

**EFICIÊNCIA DA APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO
NO PERFILHAMENTO DO ARROZ EM TRÊS
MANEJOS DE IRRIGAÇÃO**

por

RAMÓN FELIPE MÉNDEZ LARROSA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia –
área de concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de
Santa Maria (RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de
MESTRE EM AGRONOMIA.

Santa Maria, RS, BRASIL

2000

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

A COMISSÃO EXAMINADORA, ABAIXO ASSINADA, APROVA A
DISSERTAÇÃO

**EFICIÊNCIA DA APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO
NO PERFILHAMENTO DO ARROZ EM TRÊS
MANEJOS DE IRRIGAÇÃO**

ELABORADA POR
RAMÓN FELIPE MÉNDEZ LARROSA

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE EM AGRONOMIA

COMISSÃO EXAMINADORA:

Dr. Enio Marchezan – Orientador

Dr. Celso Aita – Coorientador

MSc. Enrique Deambrosi -

Dr. Carlos Alberto Ceretta

Santa Maria, 22 de Março de 2000

DEDICATÓRIA

Aos meus filhos, Martín e María.

A minha esposa, Belky.

Aos meus Pais, Angelino (*In memorian*) e Martha.

Aos meus irmãos: Hugo, Juan, Ruben, Teresa, Elsa e Mabel.

Aos meus sogros, Albérico e Blanca.

Aos meus amigos, Alvear e Teresa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente à minha esposa Belky, quem esteve comigo nos momentos difíceis da vida, incentivou-me a fazer o Curso de Mestrado, sacrificou sua carreira no trabalho para me acompanhar e ajudar nestes dois anos.

Aos meus filhos Martín e María, a minha mãe, irmãos, sogros e meus amigos Alvear e Teresa pelo esforço, apoio, estímulo e ajuda durante estes dois anos.

Agradeço a meu irmão Juan por ter me estimulado e apoiado para seguir a carreira de Eng. Agrônomo.

Ao INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuária) do Uruguai pela oportunidade de fazer este Curso de Pós-Graduação.

Ao CNPq pela bolsa concedida durante o período de estudos.

À Universidade Federal de Santa Maria e a seu programa de Pós-Graduação em Agronomia pela viabilização do Curso.

Ao professor Dr. Enio Marchezan pelo apoio, incentivo, orientação e amizade durante o Curso de Mestrado.

À Senhora Maria Teresa Nunes Marchezan pela correção do texto desta dissertação.

Ao professor Dr. Celso Aita pela Coorientação e sugestões recebidas na realização deste trabalho.

Aos professores Drs. Carlos Ceretta e Arno Heldwein e ao Sr. Tarciso Uberti pelo auxílio obtido no longo deste curso e tarefas administrativas.

Ao professor Dr. Arno Heldwein pelas sugestões a este trabalho.

Ao professor Dr. Lindolfo Storck pela ajuda no delineamento, análise e interpretação do experimento.

Aos Eng. Agrônomos MSc. Enrique Deambrosi e Dr. Carlos Ceretta pelas sugestões feitas a este trabalho.

Ao professor MSc. Luis de Avila pelas correções e sugestões deste trabalho.

Ao Eng. Agr. MSc. Enrique Pérez Gomar pela ajuda recebida no início do mestrado.

Ao Chefe da Biblioteca Setorial do CCR, da UFSM, Luiz Marchiotti pela revisão das referências bibliográficas deste trabalho.

Ao bolsista Juliano Zamberlan Coradini pelo apoio na condução do experimento.

Aos estudantes e colegas: Juliano Souto, Luis Cristiano Kinzel filho, Ricardo Posser da Silva, Vitor Marzari, Carla do Amaral Siqueira, Fernando Zimmermann, Tommi Segabinazzi, Gelson Difante, André Hubner, Eder da C. dos Santos, Edson Oliveira Vendruscolo, Lauro Weber e Sandro Giacomini pelo apoio a nível de campo e laboratório.

