, P. A. et al. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**. v.40, n.2, p.436-443, 2000.

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ARROZ E FEIJAO. CNPAF/EMBRAPA. Santo Antonio de Goiás. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/arroz/historia.htm>>. Acesso em: 9 jan. 2007.

DE DATTA, S. K.; BROADBENT, F. E. Methodology for evaluating nitrogen utilization efficiency by rice genotypes. **Agronomy Journal**, v.80, p.793-798, 1988.

DIDONET, A. D.; BRAZ, A. J. B. P.; SILVEIRA, P. M. da. Adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro irrigado: uso do clorofilômetro. **Bioscience Journal**. v.21, n.3, p.103-111, 2005.

DUARTE, F. M. **Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e eficiência da adubação nitrogenada na cultura do arroz irrigado**. 2006. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

EMBRAPA. **Ambiente de software NTIA, versão 4.2.2: manual do usuário - ferramental estatístico**. Campinas: Centro Nacional de Pesquisa Tecnológica em Informática para a Agricultura, 1997. 258 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FAGUERIA, N. K. et al. Resposta diferencial de genótipos de arroz de sequeiro à fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.19, p.261-267, 1995.

FAGUERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B. dos. **Manejo da Fertilidade do Solo para o Arroz Irrigado**. 1. ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 250p.

FAIRHURST, T. H.; DOBERMANN, A. Rice in the global food supply. **Better Crops International**, v. 16, special supplement, 2002.

FAIRHURST, T. H.; WITT, C. Nutrient Management. In: Rice: A Practical Guide to Nutrient Management. **Potash & Phosphate Institute, Potash & Phosphate Institute of Canada and International Rice Research Institute**. 1st ed., p.1-45, 2002.

FONTES, P. C. R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. 1. ed. Viçosa: UFV. 2001. 122 p.

FURLANI, A. M. C. et al. Avaliação de genótipos de arroz quanto à eficiência na utilização de fósforo em solução nutritiva e em solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, p.291-303, 1983.

FURLANI, A. M. C.; BATAGLIA, O. C.; AZZINI, L. E. Variabilidade entre linhagens de arroz na absorção e utilização de potássio em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, p.135-141, 1986.

GIANELLO, C.; BISSANI, C. A. Avaliação da fertilidade do solo. In: BISSANI, C. A. et al. (Eds). **Fertilidade dos Solos e Adubação das culturas**. 1. ed. Porto Alegre: Gênese, 2004. 322 p.

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

GUIMARÃES, T. G. et al. Teores de clorofila determinados por medidor portátil e sua relação com formas de nitrogênio em folhas de tomateiro cultivados em dois tipos de solo. **Bragantia**, v.58, n.1, p.209-216, 1999.

IRGA. Instituto Rio Grandense do Arroz. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil**. Porto Alegre, 2001. 128 p.

KUNDU, D. K.; J. K. LADHA. Sustaining productivity of lowland rice soils: issues and options related to N availability. In: BALASUBRAMANIAN, V.; LADHA, J. K.; DENNIG, G. L. (Eds). **Resource management in rice systems: nutrients**. 1999. p.7-45. Cap. 2.

MACHADO, M. O.; DIAS, A. D. Resposta do arroz irrigado (cv Bluebelle) ao nitrogênio, em cinco anos de cultivo. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 14., 1985, Pelotas. **Anais...** Pelotas: EMBRAPA CPATB, 1985. p.241-249.

MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solos e folhas**. 1. ed. São Paulo: Agronômica CERES Ltda, 1992. 124 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. 2. ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319 p.

MARCHEZAN, E. Aspectos práticos e desafios para altas produtividades na lavoura de arroz irrigado. In: **Arroz irrigado: uso intensivo e sustentável de várzeas**. Santa Maria: Aldeia Norte, 2002. p.5-18.

MARSCHNER, L. F. M. **Mineral nutrition of higher plants**. Orlando: Academic Press, 1995. 649 p.

MARZARI, V. **Influência da população de plantas, doses de nitrogênio e controle de doenças na produção e qualidade de grãos e sementes de arroz irrigado**. 2005. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

MILLER, B. C.; HILL, J. E.; ROBERTS, S. R. Plant population effects on growth and yield in water seeded rice. **Agronomy Journal**. v.83, n.2, p.291-297, 1991.

