

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

**DISPONIBILIDADE DO NITROGÊNIO EM SOLOS DE
VÁRZEA E PARÂMETROS DA PLANTA PARA
AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DA CULTURA DO
ARROZ IRRIGADO**

TESE DE DOUTORADO

Elisandra Pocojeski

Santa Maria, RS, Brasil

2011

DISPONIBILIDADE DO NITROGÊNIO EM SOLOS DE VÁRZEA E PARÂMETROS DA PLANTA PARA AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO

Elisandra Pocojeski

Tese apresentada ao Curso de Doutorado 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 **Doutor em Ciência do Solo.**

Orientador: Prof. Dr. Leandro Souza da Silva

Santa Maria, RS, Brasil

2011

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Tese de Doutorado

**DISPONIBILIDADE DO NITROGÊNIO EM SOLOS DE VÁRZEA E
PARÂMETROS DA PLANTA PARA AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DA
CULTURA DO ARROZ IRRIGADO**

Elaborada por
Elisandra Pocojeski

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

Comissão Examinadora:

Leandro Souza da Silva, Dr.
(Presidente/Orientador)

Carlos Alberto Ceretta, Dr. (UFSM)
(Co-orientador)

Sandro José Giacomini, Dr. (UFSM)

Flávio Anastácio de Oliveira Camargo, Dr. (UFRGS)

Rogério Oliveira de Sousa, Dr. (UFPEl)

Santa Maria, 31 de agosto de 2011.

DEDICATÓRIA

À minha família e aos meus amigos que contribuíram física ou afetivamente para que o trabalho fosse desenvolvido da melhor maneira possível.
Pyta Palma, Isa Lopes e Paulo Fabrício pelas inúmeras vezes que me estenderam a mão em momentos difíceis e pelas alegrias compartilhadas...

AGRADECIMENTOS

Ao meu filho Victor, pelo tempo de espera, pela ausência nas várias datas especiais e pela distância física... Agora falta pouco!!!

Aos meus pais David e Maria, por todo apoio que sempre me deram, pela compreensão, pela confiança e esperança de dias mais próximos,

Ao meu orientador, Prof. Leandro, por toda a convivência e aprendizado destes longos anos,

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

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) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de iniciação científica e auxílio financeiro,

Aos bolsistas de iniciação científica, pelo auxílio em todas as atividades, em especial a Simone Kaefer e Darinês Britzke,

Aos colegas de Pós-Graduação, pelo convívio, pela amizade, pela troca de experiência, todos muito especiais, porém alguns guardarei com carinho muitas recordações, Edu Lou, Alexandre Doneda, Stefen Pujol, Ju Lorensi, Beto Casali, Fabi Dor, Fabi Trevi, Letícia, Luisa & Luis, Rô Martinazzo, Gê_Ricardo e tantos mais.

Aos professores do PPGCS, pelos vários momentos compartilhados, levo todos os bons exemplos profissionais e pessoais, em especial profs. Celso Aita, Ricardo S. D. Dalmolin, Danilo R. dos Santos e Carlos A. Ceretta,

Aos funcionários do Departamento de Solos, em especial ao Finamor, que foi sempre um grande incentivador e motivador em minhas atividades,

Obrigada a todos!

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria

DISPONIBILIDADE DO NITROGÊNIO EM SOLOS DE VÁRZEA E PARÂMETROS DA PLANTA PARA AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO

Autora: Elisandra Pocojeski

Orientador: Leandro Souza da Silva

Data e local da defesa: Santa Maria, 31 de agosto de 2011.

O objetivo desse trabalho foi avaliar a mineralização de N em condições aeróbicas e anaeróbicas em experimento de incubação e monitorar o nível de N nas plantas com o uso clorofilômetro para estabelecer um valor crítico de leitura SPAD (Soil Plant Analysis Development) para a cultura do arroz irrigado. Foram desenvolvidos dois estudos, sendo o estudo 1 em laboratório, com incubação de diferentes tipos de solos de sequeiro e de várzea, em condições úmidas e alagadas. Foram realizadas nove avaliações dos teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- . Paralelamente, foi desenvolvido um experimento em casa-de-vegetação utilizando-se os mesmos solos nas mesmas condições com o cultivo de arroz. Ao final do experimento determinou-se a matéria verde/seca, teor de N no tecido das plantas e N acumulado. Para o estudo 2 foram desenvolvidos três experimentos a campo, nas safras 2006/07; 2007/08 e 2008/09, com cultivares de arroz irrigado. Para o experimento 1 como tratamentos foram pré-estabelecidas seis faixas de valores de leitura do clorofilômetro no estágio R0 e seis doses para a 1ª adubação de cobertura. Foram realizadas avaliações com o clorofilômetro e, quando necessário, foi aplicado N para atingir os valores de leitura pré-estabelecidos em R0. Para os experimentos 2 e 3 foram utilizadas diferentes doses de N para a 1ª e 2ª adubação de cobertura, sendo posteriormente realizadas as leituras com o clorofilômetro. Para o estudo 2 também foram determinados a matéria verde/seca, teor de N no tecido das plantas e N acumulado. No estudo 1 os solos alagados apresentaram os maiores teores de N-NH_4^+ liberados durante o experimento. Os maiores teores de N-NO_3^- foram para os solos de várzea úmidos, sendo que os solos que apresentaram maiores teores de MOS, apresentaram também maiores teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- . O N mineral acumulado aos 102 dias nos solos de várzea foi maior quando mantidos sob alagamento e nos de sequeiro quando mantidos úmidos. A melhor correlação foi obtida entre o teor de N-mineral e o N acumulado no tecido das plantas. Para o experimento 1 do estudo 2 houve relação linear entre os valores de leituras do clorofilômetro em R0 e o teor de N das plantas, entretanto, a produtividade de grãos teve um comportamento quadrático quando relacionadas com as leituras do clorofilômetro, sendo estimado o valor crítico de leitura de 36 unidades SPAD em R0. Para os experimentos 2 e 3 do estudo 2 houve efeito da 1ª e 2ª aplicação de N evidenciado pelas leituras do clorofilômetro, porém com o passar do tempo as leituras foram semelhantes para todos os tratamentos. A matéria verde e/ou seca e N acumulado responderam linearmente às doses de N. Não houve efeito de interação para as doses de N na produtividade de grãos de ambos experimentos e a resposta desta foi quadrática. A avaliação do estado nutricional das plantas pelo clorofilômetro, isoladamente, não é um bom indicador das condições gerais da lavoura, podendo a matéria verde ou seca ajudar na interpretação dos resultados para um melhor ajuste na adubação de N em cobertura.

Palavras-chave: Mineralização de N, matéria orgânica do solo, clorofilômetro.

ABSTRACT

Doctorate Thesis
Post-Graduate Program in Soil Science
Federal University of Santa Maria

NITROGEN AVAILABILITY IN LOWLAND SOILS AND PLANT PARAMETERS FOR NUTRITIONAL EVALUATION OF FLOODED RICE CROP

Author: Elisandra Pocojeski

Adviser: Leandro Souza da Silva

Date and Local of the defense: Santa Maria, August, 31st, 2011.

The present work aims at assessing the nitrogen mineralization in aerobic and anaerobic conditions in an incubation experiment and monitoring the N level in plants by the use of chlorophyll meter in order to establish a critical value of the SPAD (Soil Plant Analysis Development) reading for flooded rice crop. Two studies were carried out being one in the lab, with incubation of different kinds of rainfed and lowland soils, in humid and flooded conditions. Nine evaluations of N-NH_4^+ e N-NO_3^- content were carried out. Parallely, an experiment in the greenhouse has been carried out by using the same soils in the same conditions as the rice crop. At the end of the experiment the green/dry matter, Nitrogen content in the plant tissue and accumulated Nitrogen were determined. For the second study, three field experiments were developed in the crops of 2006/07; 2007/08 and 2008/09, with flooded rice cultivars. For the experiment 1, six limits of values in the chlorophyll meter were established as treatment in the R0 stage and six doses for the 1st topdressing fertilization. Assessment with the chlorophyll meter was carried out and when necessary, nitrogen was applied in order to reach the pre-established reading values in R0. For the experiments 2 and 3, different doses of N were used for the 1st and the 2nd topdressing fertilization, one after the readings were done with chlorophyll meter. For the study 2 green/dry matter, N content in the tissue and accumulated N were also determined. In study 1 the flooded soils presented the highest N-NH_4^+ contents released during the experiment. The highest N-NO_3^- contents were lowland soils, once the soils presented the highest SOM contents, they also presented the highest contents of N-NH_4^+ and N-NO_3^- . The accumulated N mineral at 102 day in the lowlands was higher when maintained under flood and rainfed when kept humid. The best correlation was obtained between the N-mineral content and the accumulated N in the plant tissue. For the experiment 1 of the study 2 there was a linear reaction between values of the chlorophyll meter readings in R0 and the N content in plants, however, the grain productivity had a quadratic behavior when related to the chlorophyll meter readings, being the estimated the critical value of the reading of 36 SPAD units in R0. For the experiments 2 and 3 of the study 2 there was effect of the 1st and the 2nd application of N demonstrated by the chlorophyll meter readings, nevertheless, as the time passed by the readings were similar for all treatments. The green and/or dry matter and the accumulated N responded linearly to the doses of N. there was no interaction effect for the doses of N in the grain productivity in both experiments and its answer was quadratic. The nutritional state evaluation of the plants by the chlorophyll meter, alone, is not a good indicator of the general conditions of the crop and the green or dry matter might help in the interpretation of the results for a better adjust in the topdressing N fertilization.

Key words: N mineralization, soil organic matter, chlorophyll meter.

LISTA DE FIGURAS

	Página
CAPÍTULO 1	
Figura 1 - Experimento de avaliação da mineralização do N em laboratório, (a) Frascos contendo os solos em condições aeróbicas e anaeróbicas, (b) Armazenamento em frascos maiores, (c) Experimento mantido em incubadora horizontal, tipo DBO, a 28 °C. Santa Maria – RS.....	31
Figura 2 - Vista geral das plantas de arroz irrigado, em condições úmidas e alagadas, para os solos de sequeiro e de várzea, em casa de vegetação. Cultivar Puitá Intá CL. 2010/2011. Santa Maria – RS.....	33
Figura 3 - Teores de $N-NH_4^+$, ao longo da avaliação do experimento de incubação, para solos de várzea e de sequeiro, em condições úmidas. Santa Maria-RS. 2010-2011.....	34
Figura 4 - Teores de $N-NH_4^+$, ao longo da avaliação do experimento de incubação, para solos de várzea e de sequeiro, em condições alagadas. Santa Maria-RS. 2010-2011.....	35
Figura 5 - Teores de $N-NO_3^-$, ao longo da avaliação do experimento de incubação, para solos de várzea e de sequeiro, em condições úmidas. Santa Maria-RS. 2010-2011.....	38
Figura 6 - Teores de $N-NO_3^-$, ao longo da avaliação do experimento de incubação, para solos de várzea e de sequeiro, em condições alagadas. Santa Maria-RS. 2010-2011.....	39
CAPÍTULO 2	
Figura 7 - Teor de N (a), produção de matéria seca (b) e quantidade de N acumulado na matéria seca (c) em função das leituras do clorofilômetro (unidades SPAD) no estádio R0. Cultivar IRGA 422 CL. Safra 2006/2007. Santa Maria - RS.....	56
Figura 8 - Produtividade de grãos de arroz em função das leituras do clorofilômetro (unidades SPAD) realizadas no estádio R0. Cultivar IRGA 422 CL. Safra 2006/2007. Santa Maria - RS.....	56
Figura 9 - Leituras SPAD realizadas com clorofilômetro ao longo do ciclo da cultura do arroz irrigado, nos tratamentos com diferentes doses de N na parcela principal (a, b, c, d, e) e nas subparcelas. Cultivar IRGA 422 CL. Safra 2007/2008. Santa Maria - RS.....	62
Figura 10 - Leituras SPAD realizadas com clorofilômetro ao longo do ciclo da cultura do arroz irrigado, nos tratamentos com diferentes doses de N na parcela principal (a, b, c, d, e e f) e nas subparcelas. Cultivar IRGA 424. Safra 2008/2009. Santa Maria - RS.....	64
Figura 11 - Relação entre as doses de N e as leituras SPAD do clorofilômetro aos 20 dias após o algamento (a) e aos 34 dias após o alagamento (estádio R0) (b). Cultivar IRGA 424. Safra 2008/09. Santa Maria – RS.	65
Figura 12 - Produção de matéria verde e/ou seca. Cultivar IRGA 422 CL. Safra 2007/2008. Santa Maria -RS.....	66
Figura 12 - Relação entre as doses de N e a produção de matéria verde e/ou seca. Cultivar IRGA 424. Safra 2008/2009. Santa Maria – RS.....	67
Figura 14 - Relação entre as doses de N e o teor de N acumulado na matéria seca das plantas de arroz irrigado. Cultivar IRGA 424. Safra 2008/2009. Santa Maria - RS.....	68

Figura 15 - Relação entre as doses de N e o teor de N acumulado na matéria seca das plantas de arroz irrigado. Cultivar IRGA 424. Safra 2008/2009. Santa Maria – RS..... 68

LISTA DE TABELAS

	Página
CAPÍTULO 1	
Tabela 1 - Características químicas dos solos de várzea coletados na profundidade de 0 - 10cm, no município de Cachoeira do Sul - RS.....	29
Tabela 2 - Características químicas dos solos de sequeiro coletados na profundidade de 0 - 10cm, no município de Cachoeira do Sul - RS.....	30
Tabela 3 - Teores de $N-NH_4^+$ ao longo da avaliação do experimento de incubação, em solos de várzea e de sequeiro, sob condições úmidas. Santa Maria-RS. 2010/11.....	36
Tabela 4 - Teores de $N-NH_4^+$ ao longo da avaliação do experimento de incubação, em solos de várzea e de sequeiro, sob condições de alagamento. Santa Maria-RS. 2010/11.....	36
Tabela 5 - Teores de $N-NH_4^+$ ao longo da avaliação do experimento de incubação, em solos de várzea e de sequeiro, sob condições úmidas (U) e de alagamento (A). Santa Maria-RS. 2010/11.....	37
Tabela 6 - Teores de $N-NO_3^-$ ao longo da avaliação do experimento de incubação, em solos de várzea e de sequeiro, sob condições úmidas. Santa Maria-RS. 2010/11.....	40
Tabela 7 - Teores de $N-NO_3^-$ ao longo da avaliação do experimento de incubação, em solos de várzea e de sequeiro, sob condições de alagamento. Santa Maria-RS. 2010/11.....	40
Tabela 8 - Teores de $N-NH_4^+$ ao longo da avaliação do experimento de incubação, em solos de várzea e de sequeiro, sob condições úmidas (U) e de alagamento (A). Santa Maria-RS. 2010/11.....	41
Tabela 9 - Pico de produção de $N-NH_4^+$, $N-NO_3^-$ e N-mineral durante o período de incubação do experimento. Santa Maria - RS.....	42
Tabela 10 - Produção de matéria verde e seca, teor de nitrogênio (N) e N acumulado no tecido das plantas de arroz irrigado, cultivar Puitá CL intá, em função dos tipos de solo e condições de umidade. Santa Maria - RS.....	44
CAPÍTULO 2	
Tabela 11 - Doses de N aplicadas na 1ª adubação de cobertura e leituras críticas do clorofilômetro. Cultivar IRGA 422 CL. Safra 2006/2007. Santa Maria - RS.....	53
Tabela 12 - Tratamentos e avaliações realizadas com o clorofilômetro durante o cultivo do arroz irrigado. Cultivar IRGA 422 CL. Safra 2006/2007. Santa Maria - RS.....	54
Tabela 13 - Quantidade de N aplicado em cobertura nos tratamentos em função das leituras obtidas pelo clorofilômetro durante o cultivo do arroz irrigado e a produtividade de grãos. Cultivar IRGA 422 CL. Safra 2006/2007. Santa Maria - RS.....	54
Tabela 14 - Produtividade de grãos em função de doses de nitrogênio aplicadas em cobertura. Cultivar IRGA 422 CL. Safra 2007/2008. Santa Maria - RS.....	69

Tabela 15 - Produtividade de grãos em função de doses de nitrogênio aplicadas em cobertura. Cultivar IRGA 424. Safra 2008/2009. Santa Maria - RS.....	70
---	----

LISTA DE ANEXOS

	Página
Anexo A - Croqui do Experimento 2. Safra 2007/2008. Santa Maria - RS.....	81
Anexo B - Croqui do Experimento 3. Safra 2008/2009. Santa Maria - RS.....	82
Anexo C - Diferenças visuais das plantas de arroz irrigado (T0= 0 kg N ha ⁻¹ ; T1= 20 kg N ha ⁻¹ ; T2= 55 kg N ha ⁻¹ ; T3= 115 kg N ha ⁻¹ ; T4= 190 kg N ha ⁻¹ e T5= 280 kg N ha ⁻¹). Experimento 1. Safra 2006/2007. Santa Maria - RS.....	83
Anexo D - Visão geral do Experimento 2 e colheita de grãos. Safra 2007/2008. Santa Maria - RS.....	84
Anexo E - Visão geral do Experimento 3. Safra 2008/2009. Santa Maria - RS.....	85

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	14
2 HIPÓTESES	17
3 OBJETIVO GERAL	18
4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
5 CAPÍTULO 1	19
5.1 Revisão Bibliográfica.....	19
5.2 Material e Métodos.....	29
5.3 Resultados e discussão.....	33
5.3.1 Teores de N-NH ₄ ⁺ , N-NO ₃ ⁻ e N-mineral.....	33
5.3.2 Produção de matéria verde e/ou seca e N acumulado no tecido das plantas.....	43
5.4 Conclusões.....	46
6 CAPÍTULO 2	47
6.1 Revisão Bibliográfica.....	47
6.2 Descrição geral dos experimentos.....	51
a) Experimento 1.....	51
6.3 Material e métodos.....	51
6.4 Resultados e discussão.....	53
6.5 Conclusões.....	57
b) Experimento 2 e 3.....	58
6.6 Material e Métodos.....	58
Safra 2007/2008.....	59
Safra 2008/2009.....	59
6.7 Resultados e discussão.....	60
6.7.1 Leituras do clorofilômetro.....	60
6.7.2 Produção de matéria verde/seca e N acumulado.....	66
6.7.3 Produtividade de grãos.....	69
6.8 Conclusões.....	71
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
REFERÊNCIAS	73

1 INTRODUÇÃO

O Rio Grande do Sul é o maior produtor brasileiro de arroz, contribuindo com 65% da produção total nacional, sendo que o sistema de cultivo tradicionalmente praticado é o do arroz irrigado por alagamento, o qual representa pouco mais de 81% do arroz irrigado colhido no Brasil (ANUÁRIO BRASILEIRO DE ARROZ, 2011). No Rio Grande do Sul, embora as produtividades estejam entre as maiores do Brasil (média de aproximadamente 7.600 kg ha^{-1}), fatores como o clima, manejo da fertilidade e da irrigação, infestação de arroz vermelho, genética e a própria morfologia da planta são alguns dos fatores que ainda interferem para um maior incremento na produtividade de grãos.

O manejo da fertilidade dos solos cultivados com arroz irrigado por alagamento é realizado com base nos resultados da análise do solo, antes da implantação da cultura, semelhante às culturas de sequeiro. Porém, para 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 a redução de compostos inorgânicos nessas condições, especialmente nitrato, óxidos de manganês e ferro, e sulfato. As alterações provocadas pelo alagamento têm influência direta na disponibilidade de nutrientes, sendo que, na maioria dos casos, há um aumento desta. Em função disto, vários estudos demonstram que nem sempre há adequada correlação entre a disponibilidade de nutrientes, estimada pela análise do solo, e a produtividade de grãos da cultura.

Além da análise do solo, pode-se também fazer uma avaliação da disponibilidade de nutrientes para manejo da fertilidade acompanhando o estado nutricional da cultura durante o ciclo, através da análise do tecido foliar. Porém, esta avaliação não permite que sejam realizadas correções de adubação durante o ciclo de desenvolvimento da cultura, em função da época recomendada para coleta do tecido foliar (estádio de floração) e por não haver ainda um sistema de recomendação da dose de fertilizante a ser adicionado a partir dos resultados obtidos através deste tipo de análise.

Assim, embora sabendo que ocorrem alterações na dinâmica dos nutrientes com o alagamento do solo, é difícil prever a intensidade desta através da análise de solo e, conseqüentemente, estimar corretamente quanto vai ser disponibilizado para

a cultura de um determinado nutriente, o que pode levar a uma recomendação equivocada da dose de fertilizante. Dentre os nutrientes manejados com a adubação que sofrem alterações com o alagamento do solo, o N é um dos elementos mais influenciados e que pode, também, resultar em maiores perdas, ocasionando, em determinadas situações, uma baixa eficiência de utilização, tanto do nitrogênio proveniente da matéria orgânica quanto da aplicação de fertilizantes.

A recomendação da adubação nitrogenada para as culturas nos Estados do RS e SC é realizada com base no teor de matéria orgânica do solo (MOS), tanto para cultivos de sequeiro como para cultivos em solos alagados (CQFS-RS/SC, 2004). Desta forma, a MOS é considerada a mais importante fonte de N às culturas, que é disponibilizado, entre outros nutrientes, após mineralização da MOS pela atividade microbiana. Contudo, a produtividade do arroz irrigado é muito variável com o teor de MOS, ou seja, são obtidos tanto baixos como elevados rendimentos relativos do arroz irrigado em solos que apresentam baixos ou altos teores de MOS, independente da adubação nitrogenada aplicada.