Aos funcionários Srs. Antonio e Jose Luiz da Silva Martins, Hilto Almeida Goulart, Gilmar, João Colpo e Joel Gonçalves Dias pela ajuda na tarefas de campo.

Ao Srs. Dardo Mesa, Miguel Dominguez, Fredy de Leon, Rafael Baz, Carlos Segovia e Walter Hugo Silvera pela assistência nas mudanças.

Ao Sr. Luís Carlos Weber pela digitação deste trabalho.

Ao professor Dr. Fernando T. Nicoloso e ao Eng. Agr. Silvano Abreu pelo auxílio nos problemas experimentados.

Ao Eng. Agrônomo Jorge Rattin e esposa pelos auxílios recebidos durante as correções deste trabalho.

Aos professores e colegas do Curso pelo ensino e ajuda recebida nestes dois anos.

A todos que de uma ou de outra forma me ajudaram durante minha estadia no Brasil.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	x
LISTA DE TABELAS.....	xii
LISTA DE FIGURAS.....	xiv
LISTA DE ANEXOS.....	xvii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Disponibilidade de nitrogênio em solos alagados	3
2.2 Processos de transformação da uréia	5
2.3 Processos mais importantes de perdas de nitrogênio.....	7
2.3.1 Perdas por denitrificação.....	7
2.3.2 Perdas por volatilização de amoníaco	9
2.3.3 Perdas por lixiviação	11
2.4 Absorção, assimilação e translocação do nitrogênio na planta de arroz	12
2.4.1 Nitrogênio na fase vegetativa.....	12
2.4.2 Nitrogênio na fase reprodutiva e enchimento de grãos	13
2.5 Manejo do nitrogênio e da água	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 Localização e solo.....	16
3.2 Delineamento experimental e tratamentos	17
3.3 Condução do experimento.....	17
3.4 Determinações	18
3.4.1 Nitrogênio total acumulado no início do alongamento dos entrenós.....	18
3.4.2 Nitrogênio absorvido do fertilizante nitrogenado.....	19
3.4.3 Eficiência agronômica e de recuperação do nitrogênio aplicado .	19
3.4.4 Nitrogênio mineral	19
3.4.5 Perfilhamento	20

3.4.6 Matéria seca	20
3.4.7 Produção de grãos	20
3.4.8 Floração.....	20
3.4.9 Componentes do rendimento	21
3.4.10 Esterilidade de espiguetas	21
3.4.11 Rendimento de engenho	21
3.4.12 Estatura de plantas	21
3.4.13 Índice de colheita	22
3.4.14 Relação grão/palha	22
3.4.15 Análise estatística	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
4.1 Nitrogênio total acumulado e proporcionado pela aplicação da uréia no início do alongamento dos entrenós.....	23
4.2 Nitrogênio mineral no solo	28
4.2.1 Amônio	28
4.2.2 Teor de Nitratos (NO_3^-) e Nitritos (NO_2^-)	29
4.3 Eficiência agronômica e de recuperação de nitrogênio no início do alongamento dos entrenós	30
4.4 Parâmetros vegetativos	33
4.4.1 Número de colmos por unidade de área.....	33
4.4.2 Matéria seca	35
4.5 Parâmetros vegetativos e relação entre nitrogênio do solo e absorvido pela planta.....	37
4.6 Produção de grãos.....	39
4.7 Componentes da produção de grãos	41
4.8 Índice de colheita	41
4.9 Esterilidade de espiguetas.....	42
4.10 Estatura de plantas	43
4.11 Rendimento de engenho.....	44
5. CONCLUSÃO	46
6. BIBLIOGRAFIA.....	47
ANEXOS	59

RESUMO

EFICIÊNCIA DA APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO NO PERFILHAMENTO DO ARROZ EM TRÊS MANEJOS DE IRRIGAÇÃO