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

MORAES, J. F. B; FREIRE, C. J. S. Variação do pH, da condutividade elétrica e da disponibilidade dos nutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio em quatro solos submetidos a inundação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.9, p.35-43, 1974.

MORENO, J. A. Clima do Rio Grande do Sul. Secretaria da Agricultura. **Divisão de Terras e Colonização**, Porto Alegre, 1961.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v. 27, p.31-36, 1962.

NEVES, et al. Uso do SPAD-502 na avaliação dos teores foliares de clorofila, nitrogênio, enxofre, ferro e manganês do algodoeiro herbáceo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.5, p.517-521, 2005.

PENG, S. et al. Adjustment for specific leaf weight improves chlorophyll meter's estimate of rice leaf nitrogen concentration. **Agronomy Journal**, v.85, n.5, p.987-990, 1993.

PENG, S. et al. Increased N-use efficiency using a chlorophyll meter on high-yielding irrigated rice. **Field Crops Research**, v. 47, p. 243-252, 1996.

PEREIRA, J. A. **Cultura do arroz no Brasil: subsídios para sua história**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2002. 226 p.

RANNO, S. K. **Estimativa da disponibilidade de fósforo para a cultura do arroz irrigado em solos do RS**. 2004. 139 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

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

REED, A. J.; BELOW, F. E.; HAGEMAN, R. H. Grain proteins accumulation and relationship between leaf nitrate reductase and protease activities during grain development in maize (*Zea mays* L.). **Plant Physiology**, v.66, p.164-170, 1980.

RICECHECK. Recommendations: A guide for rice crop management for improving yields, grain quality and profits and environmental sustainability. **NSW Department of Primary Industries**. 2006. 23 p.

SCIVITTARO, W. B.; MACHADO, M. O. Adubação e calagem para a cultura do arroz irrigado. In: GOMES, A. da S., MAGALHÃES JUNIOR, A. M. de (Org). **Arroz Irrigado no Sul do Brasil**. Brasília - DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004, p.259-303. cap. 9.

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

SINGH, B. et al. Chlorophyll Meter and Leaf Color Chart-Based Nitrogen Management for Rice and Wheat in Northwestern India. **Agronomy Journal**, v.94, p.821-829, 2002.

SOSBAI, Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. Arroz Irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil. In: **IV CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 4.; E XXVI REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 26.**, Santa Maria, 2005. 159 p.

SOUZA, R. O.; CAMARGO F. A. O.; VAHL, L. C. Solos Alagados: Reações de redox. In: MEURER, E. J. (Ed.) **Fundamentos de química do solo**. 2. ed. Porto Alegre: Gênese, 2004. p.208-237.

SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: **Nutrição mineral de plantas**. FERNANDES, M. S. (Ed.). Viçosa : CBCS, 2006. p.215-252.

STORCK, L. et al. Planejamento e controle de qualidade dos experimentos. In: **Experimentação vegetal**. 2. ed. Santa Maria, UFSM, 2006. p. 91-117.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Nutrição mineral. In: **Fisiologia Vegetal**. 3. ed., 2004. p.95-113. cap. 5.

TEDESCO, J. M. et al. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de solos, Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p.

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

VAHL, L. C.; SOUZA, R. O. Aspectos físico-químicos de solos alagados. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. M. de (Org). **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília: Embrapa, 2004, p.97-118, cap. 4.

ZENG. L.; SHANNON, M. C. Effects of salinity on grain yield and yield components of rice at differene seeding densities. **Agronomy Journal**. v.92, n.3, p.418-423,, 2000.

ANEXOS



Anexo A - Fotos do experimento a campo. Fonte: Britzke (2006).



Anexo B - Separação da última folha das plantas de arroz. Fonte: Britzke (2006).