Vários estudos relacionados ao manejo do nitrogênio como dose adequada, melhor época de aplicação, estimativa das perdas, fontes, etc., foram realizados com a cultura do arroz irrigado no Estado. Porém, estudos relacionados com a dinâmica do N da MOS e/ou dos resíduos orgânicos em solos de várzea do RS e SC, cultivados com arroz irrigado por alagamento, são escassos, cenário diferente do observado para estudos relacionados à dinâmica da MO em solos de sequeiro. A falta de conhecimento sobre a dinâmica do N da MOS nestas condições pode ter implicação de ordem prática quanto à recomendação da dose adequada de fertilizante a ser adicionado. Pois, a MOS tem função primordial na qualidade do solo, influenciando com a sua quantidade e qualidade as propriedades físicas, químicas e biológicas e, conseqüentemente, na manutenção dos estoques de N e fornecimento deste para a cultura durante o ciclo.

Com a dificuldade de prever as alterações na disponibilidade de nutrientes em solos alagados, aliado ao fato de pouco conhecer-se sobre fatores relacionados à dinâmica do N da MOS nestes ambientes e também de que as condições climáticas podem ter grande influência, existe a possibilidade de se fazer uma avaliação da fertilidade do solo através do acompanhamento do estado nutricional das plantas. Considerando as dificuldades encontradas na análise do tecido das plantas para se fazer este tipo de avaliação, outros métodos têm sido testados para uma resposta

mais imediata e a tempo de se fazer uma correção da adubação de N em cobertura, nos casos em que há necessidade. Um destes métodos que já vem sendo utilizado em outros países e testado no Brasil (e no RS) é o clorofilômetro, o qual possibilita fazer a correção de N ainda durante o ciclo da cultura, desde que calibrado. Porém, para o Brasil e/ou RS não existem parâmetros de leitura calibrados para sua utilização no estabelecimento de doses de adubação nitrogenada. Estudos desenvolvidos anteriormente demonstraram que as leituras do clorofilômetro têm relação com o teor de N da folha em que é realizada a leitura e, portanto, potencial para ser utilizado na avaliação do estado nutricional. Porém, também demonstraram que nem sempre o valor da leitura da folha está relacionado com o estado nutricional da planta, indicando a necessidade de se utilizar outros parâmetros da planta que complementem as leituras SPAD do clorofilômetro para realizar a avaliação nutricional da cultura do arroz irrigado.

Assim, de acordo com o exposto, há necessidade de desenvolver estudos sobre a dinâmica do N da MOS e, por consequência, da liberação do N em função do alagamento e buscar parâmetros da planta que possam complementar as leituras SPAD para realizar a avaliação do estado nutricional da cultura do arroz irrigado por alagamento. Estes estudos poderão auxiliar no desenvolvimento de trabalhos futuros que possam vir a aprimorar o sistema de recomendação de adubação nitrogenada para a cultura do arroz irrigado por alagamento.

A presente tese está organizada em dois estudos. O primeiro estudo realizado com o objetivo de avaliar o efeito do alagamento do solo na disponibilidade de nitrogênio mineral e correlacionar este com o quanto de N foi absorvido pelas plantas de arroz irrigado. Já o segundo estudo foi desenvolvido com a perspectiva de obter valores críticos de leituras do clorofilômetro, associadas a outros parâmetros da planta, que melhor avaliem o estado nutricional da cultura do arroz irrigado, indicando o momento e a dose de nitrogênio a ser utilizada.

2 HIPÓTESES

1 – O alagamento do solo favorece o crescimento de microrganismos predominantemente anaeróbicos, que decompõe mais lentamente a MOS; porém, esta população apresenta menor demanda por N, fato que aumenta a disponibilidade de N nestes ambientes, mesmo quando os solos apresentam baixos teores de MOS.

2 – O alagamento do solo aumenta o teor de nitrogênio disponível no solo influenciando positivamente no desenvolvimento das plantas de arroz irrigado, em consequência do aumento na absorção e de nitrogênio pelas mesmas.

3 – As leituras SPAD do clorofilômetro apresentam relação com o teor de N da folha em que é realizada a leitura, porém não estimam o estado nutricional da cultura, fazendo-se necessário utilizar parâmetros complementares, como matéria verde/seca e/ou N acumulado para realização da avaliação nutricional da cultura do arroz irrigado por alagamento.

3 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito do alagamento do solo na disponibilidade de N mineral e absorção de N pelas plantas de arroz irrigado e o uso de parâmetros da planta na de estimativa da disponibilidade de N em solos de várzea.

4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1 – Avaliar a liberação de N mineral em solos com diferentes teores de MOS, em condições anaeróbicas e aeróbicas, para verificar possíveis alterações da mineralização do N em função do alagamento.

2 – Correlacionar os valores de N mineralizado em condições aeróbicas e anaeróbicas com o N acumulado no tecido de plantas de arroz irrigado.

3 – Testar o uso do clorofilômetro como um complemento à análise do solo na estimativa da disponibilidade de N.

4 – Testar parâmetros da planta, como matéria verde/seca e N acumulado que possam ser associados às leituras SPAD do clorofilômetro.

5 CAPÍTULO 1

Efeito do alagamento do solo sobre a mineralização e acúmulo de N pelas plantas de arroz irrigado

5.1 Revisão Bibliográfica

Quando o solo é alagado, ocorre o processo de redução provocado por microrganismos anaeróbios, 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 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).

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). Em ambientes anaeróbios há uma tendência de o N se acumular sob a forma de amônio, podendo ser retido na CTC do solo, absorvido pelas plantas, imobilizado na

biomassa e/ou sofrer nitrificação em regiões aeróbias (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). No processo chamado de desnitrificação, o nitrato (NO_3^-) é reduzido pelos microrganismos anaeróbicos após o consumo do O_2 pelos aeróbicos, passando a óxido nitroso (N_2O) e nitrogênio elementar (N_2) voláteis, os quais são perdidos para a atmosfera (PONNAMPERUMA, 1972), desaparecendo do solo em poucos dias de alagamento. 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). O nitrato pode ser imobilizado na biomassa microbiana, lixiviado em solos que apresentam alguma permeabilidade, absorvido pelas plantas, ou difundir-se à massa de solo que está em anaerobiose e sofrer desnitrificação. Além disso, ocorrem outras transformações relacionadas ao ciclo do N, principalmente pela alteração da população microbiana do solo, que nos solos de várzea é composta principalmente pelos microrganismos que sobrevivem fazendo respiração anaeróbica ou fermentação, o que resulta numa decomposição da MOS e consequente liberação deste às plantas de forma diferente do que acontece em sistemas de sequeiro.

A mineralização do N orgânico é influenciada por diversos fatores característicos de cada solo, do ambiente e da planta. Entre estes destacam-se: microrganismos do solo, N total, tipo de solo, relação C/N, tempo de uso, pH, temperatura, umidade, suprimento de nutrientes inorgânicos e interações solo-planta (BLACK, 1968; ALEXANDER, 1977). A temperatura é um fator essencial no estudo da mineralização do N orgânico. Os microrganismos responsáveis pela amonificação operam em condições extremas de temperatura, pois são formados em quantidade muito grande de fungos, bactérias e actinomicetos não especializados e que se adaptam às diferentes temperaturas. Já os microrganismos do gênero *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, responsáveis pela formação de NO_2^- e NO_3^- , respectivamente, são muito sensíveis às baixas e altas temperaturas. A temperatura ótima para a amonificação está entre 40 e 60 °C, portanto, muito acima das temperaturas exigidas pela maioria das culturas (ALEXANDER, 1977). Para a nitrificação, a melhor faixa de temperatura seria de 30 a 35 °C, sendo que acima de 40 °C raramente ocorreria produção de nitratos. A quase totalidade de trabalhos sobre mineralização do N orgânico tem sido feitos em ambientes de temperatura entre 25 e 35 °C (BREMNER; MULVANEY, 1982). A utilização dessas temperaturas deve-se ao fato de que as plantas desenvolvem-se melhor nesta faixa e porque os estudos sobre mineralização

têm como objetivo final encontrar um índice da disponibilidade de N às plantas.

A atividade microbiana também é afetada pelo teor de umidade. Devido a diversidade de organismos que atuam na mineralização da MOS, esta pode ser observada mesmo em níveis de umidade do solo próximos aos secos ao ar (BLACK, 1968). O metabolismo das bactérias nitrificadoras, porém, diminui pela redução da umidade. Nas condições dos solos de várzea com os ciclos de umedecimento e secagem, a população microbiana e os processos influenciados por eles também sofrem alterações. Com isso, a baixa umidade do solo suprime a atividade microbiana e a produção de biomassa (HALVERSON et al., 2000), ou causa o predomínio dos fungos por serem capazes de sobreviver a um ambiente mais seco do que as bactérias (JENSEN et al., 2003; ZHANG et al., 2007). Quando ocorre o umedecimento do solo há o aumento da atividade microbiana, devido o enriquecimento do substrato através da mineralização da biomassa (LUNDQUIST et al., 1999). A alteração da comunidade microbiana reflete também na variação da emissão de CO_2 , sugerindo com isso, a variação da dinâmica da mineralização ou imobilização. Nas incubações aeróbicas, ocorrem concomitantemente a nitrificação e a desnitrificação e o teor de $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ obtido nas análises de N mineral representa a mineralização líquida. A incubação anaeróbica tem sido utilizada com bons resultados para o estudo de mineralização, por apresentar vantagens de facilitar a uniformização da umidade e ausência de nitrificação durante o período de incubação. A quantidade de N mineralizado, entretanto, é menor, devido a formação de compostos orgânicos intermediários no processo de mineralização.

As características químicas e físicas dos solos influenciam no seu teor de MOS e, conseqüentemente, na sua capacidade de mineralização. Quando os solos apresentam características físicas e químicas pouco homogêneas, assim como variação entre outros fatores importantes na mineralização, as correlações são baixas (BOHNEN, 1970). Entre as características importantes na mineralização encontra-se a textura dos solos. Sabe-se que as substâncias orgânicas formam complexos com os constituintes minerais dos solos (citação). Estes complexos são formados, principalmente, com as argilas. Assim, em condições de clima e vegetação semelhantes, solos de textura argilosa apresentam maiores teores de N orgânico do que solos francos e, estes, maiores do que os arenosos (citação). A manutenção dos agregados no solo também diz respeito a atividade microbiana, onde a maioria dos solos tem um bom nível de desenvolvimento de fungos e

bactérias, porém este nível é influenciado pelo manejo do solo e processos biológicos (FEENEY et al., 2006). Como na maioria dos solos de várzea há uma intensa mobilização do solo, há também destruição da estrutura e agregados do solo, sendo estas características físicas não determinantes na produtividade como nos solos de sequeiro. Com o revolvimento do solo pode-se acelerar o processo de decomposição, tanto pela quebra dos resíduos culturais quanto pela exposição da MOS que estava protegida dentro dos agregados do solo e, aumentar a disponibilidade de N. Assim, quando há incorporação da palha possibilita maior taxa de recuperação de N através da imobilização e posterior mineralização, e assim, contribui para o aumento da disponibilidade de N para o próximo cultivo (BIRD et al., 2001). Outra característica que influencia os teores de MO e a capacidade de mineralização é o tipo de argila presente no solo.

Mesmo que os demais fatores ambientais (incluindo temperatura, umidade, condições físicas, químicas e biológicas, entre outros) que promovem a mineralização sejam semelhantes, a quantidade de nitrogênio mineralizado pode ser diferente dependendo das características da MO do solo (MAGDOFF, 1991). De maneira geral, a cinética de mineralização do N é apresentada em duas fases, uma rápida e outra lenta, esta relacionada com a composição bioquímica do material em decomposição. O declínio rápido reflete os hidratos de carbono facilmente decomponíveis, proteínas e outros compostos. Por outro lado, a posterior taxa de decomposição mais lenta, reflete a fração mais recalcitrante que não é facilmente atacada pela atividade microbiana.

No solo, a MO apresenta-se como um sistema complexo de substâncias, cuja dinâmica é governada pela adição de resíduos orgânicos de diversas naturezas e por uma transformação contínua sob ação de fatores biológicos, químicos e físicos. A variação do estoque de C orgânico de um solo ao longo do tempo é dependente do tipo de uso e dos sistemas de manejo utilizados e seus efeitos sobre as adições e perdas de C (SILVA et al., 2008). A variação nos conteúdos de carbono orgânico total, principal constituinte da matéria orgânica, é causada pelo balanço negativo entre a taxa de adição e a taxa de decomposição da MOS (BAYER & MIELNICZUK, 2008). Cerca de 10 a 15% da reserva total do carbono orgânico nos solos minerais é constituída por biomoléculas ou substâncias não húmicas (proteínas e aminoácidos, carboidratos simples e complexos, resinas, ligninas e outros) e 85 a 90% pelas substâncias húmicas propriamente ditas (SANTOS & CAMARGO, 1999).

É através da decomposição da MOS que o N é liberado sob a forma mineral em diferentes velocidades, dependendo da sua recalcitrância e resistência ao ataque microbiano (CAMARGO et al., 1997). Portanto, cada solo possui capacidade intrínseca de fornecer N às plantas a partir da decomposição da MOS, em quantidades e taxas diferentes, que dependem, fundamentalmente, do tipo de solo, da atividade microbiana e das condições ambientais (RHODEN et al., 2006).

Nos solos alagados cultivados com arroz irrigado existe a presença de regiões com características de oxidação (poucos milímetros até alguns centímetros na superfície do solo alagado e na rizosfera) e de redução, predominante nesses ambientes. Isto faz com que, a atividade biológica seja bastante variada nestes solos, podendo apresentar simultaneamente, respiração aeróbia na camada superficial oxidada e na rizosfera e respiração anaeróbia e fermentação na camada reduzida (SILVA et al., 2008). Na respiração aeróbia, os microrganismos utilizam a energia liberada da oxidação do carbono orgânico a CO_2 e O_2 como aceptor final de elétrons, que é reduzido à água. Na respiração anaeróbia, outros compostos inorgânicos são utilizados como aceptores finais de elétrons, como nitrato, óxidos de manganês, oxi-hidróxidos de ferro e sulfato. Já na fermentação, os microrganismos não apresentam uma cadeia de transporte de elétrons para oxidar NADH a NAD^+ , mas devem apresentar uma forma alternativa para usar este poder reduzindo e mantendo uma provisão de NAD^+ . Apesar de ineficiente como via de degradação, a fermentação promove a quebra de substratos orgânicos complexos, antes da oxidação, resultando em uma série de substâncias, muitas delas transitórias e não encontradas em solos oxidados (VAZOLLER et al., 2008).

Todas as alterações no ambiente alagado são reflexos das mudanças do metabolismo microbiano aeróbio para anaeróbio, as quais modificam a dinâmica da MOS. Em condições anaeróbicas, a degradação de compostos orgânicos é mais lenta e menos eficiente, e apresenta produtos finais diferentes dos produzidos pela degradação aeróbia (SILVA et al., 2008).

Em solo predominantemente anaeróbico, o estoque de C orgânico tende a ser maior do que em solo aeróbico, visto que a decomposição de muitos tipos de compostos orgânicos é limitada pelo ambiente reduzido, especialmente àqueles aromáticos como a lignina (OLK & SENESI, 2000). Porém, em geral, os solos de várzea do RS cultivados com arroz irrigado apresentam baixos teores de MO, na classe $\leq 2,5\%$ (ANGHINONI et al., 2004), o que contraria a teoria de maior acúmulo

de MO em ambientes anaeróbios. Alguns fatores que favorecem a decomposição mais rápida da MO podem ocorrer em solos alagados, especialmente quando cultivados com arroz, tais como: pH neutro, baixa densidade do solo, solos intensamente preparados a cada cultivo, suprimento de O₂ para a camada reduzida e elevada disponibilidade de nutrientes (SOUSA, 2001). Aliado a isso, ainda tem-se o fato de que estes solos são, em geral, arenosos, o que infere na baixa capacidade de proteção do C contra a decomposição microbiana (SILVA et al., 2008).

Os sistemas de preparo do solo interferem em alguns fatores importantes no solo, como temperatura, umidade, aeração e disponibilidade de substrato, seja pela forma como os resíduos culturais são incorporados, como pelo grau de revolvimento que os diferentes sistemas provocam no solo (SANTOS, 2003). O revolvimento sistemático do solo contribui para provocar perturbações promotoras de estresse na população microbiana e os microrganismos terminam por consumir o carbono orgânico do solo, causando redução do conteúdo de MO (D'ANDRÉA et al., 2002).

Assim, 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. Isto revela que este parâmetro não deve ser recomendado como critério único de avaliação da disponibilidade de N e indicativo da necessidade de adubação nitrogenada para o arroz irrigado, nas condições de cultivo do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 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). 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 aumentam a eficiência de uso do N e, conseqüentemente, contribuem para maior rendimento de grãos (SOSBAI, 2005).

O baixo ajuste entre o teor de MOS e a resposta do arroz irrigado à aplicação de adubos nitrogenados deve estar relacionado com as alterações do N em solo alagado. 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), o que é dependente da fonte utilizada, do modo de aplicação e das condições climáticas. 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).

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). Para os solos de sequeiro, no atual modelo de recomendação, são considerados como prováveis fontes de N, a matéria orgânica do solo e os tipos e quantidades de resíduos de cultivos anteriores, que se encontram sobre a superfície do solo. Exemplificando com a cevada, a atual recomendação nitrogenada considera que em solos com alto teor de matéria orgânica ou com a presença de resíduos de soja, cultivada antes da cevada, há maior disponibilidade de N mineral, que poderá determinar a redução de doses de adubo nitrogenado a serem aplicadas para a cultura (CQFSRS/SC, 2004). Neste contexto, a recomendação da adubação nitrogenada para o arroz irrigado baseia-se nos teores de matéria orgânica do solo (MOS) e na expectativa de resposta da cultura à adubação nitrogenada (SOSBAI, 2010). Entretanto, a indicação da dose de N poderia ainda ser acrescida ou diminuída em até 30 kg de N ha⁻¹ considerando o histórico da lavoura com respeito aos efeitos das respostas ao N sobre doenças e acamamento e os efeitos de cultivos antecedentes sobre a disponibilidade de N (leguminosas e gramíneas). Nesse caso, há uma sinalização de redução da dose,

entre outros fatores, devido ao histórico da lavoura no que se refere aos cultivos antecessores com leguminosas e aumento com a presença de gramíneas. Porém há menor número de outras culturas adaptadas a essas condições passíveis de fornecerem maior quantidade de N para a cultura do arroz irrigado. Também há menor número de estudos relacionados à contribuição das culturas antecessoras, ou mesmo considerando um sistema de rotação, no fornecimento de N.

Quando o N não for aplicado na quantidade e época correta, pode ocorrer deficiência na cultura do arroz. 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. Também, 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).

Alguns fatores são considerados para o teor de MOS não ser considerado um bom indicador da disponibilidade de N para o arroz irrigado, podendo este fato estar, teoricamente, relacionado aos ciclos de oxidação e redução que os solos sofrem com o alagamento (SOUSA, 2001), à presença de microrganismos fixadores de N que poderiam estar contribuindo com fornecimento de N às plantas (HUBNER, 2004; KUSS, 2006), à composição da MOS em função dos diferentes sistemas de manejo do solo (SANTOS, 2003), a incorporação dos resíduos culturais, ao tipo de população microbiana presente nestes ambientes e sua capacidade de decompor a MOS (VAZOLLER, 2008), entre outros.

Com relação a população de microrganismos anaeróbios, estão incluídas espécies de procariontes, bactérias, bem como de eucariontes como fungos e protozoários. São amplamente encontrados na natureza em ambientes com baixos potenciais de óxi-redução, bem como, também ocorrem certos anaeróbios associados a protozoários de vida livre. Diferentemente dos aeróbios, os anaeróbios parecem envolver um número maior de mecanismos de conservação de energia e adaptação fisiológica ao *stress* ambiental. Nesse último caso, um bom exemplo é a peculiar composição lipídica de membranas e algumas espécies anaeróbicas. No caso da conversão metanogênica do carbono, sabe-se que a pequena quantidade de energia disponível força uma eficiente cooperação entre os microrganismos envolvidos. Os anaeróbios, operando individualmente com pequenas quantidades de

energia, ou cooperando entre si, são “experts” na exploração de valores mínimos de energia para a geração de ATP, através de mecanismos comuns que acoplam o transporte de prótons através da membrana em ambientes altamente redutores. Isto resulta numa gama de reações anaeróbias na degradação de compostos poliméricos bastante conhecidos, como as proteínas, os polissacarídeos e os lipídeos. Sabe-se também, que a composição microbiana e a taxa com que os compostos serão degradados também estão relacionados com a qualidade do material, ou seja, com a fonte de carbono presente nestes ambientes (VAZOLLER, 2008).

Este fato evidencia que os microrganismos anaeróbicos além da possibilidade de degradar outros compostos diferentes daqueles em ambientes aeróbicos, podem também ter comportamento diferentes quando variada a qualidade da MOS. A decomposição da celulose, por exemplo, é completamente diferente em ambiente aeróbico e anaeróbico. Sabe-se que as ligações das fibras de celulose são feitas por ligações fracas e ligações fortes. Assim, em ambiente aeróbico, várias enzimas atuam no processo de decomposição da celulose, porém atuam na mesma ligação entre as moléculas de celulose. Já em ambiente anaeróbio, a comunidade microbiana produz uma grande molécula, conhecida como celulosoma, que funciona como um complexo multiproteico, que possui em sua superfície diversas enzimas hidrolíticas, que hidrolisam os polissacarídeos vegetais (XIMENES; FÉLIX, 2003).