Autor: Ramón Felipe Méndez Larrosa

Orientador: Enio Marchezan

Com o objetivo de avaliar a eficiência de três modalidades de aplicação de nitrogênio foi instalado um experimento no ano agrícola 1998/99 na Universidade Federal de Santa Maria (RS). O delineamento experimental foi bifatorial 3 x 5 em blocos ao acaso com parcelas subdivididas e quatro repetições. Nas parcelas principais foram estabelecidas, no início do perfilhamento, três modalidades de aplicação da uréia: 1) Uréia + banho, a uréia foi aplicada superficialmente e no dia seguinte deu-se um banho, inundando-se completamente a área 14 dias depois; 2) Uréia + inundação, a uréia foi aplicada um dia antes da inundação definitiva e 3) Inundação + uréia, aplicação da uréia um dia após a inundação. Nas subparcelas foram aplicadas quatro doses de nitrogênio (0, 20, 40 e 60 kg ha⁻¹ de N) e uma testemunha absoluta sem aplicação de nitrogênio durante todo o ciclo da cultura. Nos tratamentos que receberam nitrogênio foram aplicados 10 kg ha⁻¹ de N na semeadura e 23 kg ha⁻¹ de N no início do alongamento de entrenós. A partir das variáveis avaliadas pode-se concluir: que na etapa vegetativa até início de alongamento de entrenós o nitrogênio aplicado incrementa a quantidade de perfilhos, a matéria seca, o nitrogênio acumulado total e proporcionado pela aplicação da uréia, absorvidos pelas plantas. O incremento destas características depende das modalidades de aplicação da uréia onde os tratamentos de “uréia + banho” e “uréia + inundação” são superiores aos tratamentos com aplicação de uréia

na água. A aplicação de 23 kg.ha^{-1} de N ao início de alongamento de entrenós nivela estas diferenças. A produção de grãos não é afetada pela modalidade de aplicação de uréia, e sim, pelas doses de nitrogênio aplicadas.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

Autor: Ramón Felipe Méndez Larrosa

Orientador: Enio Marchezan

Título: Eficiência da aplicação de nitrogênio no perfilhamento do arroz em
três manejos de irrigação.

Dissertação de Mestrado em Agronomia.

Santa Maria, 22 de Março de 2000.

ABSTRACT

EFFICIENCY OF NITROGEN APPLICATION IN THE TILLERING STAGE OF RICE IN THREE WATER MANAGEMENT

Author: Ramón Felipe Méndez Larrosa

Adviser: Enio Marchezan

The objective of the experiment was the evaluation of three modality of nitrogen application in the tillering stage of rice. The experiment was installed in the cultural year of 1998/99 in the Federal Univesity of Santa Maria (RS), Brazil. The experimental design was a two-factorial 3 x 5 in complete randomized block design with 4 replication in a split plot arrangement of treatments. In the main plot were located three modality of N application at tillering stage: 1) N + flushing, the N was topdressed and a flush of water was made one day after and then flooding fourteen day later, 2) N + flooding, the N was topdressed the day before the definitive flooding, and, 3) flooding + N, the N was applied one day after the flooding, in the water. In the subplot were applied four N level (0, 20, 40 and 60 kg ha⁻¹ of N) and a check without N. In the plot with the four level, were applied N (10 kg ha⁻¹) in the planting and 23 kg ha⁻¹ at internode elongation. The conclusions are: in the vegetative stage to internode elongation the N increase: tiller number, dry matter production, total and applied N uptake. The increase is dependent on the modality of N application where the treatments of N + flush and N + flooding are higher than the flooding + N treatments. The application of 23 kg ha⁻¹ of N at meadseason cancel modality effects. The yield isn't affected by the modality of urea application. The yield increase with the N level.

FEDERAL UNIVERSITY OF SANTA MARIA
POS-GRADUATE PROGRAM IN AGRONOMY

Author: Ramón Felipe Méndez Larrosa

Adviser: Enio Marchezan

Title: Efficiency of nitrogen application in the tillering stage of rice in three
water management.