ANEXO C - Análise da variância

Tabela 14 - Análise de variância para produção de matéria seca de seis cultivares de arroz irrigado em cinco épocas de avaliação. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS.

| Causa da variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | Significância |
|-----------------------|------|---------------|--------------|---------------|
| 1ª época de avaliação | | | | |
| Bloco | 3 | 70916.781 | 23638.927 | 0,001* |
| Tratamentos | 5 | 604303.248 | 120860.649 | |
| Erro | 15 | 235829.128 | 15721.941 | |
| Total | 23 | 911049.158 | | |
| Média geral= 571,8 | | | | |
| CV (%)= 21,93 | | | | |
| 2ª época de avaliação | | | | |
| Bloco | 3 | 628941.402 | 209647.134 | 0.063 |
| Tratamentos | 4 | 1969038.158 | 492259.539 | |
| Resíduo | 12 | 1970200.417 | 164183.368 | |
| Total | 19 | 4568179.977 | | |
| Média geral= 2870,5 | | | | |
| CV (%)= 14,12 | | | | |
| 3ª época de avaliação | | | | |
| Bloco | 3 | 3638275.581 | 1212758.527 | <.0001* |
| Tratamentos | 5 | 46627344.552 | 9325468.910 | |
| Resíduo | 15 | 8352475.296 | 556831.686 | |
| Total | 23 | 58618095.429 | | |
| Média geral= 4066,1 | | | | |
| CV (%)= 18,35 | | | | |
| 4ª época de avaliação | | | | |
| Bloco | 3 | 5474371.945 | 1824790.648 | 0.062 |
| Tratamentos | 4 | 16115116.853 | 4028779.213 | |
| Resíduo | 12 | 16024257.826 | 1335354.818 | |
| Total | 19 | 37613746.625 | | |
| Média geral= 7744,1 | | | | |
| CV (%)= 14,92 | | | | |
| 5ª época de avaliação | | | | |
| Bloco | 3 | 17508879.838 | 5836293.279 | 0.061 |
| Tratamentos | 5 | 112293059.397 | 22458611.879 | |
| Resíduo | 15 | 123801316.094 | 8253421.073 | |
| Total | 23 | 253603255.329 | | |
| Média geral= 11082,3 | | | | |
| CV (%)= 25,92 | | | | |

Sendo: G.L.: Graus de liberdade; S.Q.: Soma de Quadrados; Q.M.: Quadrado Médio; CV: Coeficiente de Variação; (*) significativo em nível de 5% de probabilidade de erro.



Anexo D - Fotos do experimento a campo. Fonte: Britzke (2005/2006).



Anexo E - Leituras realizadas com o clorofilômetro. Fonte: Britzke (2006).



Anexo F - Leituras realizadas com a Cartela de Cores. Fonte: Britzke (2006).

Anexo G - Média das leituras da cartela de cores entre as épocas de avaliação para cada dose de N e para os dois modos de 1ª aplicação de N em cobertura. Cultivar IRGA 417. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS.

| Doses de N Kg ha ⁻¹ | Leituras cartela de cores | |
|-----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| | 1ª aplicação de N antes alag. | 1ª aplicação de N depois alag. |
| 0 | 5,12 | 5,60 |
| 50 | 5,35 | 5,65 |
| 80 | 5,62 | 5,70 |
| 120 | 5,67 | 5,77 |
| 160 | 5,65 | 5,80 |
| Média | 5,48 | 5,70 |

Anexo H - Análise de regressão para as leituras do clorofilômetro em função das doses de N e modo da 1ª aplicação de N em cobertura, antes e depois do alagamento. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS.

| Época | Modo | Grau | Erro | Significância | R ² | Equação |
|-------|------|--------|------|---------------|----------------|--------------------|
| 1 | 1 | Linear | 0,90 | < 0,0001 | 0,77 | Y= 29,85 + 0,0586X |
| 1 | 2 | Linear | 1,48 | 0,0007 | 0,48 | Y= 33,64 + 0,0498X |
| 4 | 1 | Linear | 2,30 | 0,0348 | 0,22 | Y= 35,18 + 0,0138X |

Nível de significância= 5% (<0,05)

Anexo I - Análise de regressão para as leituras da cartela de cores em função das doses de N e modo da 1ª aplicação de N em cobertura, antes e depois do alagamento. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS.

| Modo | Grau | Erro | Signific. | R ² | Equação |
|------|--------|-------|-----------|----------------|--|
| 1 | Quad. | 0,009 | 0,0042 | 0,84 | Y= 5,09 + 0,008X - 2x10 ⁻⁵ X ² |
| 2 | Linear | 0,01 | 0,001 | 0,46 | Y= 5,57 + 0,001X |

Nível de significância= 5% (<0,05)