O fato de o teor de MOS do solo não ser um bom indicativo da disponibilidade de N para a cultura do arroz irrigado (CASSMAN et al., 1996) tem levado diversos autores à pesquisa de outros métodos e parâmetros do solo e/ou da planta mais eficientes em estimar a disponibilidade de N ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura ou mesmo antes da implantação. Em estudo desenvolvido por Ve et al. (2004), os autores estudam diferentes tipos de solo e buscam respostas associadas às frações da MOS. Segundo estes, se o suprimento de N do solo estiver mais associado com a fração lábil da MOS, a extração química desta fração lábil poderia prover mais informação sobre o potencial de mineralização de N e a dinâmica sazonal. Isto porque em solos de várzea, cultivados com arroz, sob intenso revolvimento depois de cada período de cultivo destroem a agregação do solo e a importância dos processos físicos que estabilizam a MOS em solos aerados (sequeiro) são, talvez, menos importantes em solos de várzea. Aqueles autores

encontraram que, em conjunto, os estudos de estrutura química, idade e acumulação de MHA (ácido húmico móvel) e CaHA (cálcio humificado) nos solos de várzea, representarem uma substancial fração do N orgânico variando de 13 a 23% do N total do solo, sugerindo que estas frações são tidas como um amplo impacto nas taxas de mineralização em solos de várzea cultivados com arroz irrigado. Fato que indica que a decomposição e mineralização do N pode ocorrer de forma diferenciada em ambientes aeróbicos e anaeróbicos em função da diferente composição da MOS formada em ambientes distintos.

Em trabalho realizado por Rhoden et al. (2006), os autores verificaram a formação de grupos de solos em relação ao N mineralizado a partir da MOS, sendo estes variáveis em relação ao teor de C orgânico, N total e teor de argila. Os mesmos autores também comentam que a velocidade de decomposição é mais rápida durante as primeiras semanas, fato que pode estar atrelado a decomposição da MOS mais lábil (como sugerido por Ve et al., 2004), sendo que, no geral, os solos com maior teor de C orgânico e N total apresentaram maiores valores de N mineralizado acumulado. De acordo com Vahl (1999), a taxa de liberação do N em solo que sofre alagamento também é dependente do tempo de alagamento e de eventuais ciclos de umedecimento e secagem.

Assim, há uma busca constante de métodos ou de outros parâmetros indicativos de disponibilidade de N no solo que possam ser mais eficientes ou mesmo complementar a estimativa obtida pelo teor de MOS. E, além disso, de pesquisas que tentam elucidar a maior disponibilidade de N em ambientes cultivados com arroz irrigado ou mesmo da maior habilidade da cultura em absorver e converter em produtividade de grãos, objetivo final da produção. Desta forma, foi desenvolvido o Estudo 1, tentando-se verificar se os solos de sequeiro ou várzea tem habilidades diferentes de mineralizar o N quando submetidos as condições aeróbicas e anaeróbicas, supondo-se que as comunidades microbianas possam ser diferentes e, se as plantas de arroz irrigado apresentam o mesmo potencial de desenvolvimento nos dois ambientes.

5.2 Material e Métodos

Experimento 1 – Avaliação do efeito do alagamento na mineralização do N em condições aeróbicas e anaeróbicas para solos de várzea e de sequeiro

Para o desenvolvimento deste experimento foram selecionados previamente solos de várzea e de sequeiro que apresentaram variação nos teores de MOS, dentro da mesma propriedade. Para isto, foram utilizados mapas de fertilidade do solo, cedidos pela Empresa Drakkar Solos. Os solos foram coletados no Município de Cachoeira do Sul, RS, na propriedade do Sr. Edson Milbradt, em área de várzea, em sistema convencional e na propriedade do Sr. Udo Strobel, em área de sequeiro, sob sistema de semeadura direta. Todas as amostras de solos foram coletados na camada de 0-10cm.

Os solos coletados foram enviados à casa de vegetação do Departamento de Solos onde foram secados, destorroados e passados em peneira de 2mm de malha. Após o preparo do solo, foi realizada uma caracterização química inicial destes solos, pelo Laboratório de Rotina do Departamento de Solos da UFSM (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1 - características químicas dos solos de várzea coletados na profundidade de 0 - 10cm, no município de Cachoeira do Sul - RS.

Solo 1							
pH água 1:1	Índice SMP	Argila	M.O.	P*	K*	Ca**	Mg**
		.... g kg ⁻¹ ....		.... mg dm ⁻³ ....		.... cmol _c dm ⁻³	
4,9	5,5	420	35	11,8	164	4,6	1,8
Solo 2							
pH água 1:1	Índice SMP	Argila	M.O.	P*	K*	Ca**	Mg**
		.... g kg ⁻¹ ....		.... mg dm ⁻³ ....		.... cmol _c dm ⁻³	
5,2	5,6	250	20	6,0	100	2,9	1,3
Solo 3							
pH água 1:1	Índice SMP	Argila	M.O.	P*	K*	Ca**	Mg**
		.... g kg ⁻¹ ....		.... mg dm ⁻³ ....		.... cmol _c dm ⁻³	
5,1	5,6	190	14	22,8	100	2,1	0,7

* extraído com solução Mehlich

** extraído com KCl 1 mol L⁻¹

Tabela 2 - Características químicas dos solos de sequeiro coletados na profundidade de 0 - 10cm, no município de Cachoeira do Sul - RS.

Solo 4							
pH água 1:1	Índice SMP	Argila	M.O.	P*	K*	Ca**	Mg**
		.... g kg ⁻¹ ....		.... mg dm ⁻³ ....		.... cmol _c dm ⁻³	
6,4	6,6	440	44	18,9	196	6,5	2,7
Solo 5							
pH água 1:1	Índice SMP	Argila	M.O.	P*	K*	Ca**	Mg**
		.... g kg ⁻¹ ....		.... mg dm ⁻³ ....		.... cmol _c dm ⁻³	
6,5	6,6	160	31	35,8	116	5,1	2,5
Solo 6							
pH água 1:1	Índice SMP	Argila	M.O.	P*	K*	Ca**	Mg**
		.... g kg ⁻¹ ....		.... mg dm ⁻³ ....		.... cmol _c dm ⁻³	
5,6	6,4	170	21	20,8	48	4,3	1,3

* extraído com solução Mehlich

** extraído com KCl 1 mol L⁻¹

Avaliação da mineralização do N em condições aeróbicas e anaeróbicas

Para realização do experimento de incubação, utilizou-se aproximadamente 130 g de solo, acondicionados em frascos de acrílico de 5 cm de diâmetro. O volume de solo utilizado foi calculado em função da umidade, adicionando-se água destilada, quando necessário, para atingir 20% do EPSA (espaço poroso saturado por água). Em cada um dos frascos adicionava-se metade do solo necessário, compactava-se até a metade do volume inicial e acondicionava-se o restante do solo realizando o mesmo procedimento, para que os solos ficassem com uma densidade final de 1,2 g cm⁻³. Cada frasco de acrílico correspondia a uma repetição, utilizando-se como tratamento as condições aeróbicas e anaeróbicas para cada um dos solos, tanto de várzea como de sequeiro. Nos frascos com os solos em condições anaeróbicas, após a compactação dos mesmos, adicionou-se água destilada criando-se uma lâmina de água de aproximadamente 1,2 cm, a qual foi mantida até o momento da análise.

Posteriormente, os frascos de acrílico foram colocados dentro de potes maiores (volume aproximado de 1000cm³) e armazenados em incubadora tipo DBO a 28 °C (Figura 1). O experimento foi instalado no dia 05 de setembro de 2010, onde

determinou-se o nitrogênio mineral (N-NH_4^+ e $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NO}_2^-$) considerado o tempo zero (antes da incubação). Posteriormente as avaliações foram realizadas semanalmente, durante 05 semanas, e posteriormente aos 52, 66, 92 e 102 dias após a instalação do experimento. Para a determinação do nitrogênio mineral foi retirada uma amostra de solo de 25g de cada unidade experimental, misturando-se com 100mL de KCl, num frasco snap-cap e agitando-se por 30 minutos. Após a agitação, os frascos eram deixados para decantar durante 30 minutos. Do sobrenadante foi retirada uma alíquota de 20mL, para proceder a destilação, com a adição de óxido de magnésio (MgO) para a determinação de N-NH_4^+ e Liga Devarda para a determinação de $\text{N-NO}_3^- + \text{NO}_2^-$, capturando o nitrogênio em ácido bórico (5mL) e titulando com ácido sulfúrico. Os métodos utilizados pra extração e determinação do N mineral encontra-se descrita em Tedesco et al. (1995). Uma amostra, de aproximadamente 60g, também foi retirada para a determinação da umidade dos solos, sendo esta seca em estufa a 105 °C por 24h. Posteriormente os cálculos eram corrigidos para cada uma das umidades de cada unidade experimental.

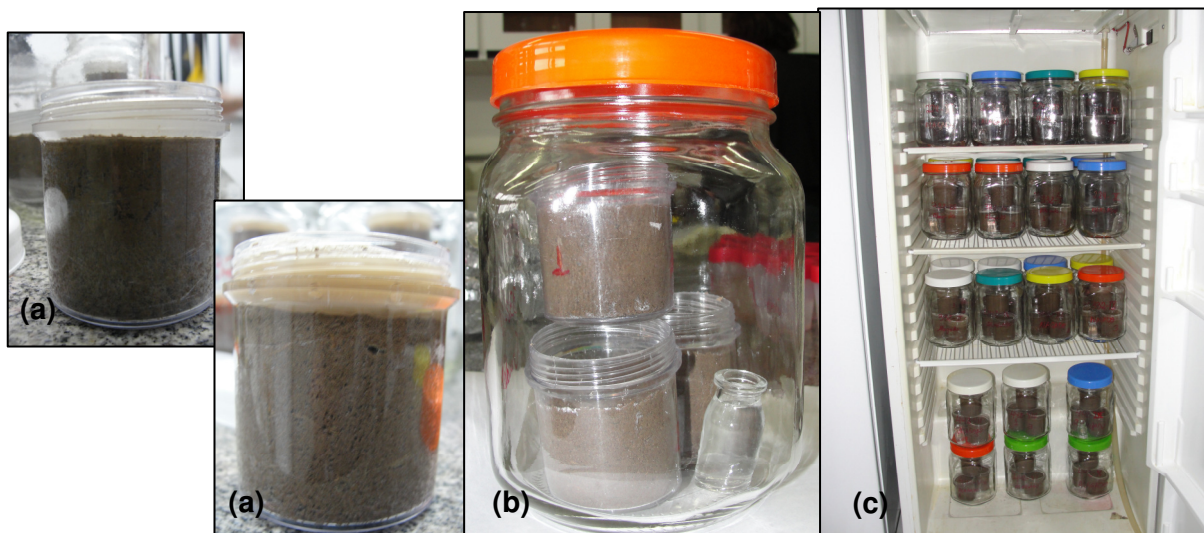


Figura 1 - Experimento de avaliação da mineralização do N em laboratório, (a) Frascos contendo os solos em condições aeróbicas e anaeróbicas, (b) Armazenamento em frascos maiores, (c) Experimento mantido em incubadora horizontal, tipo DBO, a 28 °C. Santa Maria – RS.

Para avaliação dos picos de produção de N-NH_4^+ , N-NO_3^- e N-mineral ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) utilizou-se o valor de maior produção de cada um destes, independente da data de ocorrência.

Experimento 2 – Avaliação do efeito do alagamento na absorção e acúmulo de N pelas plantas de arroz irrigado, em condições aeróbicas e anaeróbicas para solos de várzea e de sequeiro

Os solos utilizados foram os mesmos solos coletados para o experimento 1, seguindo-se o mesmo procedimento de preparo e caracterização inicial.

Cultivo do arroz irrigado e avaliação do teor de N, matéria verde/seca e N acumulado na parte aérea das plantas de arroz irrigado

Na casa de vegetação, foram montados vasos com capacidade de 3L, utilizando-se 1,5 kg dos mesmos solos (várzea e sequeiro) utilizados no experimento de incubação. O delineamento utilizando foi o inteiramente casualizado, com três repetições por tratamento. Os tratamentos aplicados aos solos foram as condições aeróbica e anaeróbica, ou seja, manteve-se a umidade próxima a capacidade de campo simulando uma situação de cultivo em solos de sequeiro e para a condição anaeróbica manteve-se uma lâmina de água, simulando-se o cultivo de arroz irrigado por alagamento.

Inicialmente, as sementes de arroz irrigado da cultivar Puitá Intá CL foram colocadas para germinar. Posteriormente, no dia 1º de dezembro de 2010, foram transplantadas 5 sementes pré-germinadas em cada vaso. Após o estabelecimento das mesmas, foram mantidas apenas quatro plantas por vaso, selecionando-se as mais desenvolvidas (Figura 2).

No dia 13 de dezembro aplicou-se a lâmina de água nos tratamentos cuja finalidade era simular o sistema irrigado e nos demais apenas manteve-se os solos apenas úmidos ao longo do experimento.

Ao final de 60 dias, as plantas foram coletadas em cada um dos vasos e imediatamente pesadas para avaliação da matéria verde. Posteriormente, foram secas em estufa a 65 °C até massa constante para determinação da matéria seca. Também foi realizada a avaliação do teor de N total, em laboratório, através da análise química do tecido das plantas de arroz, seguindo-se a metodologia de digestão ácida, descrita por Tedesco et al. (1995). O N acumulado pelas plantas foi

obtido a partir do teor de N no tecido das plantas e a produção de matéria seca de cada um dos tratamentos.

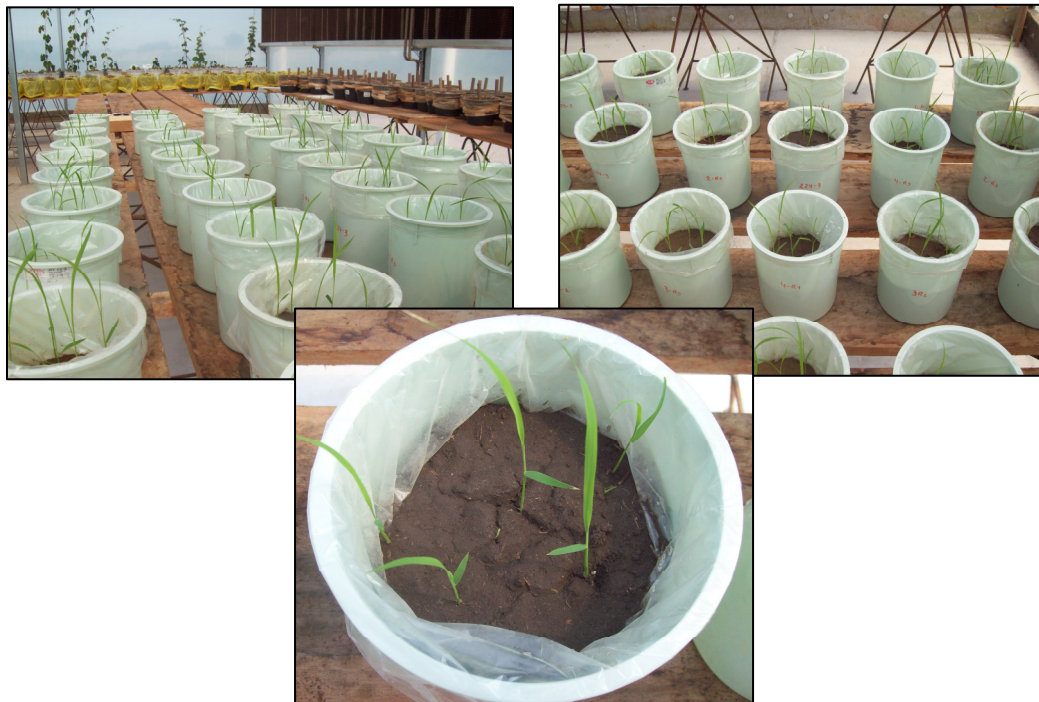


Figura 2 – Vista geral das plantas de arroz irrigado, em condições úmidas e alagadas, para os solos de sequeiro e de várzea, em casa de vegetação. Cultivar Puitá Intá CL. 2010/2011. Santa Maria - RS.

Os resultados foram avaliados pela análise de variância (fatorial 6x2) e, quando significativa, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro, utilizando-se o software estatístico Assistat 7.6.

5.3 Resultados e Discussão

5.3.1 Teores de N-NH_4^+ , N-NO_3^- e N-mineral total ($\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$)

Os teores de N-NH_4^+ para os solos de várzea mantidos úmidos foram baixos, bem como houve pouca variação nos teores ao longo do tempo e entre os tratamentos (Figura 3). No momento da instalação, os solos apresentavam baixos teores de N-NH_4^+ mantendo-se assim ao longo das avaliações. O fato dos solos terem passado por um processo de preparo, sendo secados, moídos e peneirados pode ter acelerado as perdas do N ou mesmo de tê-lo convertido a outras formas. A umidade é também um dos fatores que afeta a disponibilidade de N, sendo que quando há maior disponibilidade de água, até certo limite, há também maior

atividade microbiana, fazendo com que aumente a conversão do N orgânico em mineral. Sabe-se também que, em condições aeróbicas, o N-NH_4^+ é convertido a N-NO_3^- , pelas bactérias nitrificadoras. Para os solos de sequeiro (Figura 3), os teores iniciais de N-NH_4^+ foram mais elevados se comparados aos solos de várzea; porém, para os tratamentos com solo mantido úmido, os teores ao longo do tempo de avaliação também diminuíram tendendo a zero.

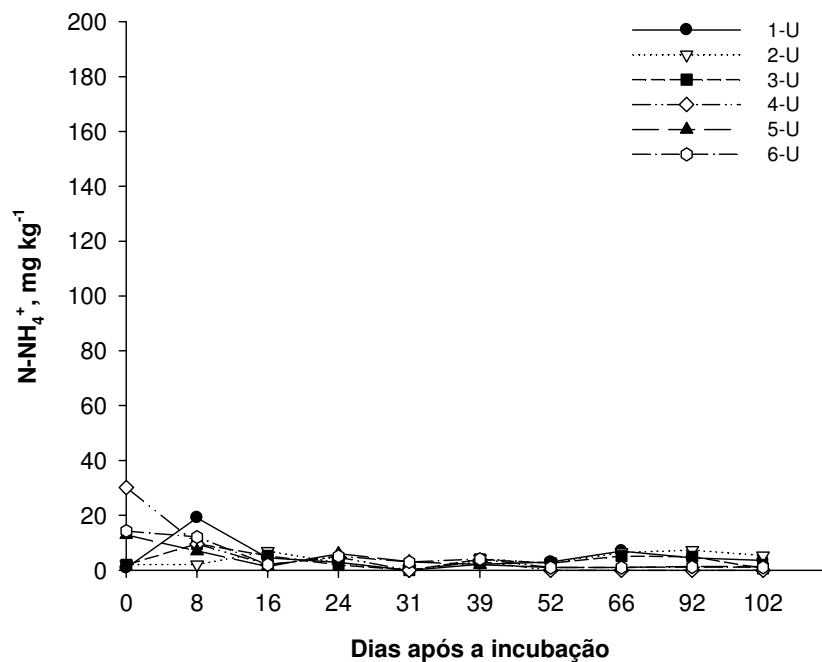


Figura 3 - Teores de N-NH_4^+ , ao longo da avaliação do experimento de incubação, para solos de várzea e de sequeiro, em condições úmidas. Santa Maria-RS. 2010-2011.

Já para os mesmos solos mantidos alagados, houve aumento nos teores de N-NH_4^+ ao longo do tempo, sendo que o solo 1-A foi o que apresentou a maior quantidade desta forma de N (Figura 4), o qual também apresentou o maior teor de MOS. Os solos 2-A e 3-A apresentaram teores de N-NH_4^+ semelhantes ao longo do tempo de incubação. Em condições anaeróbicas, os solos tenderam a acumular N na forma de NH_4^+ (Fageria; Stone, 2003; Moreira; Sequeira, 2006) tendo em vista que não ocorre o processo de nitrificação, o qual converte o N-NH_4^+ na forma de N-NO_3^- . Em função disso, os teores desta forma de N tendem a serem maiores nestas condições. Para os solos em que foi mantida a lâmina de água houve aumento nos teores desta forma de N, porém houve pouca variação entre os diferentes solos. Os teores de N-NH_4^+ liberados pelos solos de sequeiro mantidos alagados foram

semelhantes aos teores liberados pelos solos de várzea alagados, variando de, aproximadamente, 25 a 55 mg kg⁻¹ de solo, excetuando-se o solo de várzea 1-A.

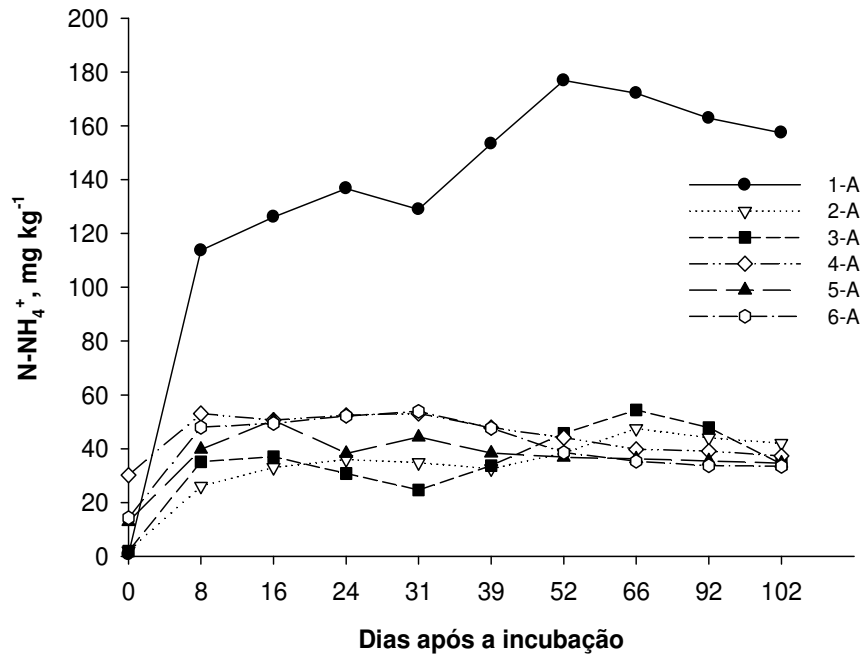


Figura 4 - Teores de N-NH₄⁺, ao longo da avaliação do experimento de incubação, para solos de várzea e de sequeiro, em condições alagadas. Santa Maria-RS. 2010-2011.