M.S. Dissertation in Agronomy

Santa Maria, March 22, 2000.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais características do solo na área experimental na camada de 0 – 10 cm. Santa Maria, RS, 2000.	16
Tabela 2: Distribuição do N (kg ha^{-1} de N na forma de uréia) nas subparcelas. Santa Maria, RS. 2000.....	18
Tabela 3: Intervalo de confiança a 5% de probabilidade de erro para as funções das modalidades de aplicação de uréia para o N total absorvido nas doses de N estudadas, Santa Maria, RS, 2000. ...	24
Tabela 4: N total acumulado na planta, N proporcionado pela aplicação da uréia e N mineral do solo na média das doses de N aplicado. Santa Maria, RS. 2000.....	24
Tabela 5: Estimativa e significação do contraste entre a testemunha absoluta e a média da dose de N para N absorvido total e aplicado e N mineral. Santa Maria, RS. 2000.	26
Tabela 6: Intervalo de confiança a 5% de probabilidade de erro para as funções das modalidades de aplicação de uréia para o N proporcionado pela aplicação da uréia nas doses de N estudadas, Santa Maria, RS, 2000.	27
Tabela 7: Intervalo de confiança a 5% de probabilidade de erro para as funções das modalidades de aplicação de uréia para o N-NH_4^+ do solo nas doses medias de N estudadas, Santa Maria, RS. 2000.....	29
Tabela 8: Efeitos das modalidades de aplicação de uréia na eficiência agronômica e de recuperação do N aplicado. Santa Maria, RS. 2000.....	30
Tabela 9: Efeito das modalidades de aplicação de uréia nos parâmetros vegetativos na media das doses de N. Santa Maria, RS, 2000...	33
Tabela 10: Coeficientes de correlação entre as variáveis. Santa Maria, RS. 2000.....	38

Tabela 11: Efeitos da modalidade de aplicação de uréia no rendimento, componentes e caracteres associados na dose média de N aplicado. Santa Maria, RS. 2000.....	40
Tabela 12: Efeito das modalidades de aplicação de uréia no rendimento de engenho na média das doses de N aplicado. Santa Maria, RS. 2000.....	44
Tabela 13: Dados meteorológicos do período Outubro 1998 – Março 1999. (Estação Meteorológica do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria). Santa Maria, RS. 2000.....	66
Tabela 14: Valores normais (1961-1990) dos principais elementos climáticos em Santa Maria, RS. 2000.	72

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Relação entre a quantidade de N aplicado e a quantidade de N absorvido pela parte aérea do arroz no início do alongamento de entrenós nos tratamentos “uréia + banho” (U + B), “uréia + inundação” (U + I) e “inundação + uréia (I + U). Santa Maria, RS. 2000..... 23
- Figura 2: Relação entre a quantidade de N aplicado e a quantidade de N proporcionado pela aplicação da uréia acumulada pelas plantas na parte aérea no início do alongamento de entrenós nos tratamentos “uréia + banho” (U +B), “uréia + inundação” (U + I) e “inundação + uréia” (I + U). Santa Maria, RS. 2000..... 27
- Figura 3: Efeito da aplicação de N no conteúdo de amônio no solo nos tratamentos “uréia + banho” (U + B), “uréia + inundação” (U +I) e “inundação + uréia” (I + U). Santa Maria, RS. 2000..... 28
- Figura 4: Efeito do método de aplicação e da dose do N na eficiência agronômica nos tratamentos “uréia + banho” (U + B), “uréia + inundação” (U +I) e “inundação + uréia” (I + U).. Santa Maria, RS. 2000..... 31
- Figura 5: Efeito da dose do N aplicado na eficiência de recuperação. Santa Maria, RS. 2000. 32
- Figura 6: Efeito do método de aplicação e da dose do N aplicado sobre o número de colmos.m⁻² na amostragem quatro dias após o máximo perfilhamento nos tratamentos “uréia + banho” (U + B), “uréia + inundação” (U + I) e “inundação + uréia” (I + U). Santa Maria, RS. 2000..... 34
- Figura 7: Relação entre doses de N e produção de matéria seca de plantas na amostragem do início de alongamento dos entrenós nos tratamentos “uréia + banho” (U + B), “uréia + inundação” (U + I) e “inundação + uréia” (I + U). Santa Maria, RS. 2000. 35