Anexo J - Acúmulo de matéria seca da parte aérea das plantas de arroz, em função das doses de nitrogênio, com 1ª aplicação de N em cobertura antes e depois do alagamento, para as quatro épocas de avaliação. Cultivar IRGA 417. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS.

| kg de N ha ⁻¹ | 1ª aplicação de N em cobertura antes do alagamento | | | |
|--------------------------|---|-------|--------|----------|
| | 15 DAAN | DPF | 15 DPF | FLORESC. |
| | kg ha ⁻¹ | | | |
| 0 | 756 | 2.779 | 4.613 | 8.199 |
| 50 | 774 | 3.294 | 5.162 | 10.941 |
| 80 | 794 | 3.510 | 5.588 | 11.461 |
| 120 | 988 | 3.821 | 6.961 | 11.954 |
| 160 | 850 | 3.117 | 6.618 | 9.971 |
| kg de N ha ⁻¹ | 1ª aplicação de N em cobertura depois do alagamento | | | |
| | 15 DAAN | DPF | 15 DPF | FLORESC. |
| | kg ha ⁻¹ | | | |
| 0 | 924 | 2.235 | 5.191 | 9.755 |
| 50 | 718 | 2.683 | 4.897 | 10.083 |
| 80 | 805 | 2.758 | 6.603 | 10.495 |
| 120 | 1.233 | 4.513 | 5.971 | 11.276 |
| 160 | 1.022 | 3.353 | 5.426 | 12.534 |

Anexo L - Nitrogênio acumulado na matéria seca da parte aérea das plantas de arroz, em função das doses de nitrogênio, com aplicação da 1ª adubação de N em cobertura antes e depois do alagamento, para as quatro épocas de avaliação. Cultivar IRGA 417. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS.

| Kg de N ha ⁻¹ | 1ª aplicação de N em cobertura antes do alagamento | | | |
|--------------------------|--|------|--------|----------|
| | 15 DAAN | DPF | 15 DPF | FLORESC. |
| | kg ha ⁻¹ | | | |
| 0 | 18,5 | 54,7 | 95,8 | 100,0 |
| 50 | 23,2 | 58,5 | 124,6 | 143,6 |
| 80 | 22,6 | 64,9 | 137,4 | 140,9 |
| 120 | 30,2 | 80,3 | 174,0 | 165,8 |
| 160 | 24,8 | 61,4 | 148,9 | 143,2 |

| Kg de N ha ⁻¹ | 1ª aplicação de N em cobertura depois do alagamento | | | |
|--------------------------|---|------|--------|----------|
| | 15 DAAN | DPF | 15 DPF | FLORESC. |
| | kg ha ⁻¹ | | | |
| 0 | 23,2 | 40,4 | 118,5 | 107,4 |
| 50 | 19,1 | 50,7 | 105,9 | 126,0 |
| 80 | 19,1 | 57,6 | 147,5 | 123,5 |
| 120 | 35,5 | 94,7 | 137,4 | 175,9 |
| 160 | 28,5 | 65,7 | 136,6 | 172,9 |

Anexo M - Nitrogênio acumulado, para seis cultivares de arroz irrigado em cinco épocas de avaliação. Safra 2005/2006. Santa Maria - RS.

| Cultivares | Épocas de avaliação | | | | |
|-------------|---------------------------------|---------|---------|---------|----------|
| | 15DAAN | 30DAAN | DPF | 15DPF | FLORESC. |
| | kg ha ⁻¹ | | | | |
| BR-IRGA 409 | 10,6 b | 101,4 a | 103,8 a | 202,9 a | 348,7 a |
| BR-IRGA 410 | 20,7 a | 105,8 a | 103,6 a | 235,9 a | 409,8 a |
| IRGA 417 | 21,6 a | 119,8 a | 147,3 a | 223,1 a | 402,1 a |
| IRGA 421 | 13,9 ab | n. d. | 90,3 a | n. d. | 246,7 a |
| EPAGRI 108 | 12,7 ab | 87,1 a | 155,0 a | 242,9 a | 210,8 a |
| HÍBRIDO 2 | 12,7 ab | 100,3 a | 115,2 a | 253,6 a | 406,8 a |

n. d.= não determinado

Médias seguidas pela mesma letra dentro da coluna, não são significativamente diferentes pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.