Os resultados da análise estatística demonstraram que houve efeito de interação entre os fatores analisados, tipos de solo (várzea e sequeiro) (Tabela 3 e 4) e as condições de umidade (úmido e alagado) (Tabela 5). Para o fator umidade, os solos alagados, em todas as avaliações, apresentaram os maiores teores de N-NH₄⁺ liberados durante o experimento diferindo significativamente dos solos úmidos. Estes resultados concordam com a literatura que afirmam que nestes ambientes há uma maior liberação e, conseqüentemente, acúmulo desta forma de N, tendo em vista que não ocorre a conversão para N-NO₃⁻, excetuando-se alguns micro-sítios encontrados nestes ambientes (zonas próximas às raízes e poucos milímetros até alguns centímetros na superfície do solo alagado e na rizosfera).

Tabela 3 - Teores de N-NH₄⁺ ao longo da avaliação do experimento de incubação, em solos de várzea e de sequeiro, sob condições úmidas. Santa Maria-RS. 2010/11.

Solos	Avaliações									
	zero	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	7 ^a	8 ^a	9 ^a
	N-NH ₄ ⁺ , mg kg ⁻¹									
1*	0,74 c	19,13 a	4,48 ab	2,93 a	0,00 a	2,15 a	2,94 a	7,01 a	4,51 a	3,52 a
2*	2,07 c	2,07 c	6,88 a	2,72 a	0,00 a	4,10 a	2,62 a	6,42 a	7,30 a	5,34 a
3*	1,96 c	9,57 abc	5,22 ab	1,94 a	0,00 a	3,91 a	2,54 a	5,10 a	4,91 a	0,66 a
4**	30,16 a	9,51 abc	2,10 b	4,73 a	0,00 a	3,14 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
5**	12,91 b	6,95 bc	1,35 b	6,01 a	3,05 a	2,04 a	0,96 a	1,04 a	1,35 a	1,40 a
6**	14,32 b	12,11 ab	2,00 b	5,11 a	3,04 a	4,07 a	0,98 a	0,99 a	1,20 a	1,10 a

Valores médios de três repetições, * solos de várzea; **solos de sequeiro

Médias na coluna, seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de erro.

Tabela 4 - Teores de N-NH₄⁺ ao longo da avaliação do experimento de incubação, em solos de várzea e de sequeiro, sob condições de alagamento. Santa Maria-RS. 2010/11.

Solos	Avaliações									
	Zero	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	7 ^a	8 ^a	9 ^a
	N-NH ₄ ⁺ , mg kg ⁻¹									
1*	0,74 c	113,67 a	126,16 a	136,71 a	128,90 a	153,31 a	176,81 a	172,08 a	162,83 a	157,40 a
2*	2,07 c	26,12 e	33,05 c	35,97 c	34,79 bc	32,53 c	38,47 bc	47,50 bc	44,03 bc	42,00 b
3*	1,96 c	35,12 de	37,02 c	30,79 c	24,66 d	33,74 c	45,71 b	54,37 c	47,85 b	34,27 b
4**	30,16 a	53,06 b	50,62 b	52,41 b	53,11 c	47,81 b	44,13 bc	39,78 cd	39,10 bc	37,30 b
5**	12,91 b	39,75 cd	50,53 b	38,23 c	44,28 bc	38,35 bc	36,85 c	36,19 d	35,40 c	34,60 b
6**	14,32 b	47,98 bc	49,41 b	52,13 b	53,87 c	47,63 b	38,57 bc	35,33 d	33,70 c	33,50 b

Valores médios de três repetições, * solos de várzea; **solos de sequeiro

Médias na coluna, seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de erro.

Tabela 5 - Teores de N-NH_4^+ ao longo da avaliação do experimento de incubação, em solos de várzea e de sequeiro, sob condições úmidas (U) e de alagamento (A). Santa Maria-RS. 2010/11.

Solos	Avaliações									
	zero	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	7 ^a	8 ^a	9 ^a
	N-NH_4^+, mg kg⁻¹									
1* U	0,74	19,13 b	4,48 b	2,93 b	0,00 b	2,15 b	2,94 b	7,01 b	4,51 b	3,52 b
1* A	0,74	113,67 a	126,16 a	136,71 a	128,90 a	153,31 a	176,81 a	172,08 a	162,83 a	157,40 a
	N-NH_4^+, mg kg⁻¹									
2* U	2,07	2,07 b	6,88 b	2,72 b	0,00 b	4,10 b	2,62 b	6,42 b	7,30 b	5,34 b
2* A	2,07	26,12 a	33,05 a	35,97a	34,79 a	32,53 a	38,47 a	47,50 a	44,03 a	42,00 a
	N-NH_4^+, mg kg⁻¹									
3* U	1,96	9,57 b	5,22 b	1,94 b	0,00 b	3,91 b	2,54 b	5,10 b	4,91 b	0,66 b
3* A	1,96	35,12 a	37,02	30,79 a	24,66 a	33,74 a	45,71 a	54,37 a	47,85 a	34,27 a
	N-NH_4^+, mg kg⁻¹									
4** U	30,16	9,51 b	2,10	4,73	0,00	3,14	0,00	0,00	0,00	0,00
4** A	30,16	53,06 a	50,62	52,41	53,11	47,81	44,13	39,78	39,10	37,30
	N-NH_4^+, mg kg⁻¹									
5** U	12,91	6,95 b	1,35 b	6,01 b	3,05 b	2,04 b	0,96 b	1,04 b	1,35 b	1,40 b
5** A	12,91	39,75 a	50,53 a	38,23 a	44,28 a	38,35 a	36,85 a	36,19 a	35,40 a	34,60 a
	N-NH_4^+, mg kg⁻¹									
6** U	14,32 b	12,11 b	2,00 b	5,11 b	3,04 b	4,07 b	0,98 b	0,99 b	1,20 b	1,10 b
6** A	14,32 b	47,98 a	49,41 a	52,13 a	53,87 a	47,63 a	38,57 a	35,33 a	33,70 a	33,50 a

Valores médios de três repetições, * solos de várzea; **solos de sequeiro

Médias na coluna e para o mesmo solo, seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de erro.

Para o fator tipos de solos, os solos úmidos apresentaram diferenças no início do experimento, porém a partir da 3ª avaliação os solos não diferiram mais significativamente (Tabela 3). No tempo zero (momento de instalação do experimento) os solos de sequeiro apresentavam os maiores teores de N-NH_4^+ , diferindo significativamente dos solos de várzea, porém com o passar das avaliações os solos de várzea tiveram um aumento de liberação de N-NH_4^+ , com alguns valores superiores aos solos de sequeiro. Já os solos mantidos em condições de alagamento apresentaram diferenças estatísticas significativas até o final das avaliações (Tabela 4). O solo de várzea 1 foi o que apresentou os maiores teores de N-NH_4^+ até o final do experimento, diferindo significativamente dos demais, fato que provavelmente esteja relacionado com o maior teor de MO deste, embora, este solo tenha apresentado um teor de MO inferior ao solo 4 de sequeiro, 35 e 44 g kg^{-1} , respectivamente. Para os demais solos, de maneira geral, os solos de sequeiro apresentaram uma maior liberação de N-NH_4^+ , diferindo significativamente dos solos de várzea, na maioria das avaliações. Fato que também pode estar relacionado aos teores de MO, já que os solos de sequeiro 5 e 6 apresentaram teores superiores ao 2 e 3 de várzea.

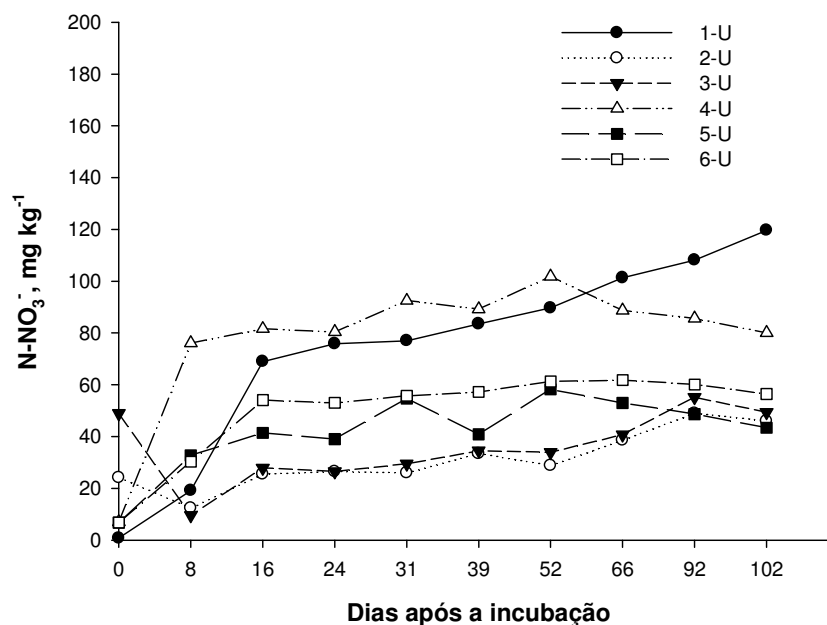


Figura 5 - Teores de N-NO_3^- , ao longo da avaliação do experimento de incubação, para solos de várzea e de sequeiro, em condições úmidas. Santa Maria-RS. 2010-2011.

Houve aumento nos teores de N-NO_3^- para os solos de várzea mantidos úmidos, destacando-se novamente o solo 1, com os maiores teores em relação aos outros dois solos (Figura 5). Assim como para o N-NH_4^+ , também é possível observar que os solos de várzea e os solos de sequeiro apresentaram teores de N-NO_3^- semelhantes, sendo

que os solos que apresentaram maiores teores de MOS, apresentaram também maiores teores de N-NO_3^- . Para os solos mantidos alagados, na primeira avaliação já é possível observar que os valores de N-NO_3^- tendem a zero e se mantêm até o final das avaliações. Isto se deve ao fato do N-NO_3^- presente em condições anaeróbicas ser convertido a formas gasosas de N pelo processo de desnitrificação (SOUSA, 2001). Nos solos úmidos, a condição aeróbica permite que o N-NH_4^+ seja convertido a N-NO_3^- , pelo processo de nitrificação, como pode ser observado comparando-se a figura 4 e 5, onde há uma diminuição e aumento dos teores, respectivamente. Para os solos de sequeiro houve a mesma tendência de comportamento, com o desaparecimento do N-NO_3^- nos solos em que foi mantida a lâmina de água e um acréscimo nas produções para os solos úmidos, destacando-se o solo 4, o qual apresentou maior disponibilidade de N-NO_3^- (Figura 6).

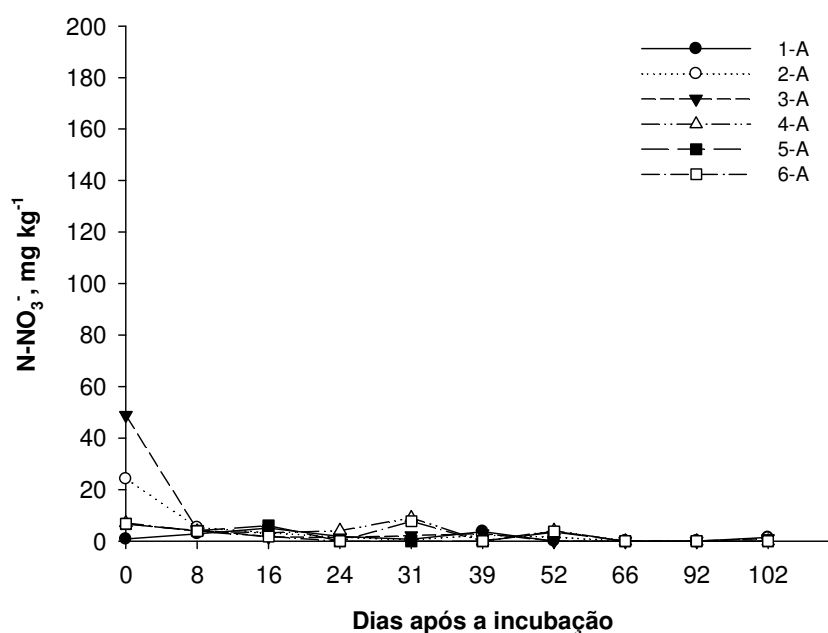


Figura 6 - Teores de N-NO_3^- , ao longo da avaliação do experimento de incubação, para solos de várzea e de sequeiro, em condições alagadas. Santa Maria-RS. 2010-2011.

Também houve efeito de interação entre os solos (Tabela 6 e 7) e as condições de umidade (Tabela 8) para os teores de N-NO_3^- . Para os solos mantidos alagados não houve diferença significativa entre os solos de várzea e sequeiro, sendo que os valores rapidamente tenderam a zero. Já para os solos úmidos houve diferença estatística significativa ao longo das avaliações do experimento. Novamente, os solos com maior teor de MO (1 e 4) também tiveram uma maior liberação de N-NO_3^- . Porém,

Tabela 6 - Teores de N-NO₃⁻ ao longo da avaliação do experimento de incubação, em solos de várzea e de sequeiro, sob condições úmidas. Santa Maria-RS. 2010/11.

Solos	Avaliações									
	zero	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	7 ^a	8 ^a	9 ^a
	N-NO ₃ ⁻ mg kg ⁻¹									
1*	0,74 d	19,12 c	68,96 b	75,83 a	76,99 b	83,49 b	89,67 b	101,32 a	108,15 a	119,62 a
2*	24,10 b	12,34 cd	25,47 e	26,44 d	25,92 d	33,40 e	28,76 e	38,56 e	48,95 d	45,96 d
3*	48,88 a	9,57 d	27,84 e	26,48 d	29,43 d	34,48 e	33,88 d	40,75 e	55,16 cd	49,30 cd
4**	7,04 c	76,06 a	81,60 a	80,43 a	92,48 a	89,23 a	101,78 a	88,73 b	85,60 b	80,00 b
5**	6,68 c	32,68 b	41,41 d	39,01 c	54,69 c	40,91 d	58,24 c	52,97 d	48,70 d	43,40 d
6**	6,73 c	30,28 b	54,03 c	52,96 b	55,66 c	57,19 c	61,20 c	61,76 c	60,10 c	56,40 c

Valores médios de três repetições, * solos de várzea; **solos de sequeiro

Médias na coluna, seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de erro.

Tabela 7 - Teores de N-NO₃⁻ ao longo da avaliação do experimento de incubação, em solos de várzea e de sequeiro, sob condições de alagamento. Santa Maria-RS. 2010/11.

Solos	Avaliações									
	zero	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	7 ^a	8 ^a	9 ^a
	N-NO ₃ ⁻ mg kg ⁻¹									
1*	0,74 d	2,86 a	5,12 a	1,83 a	0,62 a	3,68 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	1,37 a
2*	24,10 b	5,21 a	3,23 a	1,41 a	0,47 a	2,31 a	1,48 a	0,00 a	0,00 a	1,10 a
3*	48,88 a	4,47 a	1,65 a	1,31 a	2,12 a	2,89 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	1,04 a
4**	7,04 c	3,79 a	3,17 a	4,04 a	0,00 a	0,00 a	4,01 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
5**	6,68 c	3,97 a	6,02 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	3,48 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
6**	6,73 c	3,79 a	1,72 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	3,76 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a

Valores médios de três repetições, * solos de várzea; **solos de sequeiro

Médias na coluna, seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de erro.

Tabela 8 - Teores de N-NO_3^- ao longo da avaliação do experimento de incubação, em solos de várzea e de sequeiro, sob condições úmidas (U) e de alagamento (A). Santa Maria-RS. 2010/11.

Solos	Avaliações									
	zero	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	7 ^a	8 ^a	9 ^a
	$\text{N-NO}_3^- \text{ mg kg}^{-1}$									
1* U	0,74	19,12 a	68,96 a	75,83 a	76,99 a	83,49 a	89,67 a	101,32 a	108,15 a	119,62 a
1* A	0,74	2,86 b	5,12 b	1,83 b	0,62 b	3,68 b	0,00 b	0,00 b	0,00 b	1,37 b
	$\text{N-NO}_3^- \text{ mg kg}^{-1}$									
2* U	24,10	12,34 a	25,47 a	26,44 a	25,92 a	33,40 a	28,76 a	38,56 a	48,95 a	45,96 a
2* A	24,10	5,21 b	3,23 b	1,41 b	0,47 b	2,31 b	1,48 b	0,00 b	0,00 b	1,10 b
	$\text{N-NO}_3^- \text{ mg kg}^{-1}$									
3* U	48,88	9,57 a	27,84 a	26,48 a	29,43 a	34,48 a	33,88 a	40,75 a	55,16 a	49,30 a
3* A	48,88	4,47 b	1,65 b	1,31 b	2,12 b	2,89 b	0,00 b	0,00 b	0,00 b	1,04 b
	$\text{N-NO}_3^- \text{ mg kg}^{-1}$									
4** U	7,04	76,06 a	81,60 a	80,43 a	92,48 a	89,23 a	101,78 a	88,73 a	85,60 a	80,00 a
4** A	7,04	3,79 b	3,17 b	4,04 b	0,00 b	0,00 b	4,01 b	0,00 b	0,00 b	0,00 b
	$\text{N-NO}_3^- \text{ mg kg}^{-1}$									
5** U	6,68	32,68 a	41,41 a	39,01 a	54,69 a	40,91 a	58,24 a	52,97 a	48,70 a	43,40 a
5** A	6,68	3,97 b	6,02 b	0,00 b	0,00 b	0,00 b	3,48 b	0,00 b	0,00 b	0,00 b
	$\text{N-NO}_3^- \text{ mg kg}^{-1}$									
6** U	6,73	30,28 a	54,03 a	52,96 a	55,66 a	57,19 a	61,20 a	61,76 a	60,10 a	56,40 a
6** A	6,73	3,79 b	1,72 b	0,00 b	0,00 b	0,00 b	3,76 b	0,00 b	0,00 b	0,00 b

Valores médios de três repetições, * solos de várzea; ** solos de sequeiro

Médias na coluna e para o mesmo solo, seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de erro.

para estes 2 solos, houve uma maior liberação de NO_3^- no início do experimento pelo solo de sequeiro até a 6ª avaliação e posteriormente uma maior liberação do solo de várzea até a 9ª avaliação. E, de maneira geral, semelhante ao que ocorreu com os teores de N-NH_4^+ houve uma maior liberação dos solos de sequeiro em relação aos solos de várzea, excetuando-se os solos 1 e 4.

Considerando o N mineral ($\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$), os picos de maior produção deste, no período de 102 dias de alagamento (Tabela 9), foram obtidos para os solos 1 e 4. Sendo que, para o solo 1, de várzea, houve maior disponibilidade de N mineral quando mantido sob alagamento do que com o solo úmido, e para o solo 4, de sequeiro, quando mantido úmido em relação ao alagado. Fato que confirma, em partes, a hipótese de que pode haver uma população microbiana diferenciada nestes ambientes. Assim, esses resultados podem estar associados à composição da MOS em função dos diferentes sistemas de manejo do solo (SANTOS, 2003) e ao tipo de população microbiana presente nestes ambientes e sua capacidade de decompor a MOS (VAZOLLER et al., 2008). Já os solos 2 e 3, de várzea, apresentaram valores próximos, bem como os solos 5 e 6, de sequeiro. Entre os solos, novamente os solos com maior teor de MO apresentaram os maiores teores de N-mineral liberados.

Tabela 9 - Pico de produção de N-NH_4^+ , N-NO_3^- e N-mineral durante o período de incubação do experimento. Santa Maria – RS.

Solos	N-NH_4^+		N-NO_3^-		$\text{N-min (NH}_4^+ + \text{NO}_3^-)$	
	Úmido	Alagado	Úmido	Alagado	Úmido	Alagado
	----mg kg ⁻¹ ----		----mg kg ⁻¹ ----		----mg kg ⁻¹ ----	
1*	19,1 (13/09)	178,2 (26/10)	121,6 (16/12)	5,4 (21/09)	140,7	183,6
2*	7,7 (06/12)	47,5 (10/11)	49,2 (06/12)	5,2 (13/09)	56,9	52,7
3*	10,5 (13/09)	55,5 (10/11)	55,1 (06/12)	4,8 (13/09)	65,6	60,4
4**	8,1 (13/09)	55,9 (05/10)	101,7 (26/10)	9,0 (05/10)	109,9	64,9
5**	6,9 (13/09)	54,3 (21/09)	57,3 (26/10)	6,0 (21/09)	64,3	60,3
6**	12,1 (13/09)	56,3 (05/10)	63,5 (10/11)	7,7 (05/10)	75,6	64,0

Valores médios de três repetições, * solos de várzea; **solos de sequeiro
Números entre parênteses representam a data em que ocorreu o pico de produção durante o período de incubação.

5.3.2 Produção de matéria verde e/ou seca e N acumulado no tecido das plantas

Com relação à produção de matéria verde/seca, teor de N e N acumulado no tecido das plantas (Tabela 10), houve efeito de interação entre os solos (sequeiro e várzea) e as condições de umidade (úmido e alagado). Predominantemente, as plantas de arroz cultivadas nos solos mantidos alagados produziram mais matéria verde que nos solos úmidos, o que se refletiu em maior quantidade de N acumulado no tecido das plantas, embora em alguns solos as diferenças não tenham sido significativas. O teor de N não seguiu o mesmo padrão de comportamento, visto que provavelmente tenha ocorrido o efeito de diluição do teor de N nas plantas em que produziram maior quantidade de matéria verde e efeito contrário nas plantas que produziram menor quantidade de matéria verde. A maior produção de matéria verde pode estar relacionada com a maior disponibilidade de N mineral com o alagamento (especialmente o NH_4^+), conforme resultados obtidos no experimento de incubação (Figuras 3 e 4). Já os solos de sequeiro, que apresentaram maior disponibilidade de N quando úmidos do que quando alagados, apresentaram resultados semelhantes de N acumulado pelas plantas, não diferindo estatisticamente dos solos de várzea, exceto o solo 6 de sequeiro, porém apresentando menor acúmulo em relação aos solos de várzea.

A maior quantidade de N absorvido pelas plantas de arroz nos solos de várzea mantidos alagados, em relação aos solos mantidos úmido, também justifica, em parte, o porquê nos solos de várzea do RS cultivados com arroz irrigado, que apresentam baixos teores de MOS (na maioria na classe $\leq 2,5\%$, conforme ANGHINONI et al., 2004), nem sempre apresentam resposta à adubação nitrogenada. Assim, o teor de MOS não se torna um bom indicador da disponibilidade de N para o arroz irrigado (SCIVITTARO; MACHADO, 2004). Este fato pode estar relacionado à abundância de água neste sistema e mecanismos de transporte de nutrientes às plantas, já que é da solução do solo que as plantas absorvem os nutrientes para sua nutrição. Como não há escassez de água, as plantas podem ter maior facilidade de absorver os nutrientes do que nos sistemas de sequeiro, que a disponibilidade de água depende da frequência e quantidade de chuvas ou mesmo dos sistemas de irrigação artificial.

Há também que se considerar que, teoricamente, no experimento em casa de vegetação com plantas houve diferenças quanto aos teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^-

comparando-se com o experimento de incubação, tendo em vista que em função do aerênquimas das plantas de arroz há transporte e difusão de oxigênio próximo às raízes criando uma zona em que pode ocorrer o processo de nitrificação. Assim, nem todo o N-NH_4^+ liberado no experimento de incubação esteve disponível nesta forma, o que também, de certa forma, beneficia o desenvolvimento das plantas de arroz, já que em altas concentrações pode ser tóxico às plantas. Em trabalho avaliando as proporções adequadas de N-NH_4^+ e N-NO_3^- para a produção de arroz, Holzschuh et al. (2009) encontraram que concentrações elevadas de N-NH_4^+ causam toxidez às plantas de arroz, em uma proporção avaliada de até 75:25 ($\text{N-NH}_4^+:\text{N-NO}_3^-$) e que a presença de N-NO_3^- é imprescindível para aumentar a absorção de N, melhorando o crescimento e desenvolvimento da planta e a absorção de cátions. Ou seja, provavelmente parte dos teores de N-NH_4^+ produzidos no experimento de incubação sejam convertidos a N-NO_3^- nas áreas de campo, ou mesmo, neste experimento desenvolvido em casa de vegetação, equilibrando as proporções adequadas ao desenvolvimento das plantas. Já nos solos de sequeiro, rapidamente o N-NH_4^+ é transformado a N-NO_3^- , diminuindo as proporções disponíveis destas duas formas de nitrogênio.

Tabela 10 - Produção de matéria verde e seca, teor de nitrogênio (N) e N acumulado no tecido das plantas de arroz irrigado, cultivar Puitá CL, em função dos tipos de solo e condições de umidade. Santa Maria - RS.

Solos	Matéria verde		Matéria seca		Teor N planta		N acumulado	
	alagado	úmido	alagado	úmido	alagado	úmido	alagado	úmido
	.....g vaso ⁻¹.....				..... g kg ⁻¹.....		.....mg vaso ⁻¹	
1*	77,7 aA	31,3 aB	21,7 aA	7,7 abB	16 bB	34 aA	357,1 aA	252,6 abB
2*	28,0 dA	19,7 cB	4,3 cdA	3,7 cA	26 aA	19 cB	112,3 cA	68,0 dB
3*	24,3 dA	17,3 cB	3,7 dA	2,7 cA	25 aA	22 bcA	91,4 cA	58,7 dA
4**	51,7 bA	32,0 aB	12,3 dA	9,0 aB	26 aB	36 aA	320,2 aA	323,4 aA
5**	29,0 cdA	23,3 bcB	5,3 cdA	4,7 bcA	26 aA	22 bcB	141,1 bcA	104,4 cdA
6**	36,7 cA	28,7 abB	7,7 cA	6,3 abcA	28 aA	27 bA	213,4 bA	170,4 bcB

Valores médios de três repetições com quatro plantas por vaso. * solos de várzea; **solos de sequeiro
Médias na coluna, seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de erro.

Médias na linha, mesma variável, seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de erro.

As diferenças de produtividade de grãos de gramíneas em solos de sequeiro e de várzea e a dependência ou não de adubações nitrogenadas é bastante contrastante. A cultura do arroz irrigado atinge patamares de produtividade de grãos muito elevados, mesmo quando não se realiza nenhuma adubação nitrogenada à cultura. Estes resultados são visíveis em experimentos de pesquisa e mesmo nos resultados já obtidos e que serão demonstrados no estudo 2. Recentemente, em trabalho desenvolvido pelo IRGA (<http://www.irga.rs.gov.br>) com o mesmo cultivar de arroz irrigado utilizado neste experimento de casa de vegetação, Puitá CL Intá, a produtividade de grãos do cultivar atingiu valores em torno de 6 Mg ha^{-1} sem qualquer adição de N mineral, sendo o incremento em produtividade para dose de 90 kg ha^{-1} de aproximadamente 2 Mg ha^{-1} de grãos de arroz. Ou seja, a condição de alagamento por si proporciona altas produtividades de grãos e diminui sua dependência do N fornecido pelas adubações.

Alguns trabalhos têm atribuído à incorporação da palha o aumento da disponibilidade de N neste sistema. Segundo Takahashi et al. (2003), a incorporação da palha mineralizou pelo menos 24% do N da sua constituição, além de aproximadamente 14% do N ficar disponível para o próximo cultivo. Também, segundo Linquist et al. (2006), a incorporação da palha durante 5 anos consecutivos reduziu em 25 kg ha^{-1} a dose de N a ser aplicado. Ou seja, diferentemente dos sistemas de sequeiro, com sistema de semeadura direta, em que objetiva-se o mínimo possível o revolvimento do solo e a manutenção dos resíduos em superfície, para os solos de várzea a maior parte da área cultivada com arroz ainda é com sistemas que utilizam o revolvimento do solo e, conseqüentemente, a incorporação da palha. Fato que se justifica por algumas necessidades práticas de cultivo, dentre elas a de diminuir o volume de resíduos culturais em superfície e a produção de ácidos orgânicos, que limitam o desenvolvimento das plantas de arroz. Isto porque a alta relação C/N da palha de arroz em um ambiente anaeróbico limita a decomposição do grande volume de palha produzido, pois o solo apresenta grupo restrito de decompositores adaptados a esses ambiente (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006), já que a maior parte desses resíduos são formados por uma matriz lignocelulolítica (BIANCHINI Jr. et al., 2008) que se constitui principalmente de celulose, lignina e hemicelulose. E, para que ocorra a decomposição destes componentes, é necessária a produção de enzimas extra celulares, por fungos e bactérias que agem em conjunto na degradação desta fração em ambientes aquáticos (ROMANI, 2006).

Aqui, vale ressaltar que a maioria dos solos cultivados com arroz irrigado não permanece em condições anaeróbicas o ano inteiro. Embora alguns permaneçam a maior parte do tempo alagados, sempre há períodos em que ocorre a decomposição aeróbica, onde há um aumento na velocidade de degradação destes materiais que haviam sido incorporados antecipadamente e, então, a dinâmica de decomposição e mineralização do N orgânico segue os mesmos preceitos de um sistema de sequeiro. Este fato pode ser observado durante a condução do experimento em laboratório, quando em algumas unidades experimentais a lâmina de água baixou e o solo ficou apenas saturado. Nestas condições, quando da determinação do N-mineral, foi possível constatar a diminuição dos teores de N-NH_4^+ e aumento significativo de N-NO_3^- , ou seja, já estava ocorrendo o processo de nitrificação, limitado a ambientes com a presença de oxigênio. Ou seja, os ambientes onde o arroz irrigado é produzido não podem ser tratados unicamente como ambientes em que a decomposição é anaeróbica e, portanto, mais lenta e com menor disponibilização de nutrientes à cultura. Devido aos ciclos de umedecimento e secagem do solo nestes ambientes a dinâmica de decomposição e mineralização do N também alterna-se entre anaeróbica e aeróbica, respectivamente, fato que beneficia tanto o desenvolvimento de duas comunidades microbianas adaptadas a estas duas condições quanto da maior liberação dos nutrientes contidos nos resíduos culturais do arroz.

5.4 Conclusões

Os solos de várzea mantidos sob alagamento apresentaram maior disponibilidade de N mineral, especialmente o NH_4^+ , do que quando mantidos apenas úmidos, o que se refletiu em maior produção de matéria verde e maior quantidade de N acumulado pelas plantas de arroz irrigado.

Os solos de sequeiro, mantidos úmidos foram os que apresentaram maior disponibilidade de N mineral, ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$), porém esta condição não se refletiu em maior produção de matéria verde e maior quantidade de N acumulado pelas plantas de arroz irrigado.

6 CAPÍTULO 2

Utilização de parâmetros da planta para avaliação nutricional da cultura do arroz irrigado por alagamento

6.1 Revisão Bibliográfica

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, 2007).

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 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). 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.

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 próxima das obtidas em países tradicionais no cultivo (EUA, Austrália e Japão) (AZAMBUJA et al., 2004), em torno de $7,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ (ANUÁRIO BRASILEIRO DO ARROZ, 2011). Porém, ainda está distante do rendimento obtido em algumas áreas experimentais e em partes de lavouras comerciais do Estado, que alcançam até quase o dobro da média estadual.

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 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). Além disso, a CQFS RS/SC (2004) não fornece a quantidade de N a ser aplicada se os valores encontrados não estiverem dentro das faixas consideradas adequadas para os nutrientes.

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. 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, leve-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.

Dentre os métodos que já estão sendo testados e/ou utilizados, dependendo da

cultura, destaca-se o medidor portátil de clorofila (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.

Os estudos desenvolvidos por POCOJESKI (2007), utilizando diferentes doses de N e cultivares de arroz irrigado cultivadas nos Estados do RS e SC, demonstraram que o clorofilômetro tem potencial para ser utilizado independente da cultivar e, que há relação entre as leituras e o teor de N da folha em que é realizada a leitura, ou seja, há um aumento das leituras SPAD conforme aumentam as doses de N aplicadas. Porém, também se observou que a leitura do clorofilômetro e, conseqüentemente, a estimativa indireta do teor de N da folha em que era realizada a leitura, nem sempre estava relacionado ao estado nutricional da planta, principalmente pelo efeito de diluição de N na planta com o crescimento da parte aérea (POCOJESKI, 2007, PIT et al., 2007, POCOJESKI et al., 2008). Assim, plantas com alta produção de matéria verde apresentavam menores valores de leitura SPAD do que plantas com menor produção desta, o que não descreve o estado nutricional da cultura em si. A partir destes resultados, os autores destacam a necessidade de utilizar não somente o valor da leitura SPAD, mas também outros parâmetros da planta, como produção de matéria verde ou seca e/ou N acumulado, à semelhança do que já é realizado, por exemplo, no

sistema de recomendação de adubação Ricecheck empregado na Austrália.

6.2 Descrição geral dos experimentos

Este estudo engloba três experimentos desenvolvidos a campo, em diferentes anos agrícolas, na área experimental do Departamento de Solos, UFSM, Santa Maria – RS. Os experimentos foram desenvolvidos com o objetivo de utilizar os parâmetros matéria verde/seca e N acumulado pelas plantas como complemento às leituras SPAD do clorofilômetro, além de determinar uma leitura crítica do aparelho para a cultura do arroz irrigado por alagamento. No experimento 1 o objetivo inicial foi de verificar quantos kg de N eram necessários para aumentar 1 unidade SPAD do clorofilômetro e determinar uma leitura crítica do aparelho a partir da resposta da cultura em termos de produtividade de grãos. O Experimento 2 foi desenvolvido para complementar o experimento 1, a partir da implantação de um experimento onde criou-se diferentes condições de produção de matéria verde, simulando as várias possibilidades de manejo da adubação nitrogenada em cobertura que o agricultor pudesse realizar e, que por consequência, pudessem refletir em diferentes produções de matéria verde/seca. E, a partir da obtenção da produção de matéria verde/seca e N acumulado, estes seriam cruzados com os valores de leituras do clorofilômetro, para cada uma das situações, obtendo a dose de N ideal para cada situação de lavoura. No experimento 3 foram repetidos os tratamentos do experimento 2, porém utilizando-se outro cultivar, para avaliar o comportamento deste tipo de avaliação quando há variação do cultivar e com uma dose maior do que a última utilizada no experimento 2, para avaliar a probabilidade de resposta da cultura a doses maiores de N, já que as cultivares disponíveis hoje no mercado atingem altos níveis de produtividade.

Experimento 1 – Avaliação da necessidade de N (em kg ha⁻¹) para aumentar 1 unidade SPAD de leitura

6.3 Material e Métodos

O experimento foi conduzido a campo, no ano agrícola de 2006/07, na área experimental do Departamento de Solos, da Universidade Federal de Santa Maria,

Santa Maria - RS. 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 onde foi conduzido o experimento classifica-se como um Planossolo Háplico eutrófico arênico (EMBRAPA, 2006).

O sistema de preparo do solo foi convencional, com aração e gradagem. A semeadura foi realizada no dia 12/11/2006, com uma densidade de sementes de 100 kg ha⁻¹ do cultivar de arroz irrigado IRGA 422 CL. As parcelas foram compostas de 5m x 6m (30m²), com delineamento experimental de blocos ao acaso e com quatro repetições. Para a adubação realizada na semeadura foram utilizados 250 kg ha⁻¹ da fórmula 5-20-30 de N-P₂O₅-K₂O. O controle de plantas invasoras foi efetuado com uma aplicação de ONLY[®] (1,5 L ha⁻¹) em pré-emergência no dia 12/11/2006 e outra aplicação em pós-emergência (0,5 L ha⁻¹) no dia 08/12/2006.

Os tratamentos consistiram de seis faixas de valores pré-determinados de leitura do clorofilômetro (unidades SPAD) a serem atingidos no estágio R0 (início da diferenciação do primórdio floral) (Tabela 11), segundo escala de Counce et al. (2000). Para que houvesse a distinção das faixas de leituras SPAD, foram utilizadas inicialmente diferentes doses de N (0, 20, 40, 60, 80 e 100 kg ha⁻¹, na forma de uréia), aplicadas no dia 10/12/2006 (28 dias após a semeadura e no mesmo dia do alagamento da área) quando as plantas estavam em estágio V4 (início do perfilhamento) (COUNCE et al., 2000). Após 11 dias do alagamento da área, semanalmente, foram realizadas as leituras com o clorofilômetro, aproximadamente no meio da última folha completamente expandida de 10 plantas por parcela e, quando necessário, foi realizada a aplicação de N visando atingir os valores de leituras pré-estabelecidos, para cada tratamento (Tabela 12), procedimento este interrompido em 18/01/07.

No estágio R0 (23/01/07), foi realizada a leitura com o clorofilômetro e a coleta da parte aérea das plantas em uma área útil de 0,51 m² em cada parcela, as quais foram imediatamente pesadas, para a determinação de matéria verde, e colocadas em estufa para secagem a 65 °C até peso constante, para determinação da matéria seca das plantas. Uma alíquota das amostras secas do tecido vegetal foi moída para determinação do teor de N total, conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). Com base na quantidade de matéria seca produzida e no N total no tecido das plantas, foi calculado o acúmulo de N no tecido da parte aérea.

A produtividade de grãos foi determinada após a colheita das panículas de arroz, em uma área útil de 8m², em cada parcela. As panículas foram trilhadas, a umidade dos grãos foi corrigida para 13% e a produtividade de grãos expressa em kg ha⁻¹.

Foram realizadas equações de regressão entre as leituras do clorofilômetro no estágio R0 e os parâmetros avaliados, sendo que a leitura crítica do clorofilômetro foi considerada quando a derivada da equação entre leitura e rendimento de grãos fosse igual a zero, ou seja, não houvesse mais incremento de rendimento de grãos com o aumento da leitura do clorofilômetro.

Tabela 11 - Dose de N aplicadas na 1ª adubação de cobertura e leituras críticas do clorofilômetro. Cultivar IRGA 422 CL. Safra 2006/2007. Santa Maria – RS.

Doses de N – 1ª adubação em cobertura (kg ha⁻¹)	Valores pré-definidos de leitura do clorofilômetro*
0	24-27
20	27-30
40	30-33
60	33-36
80	36-39
100	>40

*: A serem atingidos na diferenciação do primórdio floral – R0.

6.4 Resultados e Discussão

Os valores de leituras SPAD do clorofilômetro no estágio R0 não foram exatamente aqueles pré-estabelecidos, porém houve uma variação entre 30 e 40 unidades entre os tratamentos com as menores e maiores doses de N aplicadas (Tabelas 11 e 12). Houve relação linear entre as leituras do clorofilômetro e o teor de N na parte aérea das plantas no estágio R0 (Figura 7a), como já demonstrado também em outros trabalhos (PENG et al., 1993), inclusive para os cultivares utilizados no RS (POCOJESKI, 2007). Isso indica que o clorofilômetro é um método eficiente em estimar o teor de N nas plantas de arroz irrigado e tem potencial de uso para manejar as aplicações de N em cobertura nessa cultura.

Tabela 12 - Tratamentos e avaliações realizadas com o clorofilômetro durante o cultivo do arroz irrigado. Cultivar IRGA 422 CL. Safra 2006/2007. Santa Maria - RS.

Tratamentos Pré-definido*	Épocas de avaliação com clorofilômetro					
	21/12/06	27/12/06	04/01/07	13/01/07	18/01/07	23/01/07
	.....Leituras do clorofilômetro (unidades SPAD)					
T1- 24-27	37,9	36,4	33,9	31,3	30,9	30,8
T2 - 27-30	39,2	39,6	36,1	33,0	31,2	31,2
T3 - 30-33	39,6	39,1	36,3	34,2	32,0	32,8
T4 - 33-36	39,9	39,3	39,5	34,8	33,1	36,1
T5 - 36-39	39,5	39,5	39,7	35,7	34,1	36,9
T6 - >40	40,6	41,3	40,4	38,0	34,7	39,5

* Valores pré-definidos de leituras do clorofilômetro para cada tratamento a serem atingidos no estágio R0 (R0 em 23/01/07).

Os valores de leitura SPAD no estágio R0 também se relacionaram linearmente com a matéria seca e com o N acumulado pela parte aérea das plantas (Figuras 7b e 7c, respectivamente), reforçando que o aparelho é um bom método para acompanhar tanto os teores de N na folha avaliada (POCOJESKI, 2007), como a resposta à adição de N pela produção de matéria seca da planta (SILVA et al., 2007). Entretanto, o aumento das leituras do clorofilômetro não se refletiu linearmente com a produtividade de grãos (Figura 8), para o qual o comportamento foi ajustado para uma equação quadrática. Esse comportamento indica que há um valor de leitura SPAD do clorofilômetro a partir do qual não há mais incremento na produtividade de grãos.

Tabela 13 - Quantidade de N aplicado em cobertura nos tratamentos em função das leituras obtidas pelo clorofilômetro durante o cultivo do arroz irrigado e a produtividade de grãos. Cultivar IRGA 422 CL. Safra 2006/2007. Santa Maria - RS.

Aplicação em 10/12/06	Épocas de avaliação com clorofilômetro						Total aplicado
	21/12/06	27/12/06	04/12/07	13/01/07	18/01/07	23/01/07	
	..... kg ha ⁻¹ de N						
0	-	-	-	-	-	-	0
20	-	-	-	-	-	-	20
40	-	-	-	-	15	-	55
60	-	15	-	15	25	-	115
80	-	30	-	30	50	-	190
100	-	45	15	45	75	-	280

Pode-se destacar também que, embora a produção de matéria seca e, conseqüentemente, de acúmulo de N pelas plantas, tenham aumentado linearmente com o aumento das leituras (em função da dose N aplicada), as plantas não converteram o N acumulado na fase vegetativa em produção de grãos na fase reprodutiva (Figuras 7 e 8). Os cultivares, segundo Below et al. (1981), podem ser separados quanto ao comportamento na utilização do N; 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 plantas que apresentam grande proporção de absorção e assimilação de N após a floração, sendo as demais características opostas as da primeira. Um fator que também pode ter influenciado neste comportamento, é que na análise do tecido vegetal 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. Além destas considerações, outros fatores interespecíficos, como a competição dos afilhos por luz e N (PEREIRA, 1989) bem como a temperatura, também podem influenciar no rendimento de grãos da cultura. Assim, há necessidade de se confirmar a existência de um valor crítico de leitura SPAD do clorofilômetro para manejar as aplicações de N em cobertura.

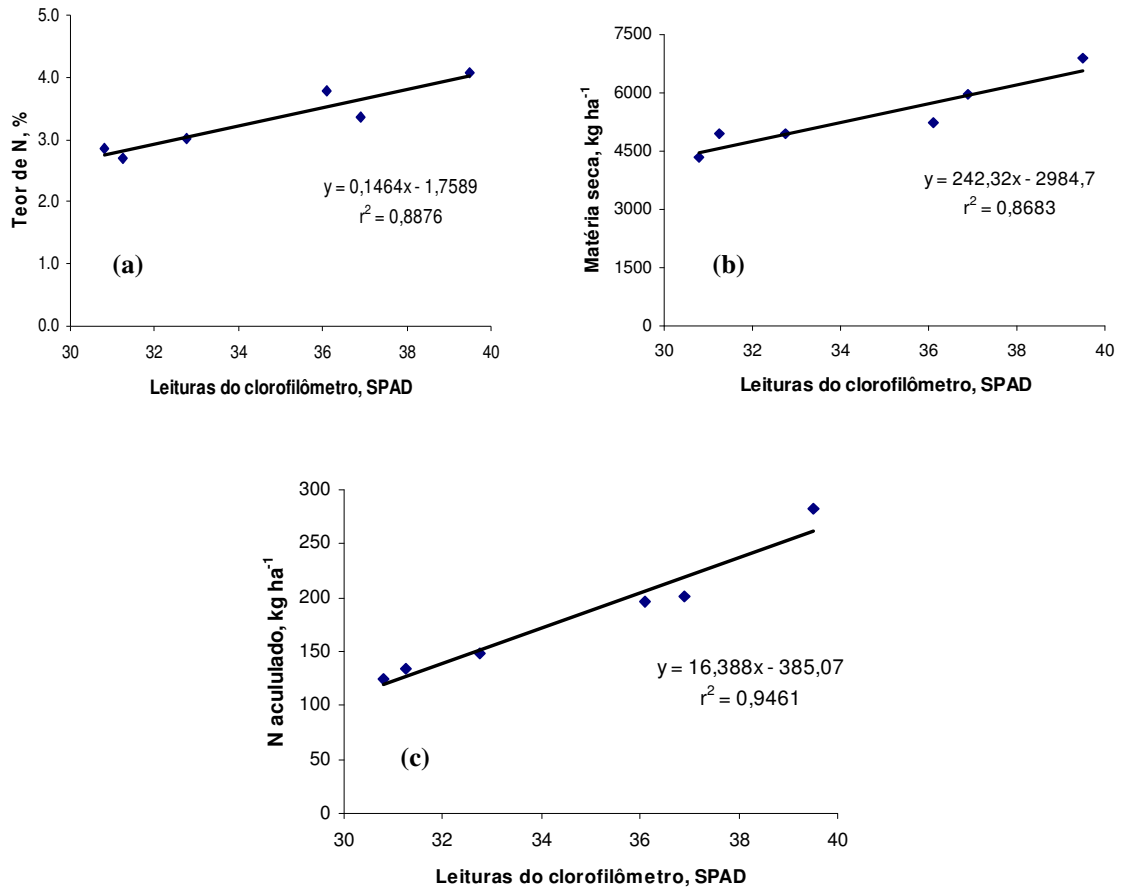


Figura 7 - Teor de N (a), produção de matéria seca (b) e quantidade de N acumulado na matéria seca (c) em função das leituras do clorofilômetro (unidades SPAD) no estádio R0. Cultivar IRGA 422 CL. Safra 2006/2007. Santa Maria - RS.

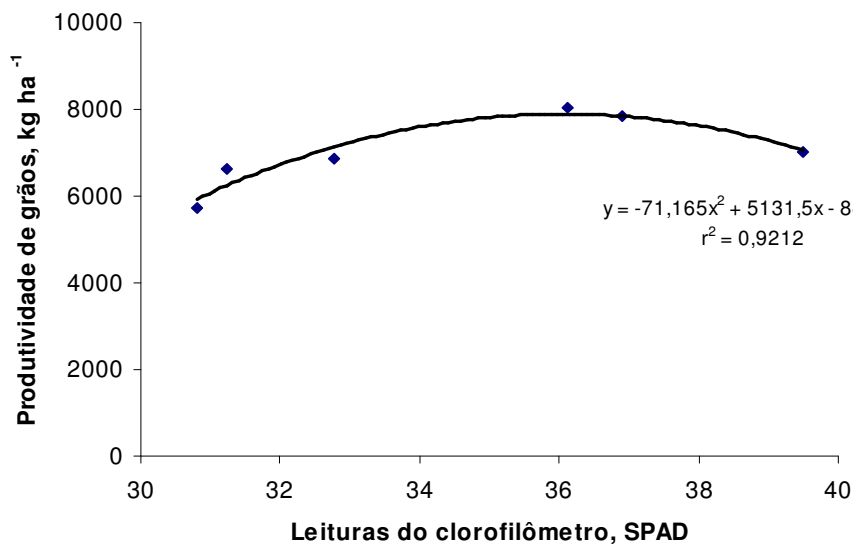


Figura 8 - Produtividade de grãos de arroz em função das leituras do clorofilômetro (unidades SPAD) realizadas no estádio R0. Cultivar IRGA 422 CL. Safra 2006/2007. Santa Maria - RS.

O valor de leitura do clorofilômetro no estágio R0 em que foi obtida a máxima produtividade de grãos foi estimado matematicamente em 36 unidades SPAD, o qual se determinaria, com base nas equações da figura 1, um teor de N na planta inteira de 3,5%, 5.739 kg ha⁻¹ de matéria seca e 204,9 kg de N acumulado pela parte aérea das plantas nesta fase. Um valor crítico de 35 unidades SPAD foi utilizado por Peng et al. (1996) para o cultivar de arroz irrigado IR72, independente da época de avaliação, para manejar as aplicações de N. Estes autores encontraram que o tratamento baseado nas leituras SPAD do clorofilômetro, em comparação a outros tratamentos com doses de N pré-definidas, apresentou a maior produtividade de grãos em um experimento e de 93-98% da produtividade máxima de outros três experimentos, com menor quantidade de N aplicado e maior eficiência agrônômica em todos os experimentos. Além disso, o fato de aplicar uma menor quantidade de N na cultura resulta em menor probabilidade de acamamento de plantas, de doenças ocasionadas pelo excesso de N, menor custo de aplicação e perdas do N não utilizado pelas plantas.

O valor de leitura crítica do clorofilômetro poderia ser utilizado como referência para a aplicação de N quando as avaliações desses parâmetros fossem abaixo do crítico. Cabe salientar que o valor de 36 unidades SPAD foi obtido no tratamento T4, onde a dose de N em cobertura acumulada foi de 115 kg ha⁻¹, valor que somado aos 12,5 kg ha⁻¹ aplicados na semeadura estão muito próximos aos 120 kg ha⁻¹ indicados pela CQFS RS/SC (2004) e SOSBAI (2010) para altas produtividades de arroz em solos de baixo teor de matéria orgânica. Entretanto, outros estudos devem ser empregados para ajustar as dose de N a aplicar na cultura na medida em que se afasta do valor estabelecido nesse experimento, permitindo assim um ajuste mais preciso das quantidades a serem aplicadas quando as plantas estiverem sob diferentes condições de cultivo e clima.

6.5 Conclusões

As leituras do clorofilômetro têm relação direta com o teor de N nas folhas, produção de matéria seca e N acumulado pela parte aérea das plantas de arroz irrigado.

Maiores leituras do clorofilômetro não se refletem diretamente em maior produtividade de grãos, sendo neste experimento, o valor de 36 unidades SPAD o estimado como leitura crítica para a maior produtividade de arroz.

Experimento 2 e 3 – Avaliação da matéria verde/seca e N acumulado como complemento às leituras do clorofilômetro para realização da avaliação nutricional da cultura do arroz irrigado por alagamento

6.6 Material e Métodos

Para o desenvolvimento deste estudo foram conduzidos dois experimentos a campo, o primeiro na safra 2007/2008 e o segundo 2008/2009, instalados na área experimental do Departamento de Solos, da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS. 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 onde foram conduzidos os experimentos classifica-se como um Planossolo Háptico eutrófico arênico (EMBRAPA, 2006).

O delineamento experimental utilizado em ambos os experimentos foi o de blocos ao acaso, com três repetições por tratamento e parcela subdividida. As parcelas foram compostas de 5m x 16m (80m²), sendo então posteriormente divididas em subparcelas de 5m x 4m (20m²). Para a adubação realizada na semeadura foram utilizados 250 kg ha⁻¹ da fórmula 5-20-30 de N-P₂O₅-K₂O.

No estágio R0 foi realizada a divisão das parcelas em 4 subparcelas, as quais receberam a aplicação de 4 doses de N (0, 25, 50 e 75 kg ha⁻¹) distribuídas ao acaso dentro das parcelas (Figura 8). Aquelas que continham como tratamento principal a dose recomendada pela CQFS RS/SC (2004) também receberam a aplicação de doses de N, com aplicação da dose para completar o equivalente a 110 kg durante o ciclo da cultura.

Após a primeira aplicação de N em cobertura, assim que as plantas apresentassem largura de folha adequada, foram realizadas as leituras com o clorofilômetro, até aproximadamente o estágio de florescimento, seguindo a escala de Counce et al. (2000). As leituras foram realizadas na última folha completamente expandida, aproximadamente na metade da folha, com 15 leituras na parcela principal e/ou 15 quando havia parcela subdividida.

Quando as plantas encontravam-se no estágio de Diferenciação do Primórdio Floral (R0) (COUNCE et al., 2000) foram coletados 2 metros lineares de plantas, as quais foram imediatamente pesadas após a coleta, para a determinação da matéria verde e, após colocadas em estufa para secagem a 65 °C até peso constante, para

determinação da matéria seca. Uma alíquota das amostras secas do tecido vegetal foi moída para determinação do teor de N total, conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). Com base na quantidade de matéria seca produzida e no N total no tecido das plantas, foi calculado o acúmulo de N no tecido da parte aérea.

A produtividade de grãos foi determinada em uma área útil de 8m² de cada parcela. As panículas foram trilhadas, a umidade dos grãos foi corrigida para 13% e a produtividade de grãos expressa em kg ha⁻¹. Foram realizadas equações de regressão para produção de matéria verde e/ou seca e para a produtividade de grãos.

Safra 2007/2008

A semeadura foi realizada no dia 13/11/2007, com uma densidade de sementes de 140 kg ha⁻¹ do cultivar de arroz irrigado IRGA 422 CL. O controle de plantas invasoras foi efetuado em pós-emergência dia 03/12/2007, com uma aplicação de ONLY[®] (1,5 L ha⁻¹).

Os tratamentos consistiram de cinco doses de N (0, 40, 63, 80 e 120 kg ha⁻¹), sendo a dose de 63 kg N ha⁻¹ a dose de N a ser adicionada seguindo as recomendações do Manual de Adubação e de Calagem para os Estados do RS e SC (2004). As doses de N foram aplicadas quando as plantas estavam aproximadamente no estágio V4 (COUNCE et al., 2000), um dia antes da entrada da água na área experimental, que ocorreu no dia 04/12/2007.

Na segunda aplicação de N em cobertura, realizada no estágio R0, as parcelas que continham como tratamento principal a dose recomendada pela CQFS RS/SC (2004), receberam a aplicação de 40 kg N ha⁻¹, em substituição a dose de 50 kg N ha⁻¹, para que completasse o equivalente a 110 kg aplicados durante o ciclo da cultura.

Safra 2008/2009

A semeadura foi realizada no dia 18/11/2008, com uma densidade de sementes de 110 kg ha⁻¹ do cultivar de arroz irrigado IRGA 424. O controle de plantas invasoras foi efetuado com uma aplicação de Nomenee (65 mL ha⁻¹) + 4g de Aly, em pós-emergência, dia 16/12/2008.

Os tratamentos consistiram de seis doses de N (0, 40, 58, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹), sendo a dose de 58 kg N ha⁻¹ a dose de N a ser adicionada seguindo as

recomendações do Manual de Adubação e de Calagem para os Estados do RS e SC (2004). As doses de N foram aplicadas quando as plantas estavam aproximadamente no estágio V4 (COUNCE et al., 2000), um dia antes da entrada da água na área experimental, que ocorreu no dia 17/12/2008.

Na segunda aplicação de N em cobertura, realizada no estágio R0, as parcelas que continham como tratamento principal a dose recomendada pela CQFS RS/SC (2004), receberam a aplicação de 40 kg N ha⁻¹, em substituição a dose de 50 kg N ha⁻¹, para que completasse o equivalente a 110 kg aplicados durante o ciclo da cultura.

6.7 Resultados e Discussão

6.7.1 Leituras do clorofilômetro

Na safra 2007/08, as leituras do clorofilômetro realizadas 19 dias após a primeira aplicação de N evidenciaram o efeito das doses aplicadas, variando de 31,8 até 38,6 unidades SPAD para os tratamentos sem N e de 120 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 9). Considerando uma correlação entre leituras e teor de N nas folhas (POCOJESKI, 2007), as plantas apresentaram diferente estado nutricional pela aplicação das doses de N em cobertura. Entretanto, as leituras do clorofilômetro decresceram rapidamente com o tempo de cultivo, tornando-se semelhante em todos os tratamentos (média de 30 unidades SPAD) aos 47 dias após a aplicação, independente da dose de N aplicada, quando as plantas se aproximaram do estágio R0. Esses resultados indicam que a avaliação do estado nutricional das plantas pelo clorofilômetro, isoladamente, não é um bom indicador das condições gerais da lavoura e o uso da matéria verde ou seca pode ajudar na interpretação dos resultados para um melhor ajuste na adubação em cobertura. Vários trabalhos têm demonstrado que o uso isolado das leituras do clorofilômetro não é suficiente para prever a necessidade de adubação nitrogenada e, em função disso tenta-se aliar outros parâmetros da planta que possam complementar ou ser mais eficiente na predição da necessidade de N. Assim, embora Vervel et al. (1997) comentam que em sistemas irrigados, há possibilidade de aplicação de pequenas doses na água de irrigação, toda vez que as leituras obtidas no aparelho caírem abaixo de um valor crítico pré-determinado, sabe-se que em sistemas irrigados há uma série de dificuldades operacionais em função da lâmina de água e mesmo de custos em função da aplicação. Esses fatores não tornam o manejo da adubação

nitrogenada uma tarefa mais fácil em comparação aos sistemas de sequeiro, ou seja, não é uma prática de simples conferência das leituras e aplicação de N se os valores SPAD estiverem baixos. Além disso, também não há valores de referência ou críticos, para os cultivares ou sistemas de produção de arroz irrigado na região sul do Brasil.

Também houve efeito da segunda aplicação de N em cobertura, evidenciado pelas leituras do clorofilômetro após 55 dias do alagamento (36 dias após a segunda aplicação) (Figura 9), variando de 27,8 até 35,8 unidades SPAD, dependendo da quantidade de N aplicada. Entretanto, não houve influência da primeira aplicação de N sobre os valores de unidades SPAD atingidas com as doses da segunda aplicação para os diferentes tratamentos, além do que os valores atingidos foram inferiores aos obtidos com a primeira aplicação. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que não havia mais diferenças nas leituras SPAD entre os tratamentos quando foi realizada a segunda aplicação e, nesse estágio, a quantidade de massa das plantas era muito maior do que na primeira, diluindo os efeitos do N aplicado.

Em experimento desenvolvido com a cultura do feijão irrigado, Barbosa Filho et al. (2009), testando a possibilidade de uso do clorofilômetro e outros parâmetros, comentam que pode-se considerar o clorofilômetro Minolta SPAD-502 um método promissor como instrumento indicativo da época de quando se deve iniciar a aplicação de N em cobertura no feijoeiro irrigado e que a adubação de cobertura, baseada nesse critério resulta em maior eficiência agrônômica do N do que a aplicação de N baseada na recomendação local. Porém, a grande limitação do aparelho está em predizer a dose de N a ser utilizado, muito mais do que a época adequada de aplicação de N. Ou seja, os resultados do experimento também apontam que o aparelho tem a capacidade de diagnosticar as diferenças no teor de N entre as plantas, porém apresenta limitações, principalmente quando não se considera o efeito de diluição pela produção de matéria verde.

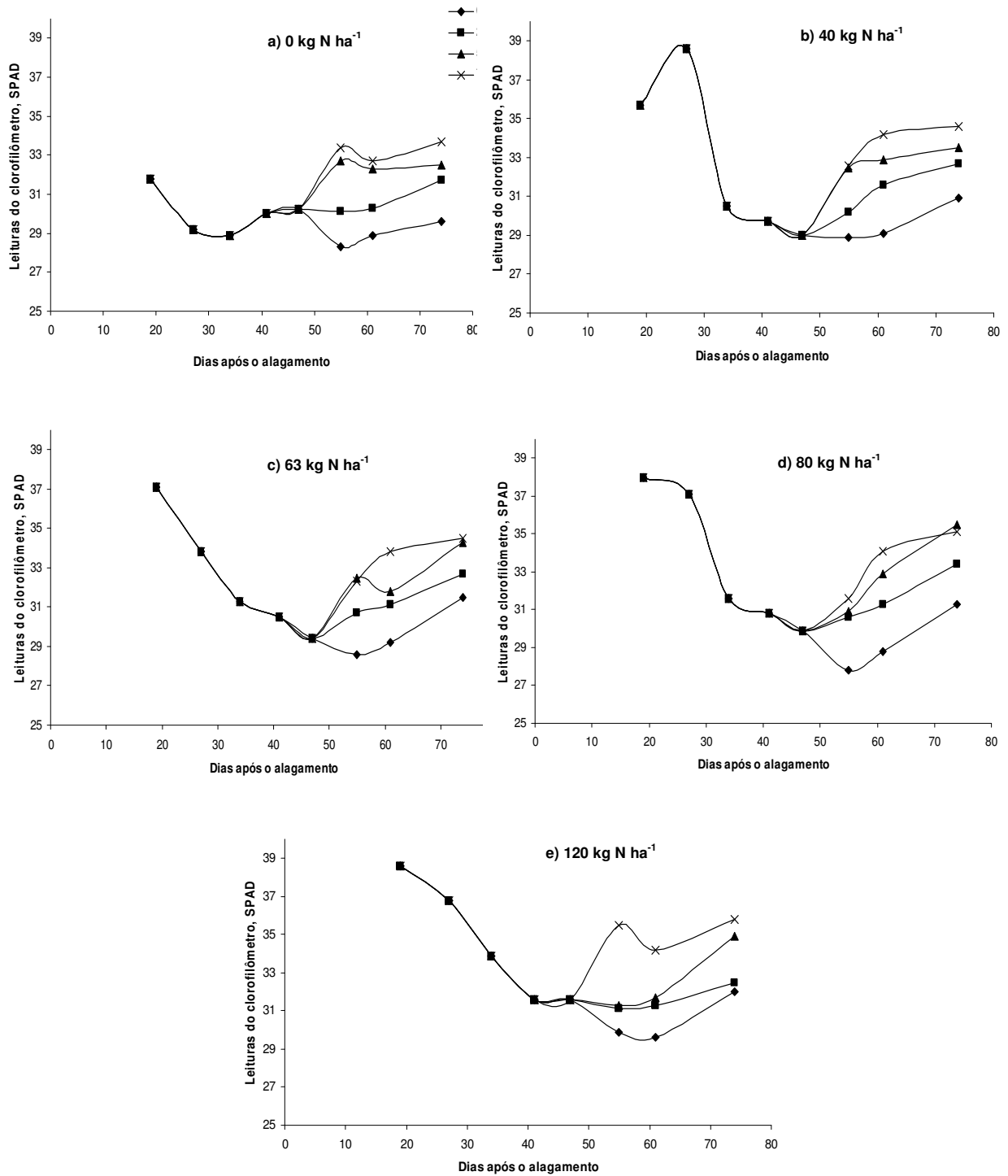


Figura 9 - Leituras SPAD realizadas com clorofilômetro ao longo do ciclo da cultura do arroz irrigado, nos tratamentos com diferentes doses de N na parcela principal (a, b, c, d, e) e nas subparcelas. Cultivar IRGA 422 CL. Safra 2007/2008. Santa Maria - RS.

Para a safra 2008/09, as unidades SPAD do clorofilômetro variaram de 27,8 a 37,4, para os tratamentos testemunha (0 kg N ha^{-1}) até a quantidade de 160 kg N ha^{-1} , respectivamente, para as leituras realizadas aos 20 dias após a primeira aplicação de N, evidenciando o efeito das doses de N aplicadas na primeira adubação de cobertura (Figura 10). Considerando uma correlação entre leituras e teor de N nas folhas (POCOJESKI, 2007; PIT et al., 2007), as plantas apresentaram diferente estado nutricional pela aplicação das doses de N em cobertura. Entretanto, as leituras do clorofilômetro decresceram rapidamente com o tempo de cultivo, tornando-se semelhante em todos os tratamentos (entre 28 e 30 unidades SPAD) aos 34 dias após a aplicação (estádio R0, momento da segunda aplicação de N), exceto para a dose de 160 kg N ha^{-1} que as leituras ainda ficaram próximas a 33 unidades SPAD. O comportamento deste segundo ano de cultivo foi muito semelhante ao que ocorreu no ano anterior, em que houve efeito da aplicação de N nas leituras SPAD e, as leituras diminuiriam rapidamente no decorrer do desenvolvimento das plantas de arroz irrigado.

As leituras SPAD do clorofilômetro, aos 20 e 34 dias após o alagamento, apresentaram uma correlação linear com as doses de N aplicadas na primeira adubação de cobertura (Figura 11a e 11b). Porém, se comparados, tanto o coeficiente de correlação como a variação das leituras SPAD, foram menores aos 34 dias após o alagamento (estádio R0), em relação à dose aplicada, o que indica que nesta época as leituras do clorofilômetro foram menos precisas para estimar o estado nutricional da lavoura como um todo. De acordo com os resultados apresentados por Pit et al. (2007), as leituras do clorofilômetro, embora apresentem relação com o teor de N, quando utilizadas isoladamente, não refletem adequadamente o estado nutricional da cultura. Este fato deve-se, provavelmente, pelo efeito de diluição do N na planta. As plantas que têm uma maior produção de matéria verde têm também um maior efeito de diluição do nutriente na planta e, conseqüentemente, fornece valores SPAD menores nas folhas onde são realizadas as leituras. Este fato pode explicar, em partes, a menor variação de leituras SPAD no estágio R0, onde as plantas apresentavam maior desenvolvimento de matéria verde, em relação às leituras anteriores, resultando no efeito de diluição do N nos tratamentos que receberam maiores doses de N. Assim, os resultados de matéria verde/seca ou o N acumulado poderiam, desde que ajustados de forma adequada, ajudar na interpretação dos resultados das leituras do clorofilômetro,

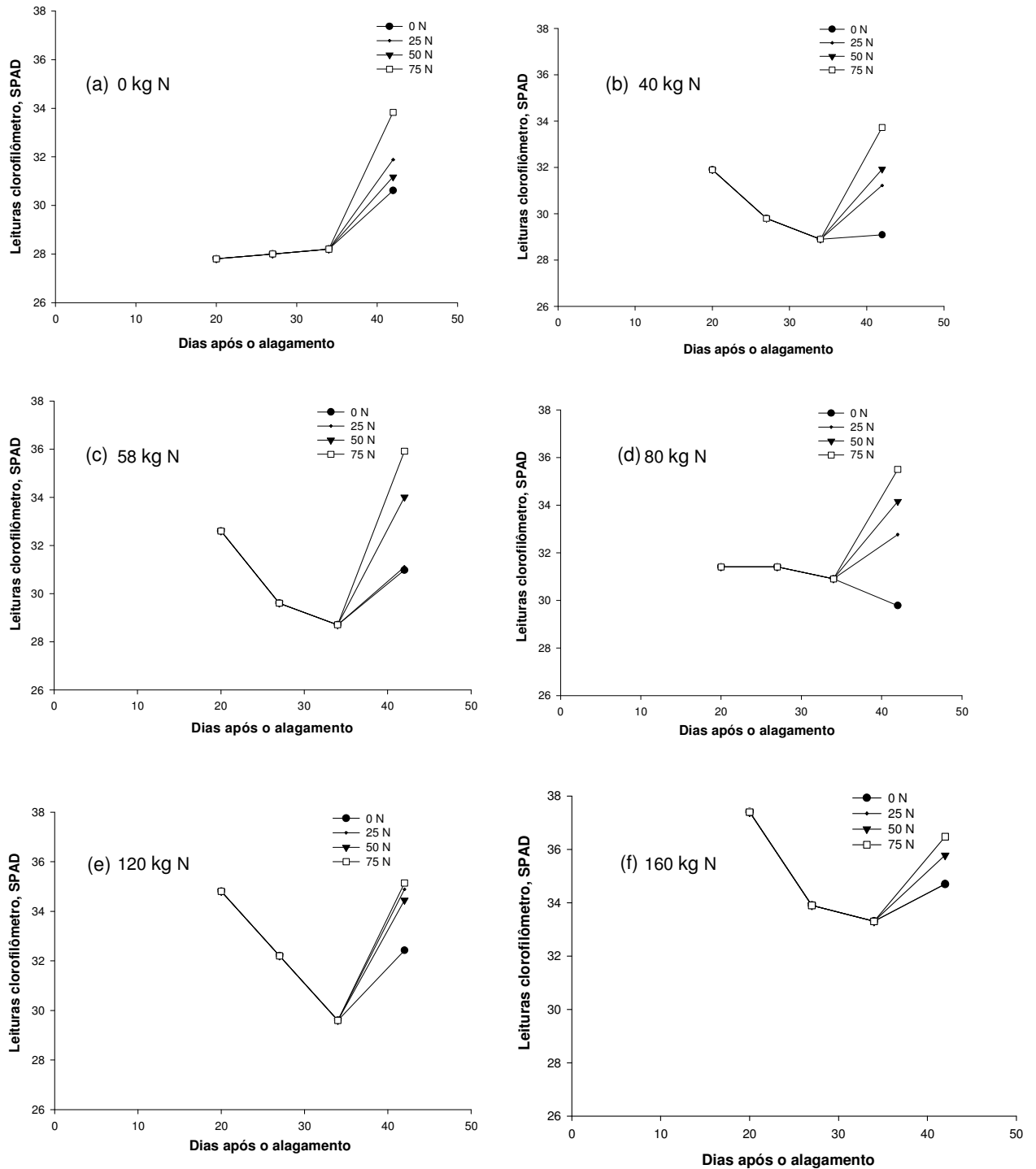


Figura 10 - Leituras SPAD realizadas com clorofilômetro ao longo do ciclo da cultura do arroz irrigado, nos tratamentos com diferentes doses de N na parcela principal (a, b, c, d, e e f) e nas subparcelas. Cultivar IRGA 424. Safra 2008/2009. Santa Maria - RS.

indicando para cada situação de produção de massa de plantas qual o melhor ajuste na adubação nitrogenada em cobertura.

Também houve efeito da segunda aplicação de N em cobertura, nas leituras do clorofilômetro, após 42 dias do alagamento (Figura 10), variando de 29,1 até 36,5 unidades SPAD, dependendo da quantidade de N aplicada. Diferentemente dos

resultados obtidos no experimento anterior, os valores de leitura SPAD em R0 foram, em alguns tratamentos, superiores aos obtidos na primeira avaliação, indicando que houve influência maior da segunda aplicação de N sobre as leituras do clorofilômetro. Parte deste comportamento diferenciado pode ser atribuída a diferença entre os cultivares utilizados nos dois experimentos. Enquanto no primeiro foi o IRGA 422 CL, no segundo foi o IRGA 424, neste caso um cultivar sensível ao residual de herbicida utilizado para controle de arroz vermelho e que, devido à fitotoxidez que foi observada, pode ter restringido o crescimento das plantas e favorecido o aumento das leituras do clorofilômetro devido a uma menor produção de matéria seca das plantas. Também cabe ressaltar aqui que o aparelho apresenta uma série de limitações de uso e que qualquer alteração da folha (como doenças ou mesmo a fitotoxidez) podem alterar os valores de leitura quando comparados a uma planta considerada sadia.

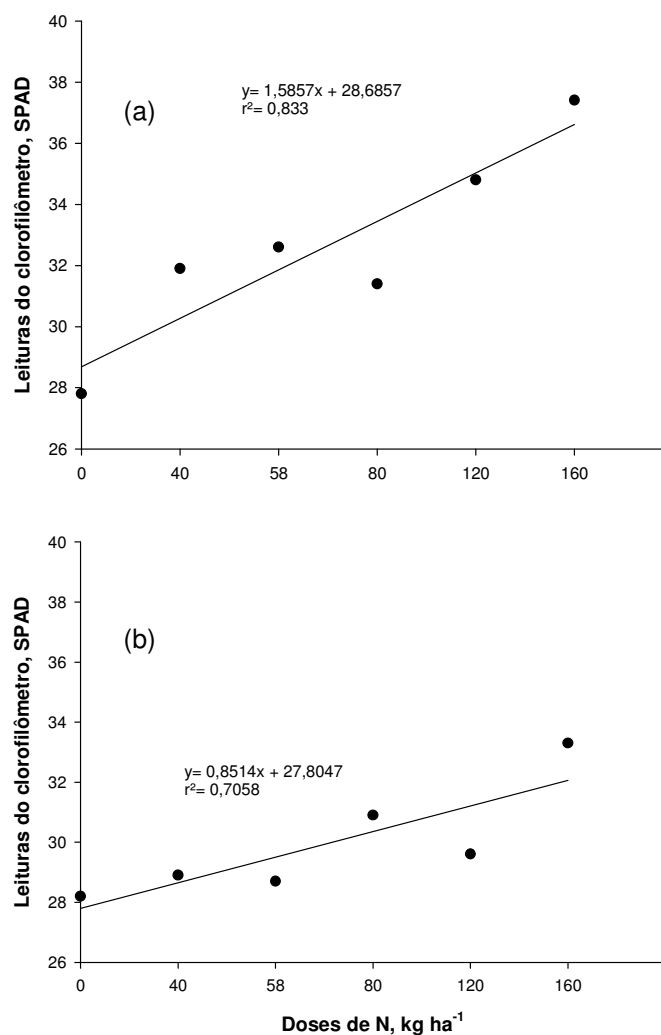


Figura 11 - Relação entre as doses de N e as leituras SPAD do clorofilômetro no aos 20 dias após o alagamento (a) e aos 34 dias após o alagamento (estádio R0) (b). Cultivar IRGA 424. Safra 2008/09. Santa Maria – RS.

6.7.2 Produção de matéria verde/seca e N acumulado

Na safra 2007/2008, embora as leituras do clorofilômetro estivessem indicando mesmo estado nutricional das plantas, houve diferença na produção de matéria verde e/ou seca das plantas em R0, que responderam linearmente à primeira aplicação de N em cobertura (Figura 12). Resultado semelhante foi obtido na safra 2008/2009, onde o cultivar de arroz irrigado utilizado respondeu linearmente à primeira aplicação de N em cobertura na produção de matéria verde e/ou seca das plantas de arroz em R0 (Figura 13). Resultados de trabalhos anteriores (POCOJESKI, 2007; PIT et al., 2007) já demonstraram que a produção de matéria verde/seca e N acumulado respondem linearmente as doses de N aplicadas. Este fato, se observado isoladamente, poderia indicar que a cultura possui potencial de resposta à aplicação de maiores doses de N. Porém, quando analisados os dados de produtividade de grãos da cultura este potencial não é expresso, ou seja, embora espera-se que a planta transforme todo o N absorvido em grãos, isso não ocorre e, em geral, a produtividade de grãos apresenta resposta quadrática, com o máximo do potencial produtivo expresso em doses inferiores a maior utilizada em cada um dos experimentos. Com base nessas considerações, conclui-se que há absorção do N e aumento da produção de matéria verde, porém a planta não converte esta produção em produtividade de grãos, pois a resposta de produtividade é quadrática e não linear. Muitas vezes, esta maior absorção de N, principalmente quando utilizadas doses elevadas de N pode resultar em acamamento das plantas.

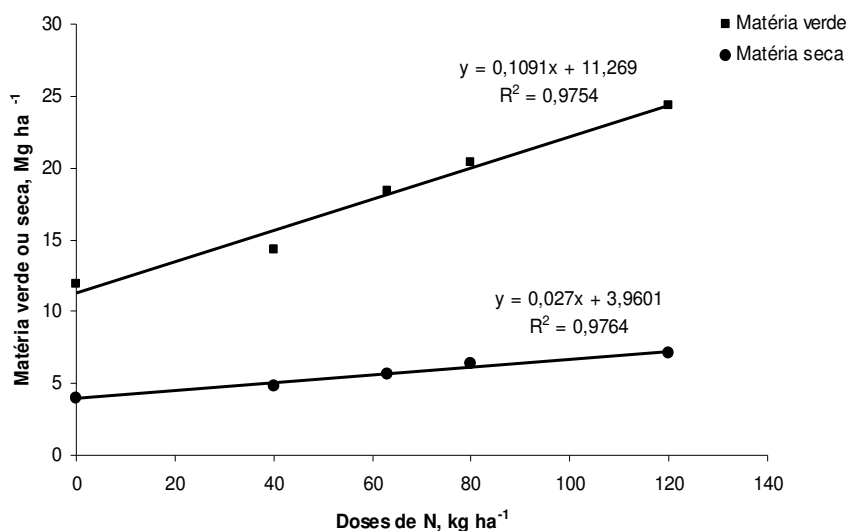


Figura 12 - Produção de matéria verde e/ou seca em R0. Cultivar IRGA 422 CL. Safra 2007/2008. Santa Maria -RS.

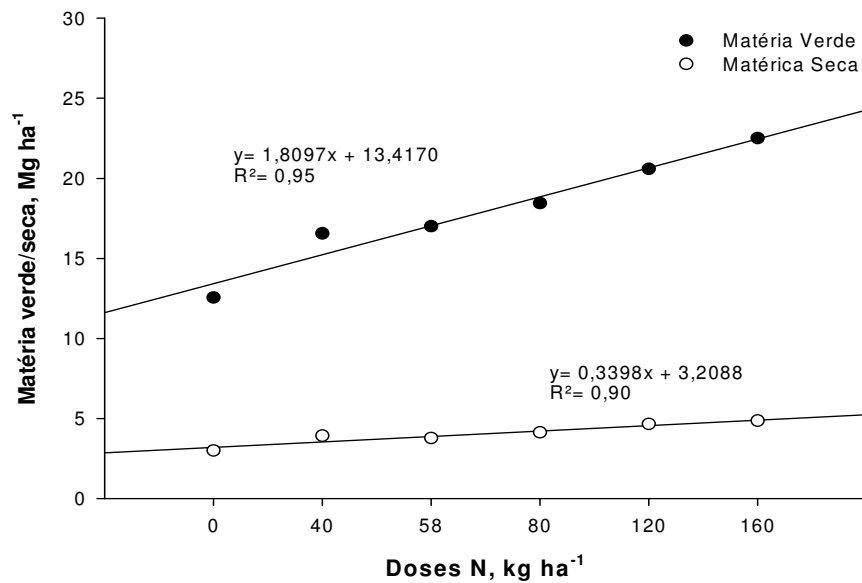


Figura 13 - Relação entre as doses de N e a produção de matéria verde e/ou seca. Cultivar IRGA 424. Safra 2008/2009. Santa Maria – RS.

Semelhante aos resultados de matéria verde/seca, a quantidade de N acumulado no tecido das plantas também respondeu linearmente às doses de N aplicadas na primeira adubação de cobertura (Figuras 14 e 15), para as safras 2007/2008/; 2008/2009. As parcelas que receberam 120 kg ha⁻¹ para a primeira safra e 160 kg ha⁻¹ para a segunda safra resultaram em teores maiores de nitrogênio acumulado na matéria seca (Figuras 14 e 15), ou seja, houve maior absorção, maior produção de matéria verde e, conseqüentemente, maior acúmulo de N nestas plantas. Esses resultados se correlacionam com as leituras no clorofilômetro, onde estes obtiveram leituras SPAD maiores do que os demais tratamentos.

Em experimento desenvolvido com a cultura do milho, testando vários parâmetros de solo e planta, Rambo et al. (2008) concluíram que entre as características avaliadas, os melhores indicadores para se predizer a dose ótima de N em cobertura, no estágio V6, em duas safras agrícolas, além do N acumulado na folha e na planta, foi o teor relativo de clorofila na folha, com um coeficiente de correlação de > 0,60 e > 0,90, para o primeiro e segundo ano agrícola, respectivamente. Porém, se analisarmos os resultados obtidos, deve-se tomar alguns cuidados na definição de um teor crítico de leitura SPAD, ou mesmo de outros parâmetros, pois há que se considerar a produtividade de grãos como objetivo principal do manejo da adubação nitrogenada na cultura.

Em trabalho desenvolvido por Bredemeier (1999), a massa de matéria seca também foi um dos parâmetros mais precisos. Assim, se considerássemos a matéria seca isoladamente, a maior dose para cada um dos anos agrícolas teria que se correlacionar com os maiores valores de produtividade de grãos, ou, apresentar comportamento semelhante de resposta à aplicação de N.

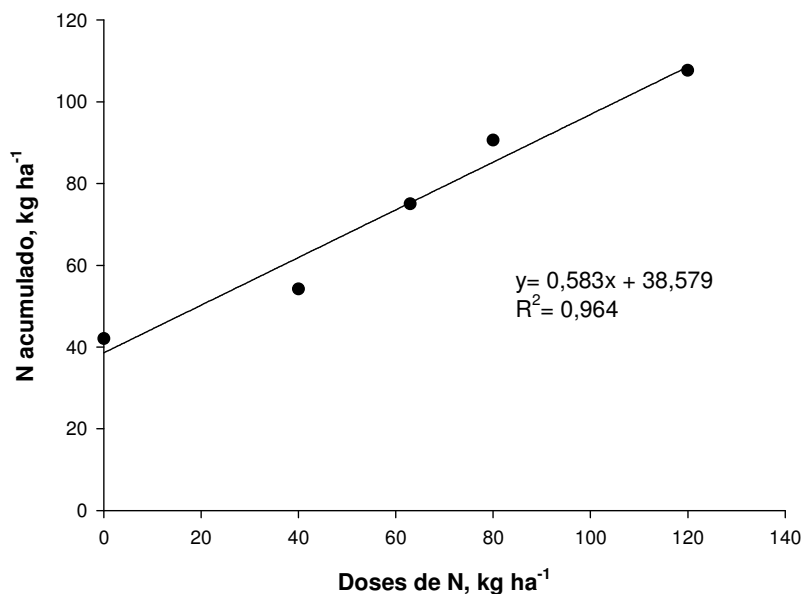


Figura 14 - Relação entre as doses de N e o teor de N acumulado na matéria seca das plantas de arroz irrigado. Cultivar IRGA 422 CL. Safra 2007/2008. Santa Maria – RS.

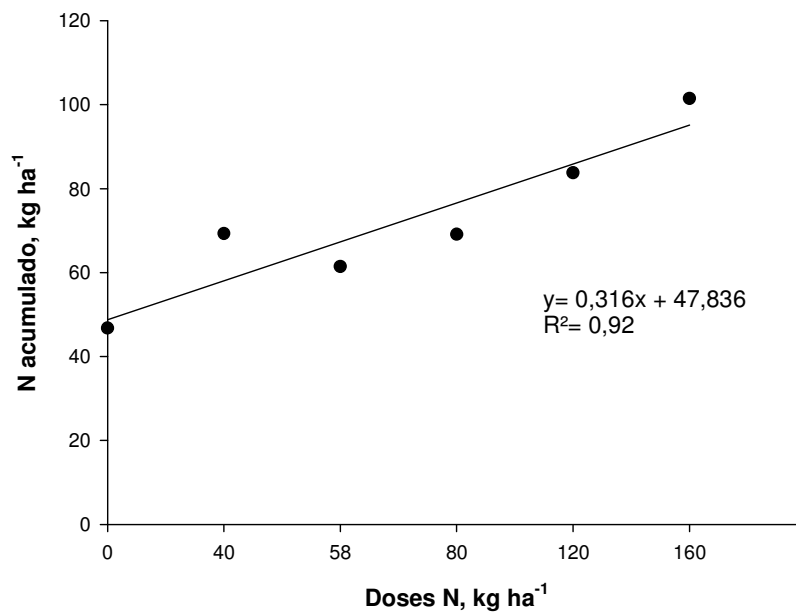


Figura 15 - Relação entre as doses de N e o teor de N acumulado na matéria seca das plantas de arroz irrigado. Cultivar IRGA 424. Safra 2008/2009. Santa Maria – RS.

6.7.3 Produtividade de grãos

Para a safra 2007/2008 não houve efeito de interação entre as doses da primeira e da segunda adubação em cobertura na produtividade de grãos (Tabela 14), e sim, somente efeito principal das doses da primeira aplicação em cobertura, com o ajuste de uma equação quadrática. Neste caso, a primeira adubação nitrogenada em cobertura foi a mais determinante da produtividade, não sendo possível compensar com a segunda aplicação no caso de baixa disponibilidade de N na fase inicial (testemunha) ou mesmo incrementar mais a produtividade nos casos de alta aplicação (doses de 80 e 120 kg ha⁻¹). Observa-se que, pelo cruzamento das produtividades de grãos (Tabela 14) e os dados de leituras SPAD (Figura 9) e matéria verde (Figura 12), que os melhores rendimentos de grãos foram obtidos quando o arroz havia produzido em torno de 18 Mg ha⁻¹ de matéria verde em R0 e a leitura SPAD, após a adubação nitrogenada em cobertura, atingido valores de aproximadamente 33, o que ocorreu quando foi usado entre 40 e 63 kg ha⁻¹ na primeira aplicação e completada a dose com o uso de 25 a 50 kg ha⁻¹ na segunda aplicação em cobertura.

Tabela 14 - Produtividade de grãos em função de doses de nitrogênio aplicadas em cobertura. Cultivar IRGA 422 CL. Safra 2007/2008. Santa Maria - RS.

Doses N (kg ha ⁻¹) Aplicação em R0	Doses de N (kg ha ⁻¹) - Aplicação em V4				
	0	40	63	80	120
	..... kg ha ⁻¹				
0	7.049	7.004	7.556	8.246	7.943
25	6.824	8.444	8.583	7.713	7.756
50 ¹	6.458	7.486	8.671	7.909	8.350
75	7.241	7.583	8.094	8.848	7.788
Média ²	6.893	7.629	8.226	8.179	7.959

¹Para o tratamento 63 kg ha⁻¹ foi usado 40 kg ha⁻¹ em R0

²Equação ajustada: $y = 6.851,6 + 30,708x - 0,177x^2$

Para a safra 2008/2009, semelhante as resultados obtidos na safra anterior, a produção de matéria verde das plantas não se refletem em termos de produtividade de grãos, pois embora a planta indique potencial de resposta à aplicação de doses maiores de N (Figura 11), a produtividade de grãos apresentou comportamento quadrático (Tabela 15), semelhante aos resultados obtidos por Pcojeski et al. (2008).

Isto demonstra que, embora a planta absorva e acumule N nos tecidos, este não aumenta proporcionalmente a produtividade grãos, que é o principal objetivo para um produtor. Ou seja, aumentam os custos com adubação nitrogenada e possíveis perdas, quando este não é utilizado pela planta, sem aumento na produtividade de grãos e, conseqüentemente, os lucros ao produtor.

Ainda com relação aos resultados de produtividade, também não houve efeito de interação entre as doses da primeira e da segunda adubação em cobertura na produtividade de grãos para a safra 2008/09 (Tabela 15), e sim, somente efeito principal das doses da primeira aplicação em cobertura, com o ajuste de uma equação quadrática. Como na safra anterior, a primeira adubação nitrogenada em cobertura foi a mais determinante da produtividade, não sendo possível compensar com a segunda aplicação no caso de baixa disponibilidade de N na fase inicial (testemunha) ou mesmo incrementar mais a produtividade nos casos de alta aplicação (doses de 120 e 160 kg N ha⁻¹). Utilizando o modelo quadrático, a máxima eficiência técnica da primeira adubação nitrogenada em cobertura (na média de todas as subparcelas) em relação a produtividade de grãos foi obtida com a dose de 131,5 kg N ha⁻¹. Entretanto, pode-se observar pela tabela 5 que o ajuste matemático quadrático pode estar superestimando a dose indicada, tendo em vista que o maior aumento de produtividade ocorreu com a dose aplicada 80 kg N ha⁻¹. Dessa forma, os resultados indicam que, no caso de fitoxidez do residual de herbicida Only (Imazapic + Imazethapyr – SL 25 + 75) nas plantas, a dose de N aplicada pode ser reduzida e a avaliação do estado nutricional da lavoura pelo clorofilômetro será prejudicada, com vistas a complementar a adubação nitrogenada.

Tabela 15 - Produtividade de grãos em função de doses de nitrogênio aplicadas em cobertura. Cultivar IRGA 424. Safra 2008/2009. Santa Maria – RS.

Doses N (kg ha ⁻¹) Aplicação em R0	Doses de N (kg ha ⁻¹) - Aplicação em V4					
	0	40	58	80	120	160
	..... kg ha ⁻¹					
0	5.932	7.327	7.447	8.116	6.228	7.721
25	7.106	8.208	6.871	8.052	7.882	8.236
50	5.811	7.079	8.220	8.313	7.986	7.175
75	7.015	7.382	8.217	8.267	7.413	7.421
Média ¹	6.466	7.499	7.689	8.187	7.377	7.638

¹Equação ajustada: $y = 6.851,6 + 30,708x - 0,177x^2$

Pelo cruzamento das produtividades de grãos (Tabela 15) e os dados de leituras SPAD (Figura 10) e matéria verde (Figura 13), os melhores rendimentos de grãos foram obtidos quando o arroz havia produzido em torno de 17 Mg ha^{-1} de matéria verde em R0 e a leitura SPAD, após a adubação nitrogenada em cobertura, atingido valores entre 31 e 32, o que ocorreu quando foi usado entre 58 e 80 kg ha^{-1} na primeira aplicação e completada a dose com o uso de 25 a 50 kg ha^{-1} na segunda aplicação em cobertura.

6.8 Conclusões

A avaliação do estado nutricional das plantas, apenas com a utilização das leituras do clorofilômetro, não se mostrou um bom indicador das condições nutricionais da lavoura. Assim, a produção de matéria verde/seca ou mesmo os teores de N acumulado no tecido das plantas podem ajudar na interpretação dos resultados para um melhor ajuste na adubação de N em cobertura. Porém, como estes parâmetros não demonstraram uma boa correlação com a produtividade de grãos, principalmente para as doses mais elevadas aplicadas na lavoura há que se determinar os valores críticos em que a planta expressa seu máximo potencial produtivo, desvinculando doses excessivas de N que não são convertidas em produtividade de grãos. Assim, o valor de leitura crítica do clorofilômetro, para os experimentos 2 e 3, ficou entre 31 e 33 unidades SPAD, associados a uma produção de matéria verde em R0 de 17 a 18 Mg ha^{-1} .

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo 1 demonstrou que os solos de várzea não disponibilizam mais N mineral do que os solos de sequeiro, como se esperava no início do desenvolvimento do estudo; pelo contrário. Porém, as plantas de arroz irrigado produziram mais matéria verde/seca e conseqüentemente N acumulado no tecido das plantas, nas condições de alagamento. Do que se conclui que a quantidade de N disponibilizado não seja o mais determinante, mas que outros fatores relacionados ao suprimento, influenciem e determinem essa maior produtividade da cultura do arroz irrigado.

Os solos de várzea e de sequeiro apresentaram comportamento diferente quando submetidos aos tratamentos, fato que pode estar relacionado a composição destes solos, tanto na qualidade da MOS e sistema de produção, quanto na população microbiana estabelecida em cada um dos sistemas.

E, ainda fica a pergunta: Porque a eficiência de utilização do N é maior nos sistemas alagados em relação aos sistemas de sequeiro?

Com relação aos estudos com o clorofilômetro, este apresenta uma série de restrições ao seu uso, porém pode se tornar uma ferramenta útil para auxiliar no manejo da adubação nitrogenada. Para isso, será necessário estabelecer os outros parâmetros relacionados à produção das plantas, e seus valores, que possam complementar as leituras deste.

A partir deste estudo foi possível determinar alguns parâmetros da planta e seus valores, porém ainda são necessários outros estudos de calibração (em outros locais e com outras cultivares e produtividades, tanto de matéria verde/seca quanto de grãos) para simular as mais diversas situações de lavoura.

REFERÊNCIAS

- ANGHINONI, I. et al. **Fertilidade dos solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul**. Cachoeirinha: IRGA. 2004. 51p. (Boletim Técnico).
- ANUARIO BRASILEIRO DO ARROZ. Santa Cruz do Sul: Grupo Gazeta de Comunicações, 2011.
- ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology**. 2.ed. New York: John Wiley, 1977. 467p.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F. da; BORTOLIN, C. G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. **Ciência Rural**. Santa Maria, 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**. Brasília - DF, 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.
- 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 - DF: 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). **Resource management in rice systems: nutrients**. 1999. Cap. 5. p. 79-95.
- BARBOSA FILHO, et al. Época de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado monitorada com auxílio de sensor portátil. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.33, n.2, p.425-431, 2009.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.). **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2ª ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008.
- BELOW, F. E. et al. Availability of reduced N and carbohydrates for ear development of maize. **Plant Physiology**. v. 68, p.1186-1190, 1981.
- BIANCHINI JR, I.; CUNHA-SANTINO, M.B; PERET, A.M. Oxygen demand during mineralization of aquatics macrophytes from oxbow lake. **Brazilian Journal Biologic**. v.68, p.61-67, 2008.
- BLACK, C.A. **Soil-plant relationships**. New York: John Wiley, 1968. 792p.

BIRD J.A. et al. Immobilization of fertilizer nitrogen in rice: effects of straw management practices. **Soil Science Society of America Journal**, v.65, p.1143-1152, 2001.

BOHNEN, H. Formas de nitrogênio e avaliação de métodos para a determinação de sua disponibilidade em 21 solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 1970. Dissertação (Mestrado) - UFRGS.

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

BREMNER, J. M.; MULVANEY, C. S. Nitrogen-total. IN: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. (Ed.) **Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties**. Part 2. 2.ed. Madison Wisconsin: American Society of Agronomy, 1982. p.595-624.

CAMARGO, F.A.O. et al. Potencial de mineralização do nitrogênio em solos do Rio Grande do sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p.575-579, 1997.

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 - RS: 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**. Porto Alegre - RS: Gênese, 1ª edição, 2004. p. 187-193.

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.

CASSMAN, K.G., A. DOBERMANN, P.C. STA. CRUZ, G.C. GINES, M.I. SAMSON, J.P. DESCALSOTA, J.M. ALCANTARA, M.A. DIZON, AND D.C. OLK. 1996. Soil organic matter and the indigenous nitrogen supply of intensive irrigated rice systems in the tropics. **Plant Soil**, v.182, p.267-278.

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.

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.

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 - RS: 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.

D'ANDREA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; CARNEIRO, M.A.C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.26, n.1, p.913-923, 2002.

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

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

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

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

FEENEY, D.S. et al. Impact of fungal and bacterial biocides on microbial induced water repellency in arable soil. **Geoderma**, v.135, p.72-80, 2006.

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

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**, Campinas - SP, v. 58, n. 1, p. 209-216, 1999.

HALVERSON, L.J., JONES, T.M., FIRESTONE, M.K. Release intracellular solutes by four soil bacteria exposed to dilution stress. *Soil Science Society of America Journal*, n.64, p.1630-1637, 2000.

HOLZSCHUH, M.J., BOHNEN, H., ANGHINONI, I., MEURER, E.J., CARMONA, F.C. & COSTA, S.E.V.G. DE A.. Resposta do arroz irrigado ao suprimento de amônio e nitrato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p.1323-1331, 2009.

HÜBNER, A.P. **Identificação de bactérias diazotróficas endofíticas do grupo *bacillus* associadas a raízes de plantas de arroz irrigado**. 2004. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

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

JENSEN K.D. et al. Effects of experimental drought on microbial processes in two temperate heathlands at contrasting water conditions. **Applied Soil Ecology**. v.24, p.165-176, 2003.

JUNIOR, G.G.; AMADO, T.J.C.; PONTELLE,C.B; BRUM, A.C.R; ELTZ, F.L.F.; Seqüestro de carbono em sistemas conservacionistas como estratégia de preservação ambiental. In: CONGRESSO BRASILEIRO PLANTIO DIRETO PARA UMA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL, 24. Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria, 1999, p. 244-245.

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. Cap. 2. p. 27-45.

KUSS, A.V. **Fixação de nitrogênio por bactérias diazotróficas em cultivares de arroz irrigado**. 2006. 110f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

LINQUIST, B.A.; BROUDER, S.M.; HILL, J.E. Winter straw and water management effects in soil nitrogen dynamics in California rice systems. **Agronomy Journal**. v.98, p.1050-1059, 2006.

LUNDQUIST, E.J. et al. Rapid response of soil microbial communities from conventional, low input and organic farming systems to a wet/dry cycle. **Soil Biology & Biochemistry**, v.31, p.1661-1675, 1999.

MAGDOFF, F.R. Managing nitrogen for sustainable corn systems: Problems and possibilities. **American Journal of Alternative Agriculture**, v.6, p.3-8. 1991

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

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 - RS: Aldeia Norte, 2002. p. 5-18.

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

MOORHEAD, D.L.; SINSABAUGH, R.L.A. A theoretical model of litter decay and microbial interaction. **Ecological Monographs**. v.76, p.151-174, 2006.

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, 35-43, 1974.

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

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do solo**. 2ª Ed. Lavras, UFLA, 2006. 729p.

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**, Brasília - DF, v. 40, n. 5, p. 517-521, maio 2005.

OLK, D.C.; SENESI, N. Propriedades of chemically extracted soil organic matter in intensively cropped lowland rice soils. In KIRK, G.J.D; OLK, D.C. (Eds). **Carbon and nitrogen dynamics in flooded soils**. Los Baños: International Rice Research Institute, 2000.

OLK D.C., et al. Changes in chemical properties of organic matter with intensified rice cropping in tropical lowland soil. **European Journal of Soil Science**, v.47, p.293-303, 1996.

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

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, A.R. Competição intra-específica entre plantas cultivadas. **O Agrônomo**, Campinas, v.41, n.1, p.5 11, 1989.

PIT, L.L. et al. Adubação nitrogenada na cultura do arroz irrigado por alagamento monitorada pelo clorofilômetro. In: **Anais do XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo [CD ROM]**. Gramado-RS: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Não-paginado.

POCOJESKI, E. **Estimativa do estado nutricional de arroz irrigado por alagamento**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). 2007. 97f. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

POCOJESKI, E. et al. Uso do clorofilômetro para o ajuste da adubação nitrogenada na cultura do arroz irrigado. In: **Anais da XXVIII Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, XII Reunião Brasileira sobre Micorrizas, X Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo, VII Reunião Brasileira de Biologia do Solo [CD ROM]**. Londrina - PR: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2008. Não-paginado.

PONNAMPERUMA, F.N. **The chemical of submerged soils**. Advances in agronomy. v.24, p.29-96. 1972.

RAMBO, L. et al. Adequação de doses de nitrogênio em milho com base em indicadores de solo e de planta. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.43, n.3, p.401-409, 2008.

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

Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2004.

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. 23p.

RHODEN, A.C.; SILVA, L.S.; CAMARGO, F.A.O.; BRITZKE, D.; BENEDETTI, E. Mineralização anaeróbica do nitrogênio em solos de várzea do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**. v.36, n.6, p.1780-1787, 2006.

ROMANI, A.M. Interactions of bacteria and fungi on decomposing litter: differential extracellular enzyme activities. *Ecology*, v.87, p.2559-2569, 2006.

SANTOS, V. B. **Matéria Orgânica e Biomassa Microbiana de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo**. 2003. 80f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solos) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas - RS, 2003.

SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre - RS: Gênese, 1999.

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.

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, cap. 9, p. 259-303.

SILVA L.S.; BOHNEN, H.; MARCOLIN, E.; MACEDO, V.R.M.; POCOJESKI E. Resposta a doses de nitrogênio e avaliação do estado nutricional do arroz irrigado. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.13, n.2, p.189-194, 2007.

SILVA, L.S.; SOUSA, R.O.; POCOJESKI, E. Dinâmica da Matéria Orgânica em Ambientes Alagados. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.). **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2ª ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008.

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 e XXVI Reunião da Cultura do Arroz Irrigado**. Santa Maria, RS, 2005. 159p.

SOSBAI - Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado **Arroz irrigado**: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil / 28. Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado, 11 a 13 de agosto de 2010, Bento Gonçalves, RS. – Porto Alegre: SOSBAI, 2010. 188 p., il.

SOUSA, R.O. **Oxirredução em solos alagados afetada por resíduos vegetais**. 2001. 164f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, 2001.

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

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

TAKAHASHI S.; UENOSONO, S.; ONO S. Short- and long-term effects of rice straw application on nitrogen uptake by crops and nitrogen mineralization under flooded and upland conditions. **Plant and Soil**, v.251, p.291-301. 2003

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

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

VAHL, L.C. Fertilidade de solos de várzea. In: **Manejo do solo e da água em áreas de várzea**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. 201p.

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**. Embrapa, Brasília - DF, 2004, cap. 4, p. 97-118.

VAZOLLER, R.F.; DAMIANOVIC, M.H.R.Z; ARAUJO, J.C. Biodegradação anaeróbia. In: MELLO, I.S.; AZEVEDO, J.L. (Eds.). **Microbiologia Ambiental**. Jaguariúna: Embrapa, 2008. p.217-260.

VE, N.B.; OLK, D.C. ; CASSMAN, K.G. Characterization of Humic Acid Fractions Improves Estimates of Nitrogen Mineralization Kinetics for Lowland Rice Soils. *Soil Science Society America Journal*. v.68, p.1266–1277, 2004.

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

ZHANG B. et al. Microbial biomass dynamics and soil wettability as effected by the intensity and frequency of wetting and drying during *straw decomposition*. **European Journal of Soil Science**, v.58, p.1482-14-92, 2007.

XIMENES, E.A. ; FÉLIX, C.R. O sistema celulolítico de microrganismos anaeróbicos: uma mini-revisão sobre o celulosoma. *Universitas Ciências da Saúde*. v.1, p.335-341, 2003.

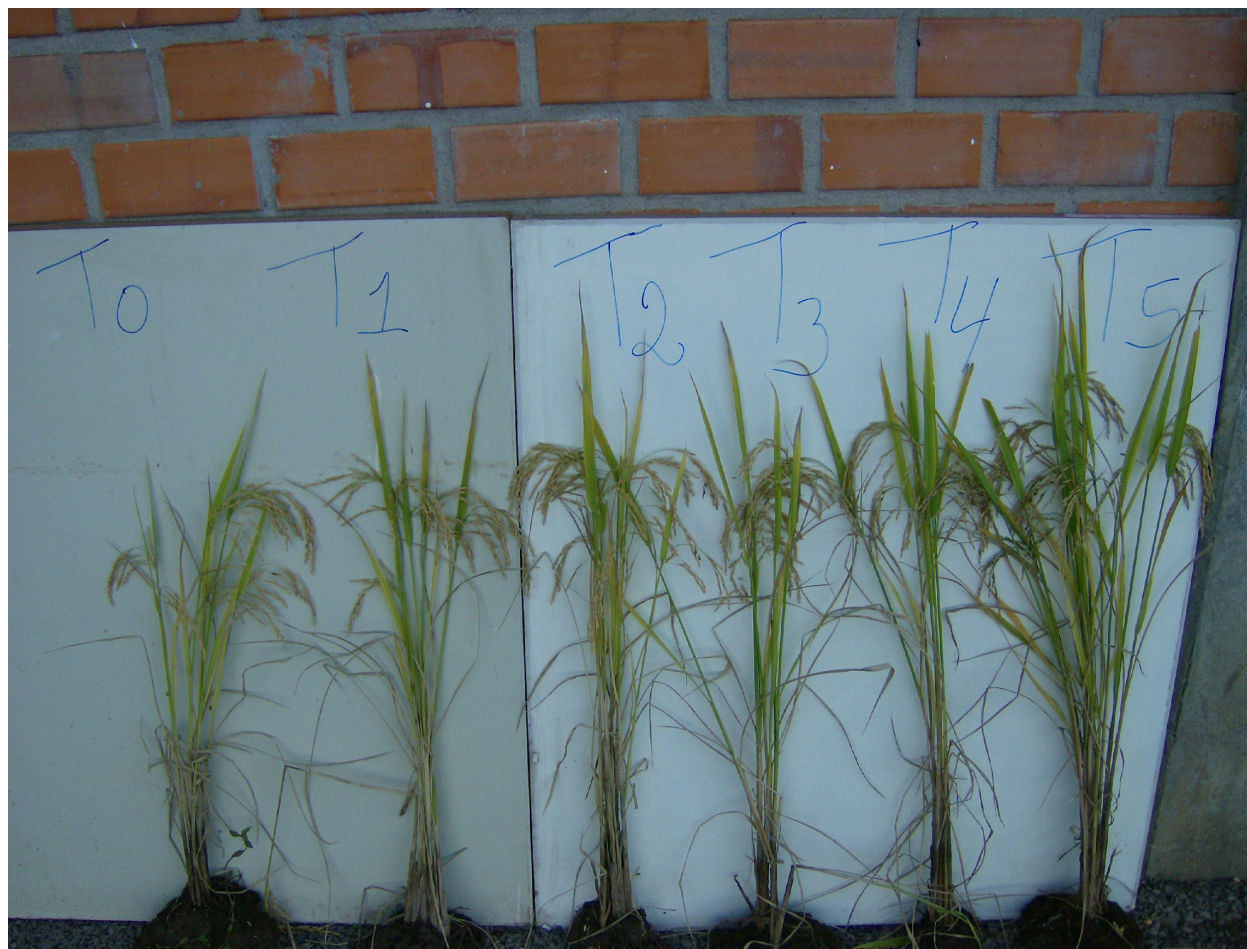
ANEXOS

80 N	120 N	MAN	0 N	40 N
75 25 50 0	25 0 50 75	0 75 40 25	0 75 25 50	0 50 25 75
0 N	40 N	MAN	80 N	120 N
75 25 0 50	25 0 75 50	40 75 0 25	75 0 25 50	75 50 25 0
80 N	40 N	120 N	MAN	0 N
50 25 0 75	0 75 25 50	75 50 25 0	0 40 75 25	75 0 50 25
40 N	MAN	80 N	0 N	120 N
50 0 75 25	0 75 40 25	50 75 25 0	25 0 75 50	25 75 0 50

Anexo A - Croqui do Experimento 2. Safra 2007/2008. Santa Maria - RS.

50 75 25 0	25 50 0 75	75 0 25 50	25 0 75 50	0 25 75 50	75 0 25 50
80	40	120	0	cafs	160
0 25 50 75	25 50 0 75	25 50 0 75	75 25 0 50	0 75 25 50	0 50 75 25
160	cafs	80	120	40	0
50 0 75 25	25 0 50 75	0 50 25 75	50 25 0 75	0 75 25 50	25 0 75 50
0	160	cafs	80	120	40
50 0 75 25	75 25 0 50	75 0 50 25	25 75 0 50	0 50 25 75	50 25 0 75
40	cafs	80	0	120	160

Anexo B - Croqui do Experimento 3. Safra 2008/2009. Santa Maria - RS.



Anexo C - Diferenças visuais das plantas de arroz irrigado ($T_0= 0 \text{ kg N ha}^{-1}$; $T_1= 20 \text{ kg N ha}^{-1}$; $T_2= 55 \text{ kg N ha}^{-1}$; $T_3= 115 \text{ kg N ha}^{-1}$; $T_4= 190 \text{ kg N ha}^{-1}$ e $T_5= 280 \text{ kg N ha}^{-1}$). Experimento 3. Safra 2006/2007. Santa Maria - RS.



Anexo D - Visão Geral do Experimento 2 e colheita de grãos. Safra 2007/2008. Santa Maria - RS.



Anexo E - Visão Geral do Experimento 2. Safra 2008/2009. Santa Maria - RS.