Figura 8: Relação entre doses de N e produção de matéria seca 14 dias após o início do alongamento dos entrenós. Santa Maria, RS. 2000.....	37
Figura 9: Relação entre doses de N e produção de grãos. Santa Maria, RS. 2000.....	39
Figura 10: Efeito da dose de N aplicado no índice de colheita. Santa Maria, RS. 2000.....	42
Figura 11: Efeito da dose do N aplicado na esterilidade de espiguetas nos tratamentos “uréia + banho” (U + B), “uréia + inundação” (U + I) e “inundação + uréia” (I + U). Santa Maria, RS. 2000.....	43
Figura 12: Efeito da dose do N aplicado sobre a estatura de plantas à maturação. Santa Maria, RS. 2000.	44
Figura 13: Efeito do método de aplicação e da dose do N aplicado sobre o número de colmos m^{-2} na amostragem 12 dias após o início do perfilhamento nos tratamentos “uréia + banho” (U + B), “uréia + inundação” (U + I) e “inundação + uréia” (I + U). Santa Maria, RS. 2000.....	61
Figura 14: Efeito do método de aplicação e da dose do N aplicado sobre o número de colmos m^{-2} na amostragem 19 dias após o início do perfilhamento nos tratamentos “uréia + banho” (U + B), “uréia + inundação” (U + I) e “inundação + uréia” (I + U). Santa Maria, RS. 2000.....	61
Figura 15: Efeito do método de aplicação e da dose do N aplicado sobre o número de colmos m^{-2} na amostragem no máximo perfilhamento nos tratamentos “uréia + banho” (U + B), “uréia + inundação” (U + I) e “inundação + uréia” (I + U). Santa Maria, RS. 2000.....	62
Figura 16: Efeito do N aplicado sobre a porcentagem do perfilhamento útil nos tratamentos “uréia + banho” (U + B), “uréia + inundação” (U + I) e “inundação + uréia” (I + U). Santa Maria, RS. 2000.....	62

Figura 17: Efeito do método de aplicação e da dose do N aplicado sobre a matéria seca da amostragem no máximo perfilhamento nos tratamentos “uréia + banho” (U + B), “uréia + inundação” (U + I) e “inundação + uréia” (I + U). Santa Maria, RS. 2000.....	63
Figura 18: Efeito da dose do N aplicado sobre a matéria seca da amostragem no início da floração. Santa Maria, RS. 2000.....	63
Figura 19: Efeito da dose do N aplicado sobre a matéria seca da amostragem na maturação de colheita. Santa Maria, RS. 2000. ..	64
Figura 20: Efeito da dose do N aplicado sobre a relação grão/palha. Santa Maria, RS. 2000.	64
Figura 21: Temperatura média mensal no período do experimento comparada com a média normal e a do ano anterior. Santa Maria, RS. 2000.....	72
Figura 22: Temperatura máxima mensal no período do experimento comparada com a máxima normal e a do ano anterior. Santa Maria, RS. 2000.....	73
Figura 23: Temperatura mínima mensal no período do experimento comparada com a mínima normal e a do ano anterior. Santa Maria, RS. 2000.....	73
Figura 24: Precipitação mensal no período do experimento comparada com a precipitação normal e a do ano anterior. Santa Maria, RS. 2000.....	74
Figura 25: Insolação mensal no período do experimento comparada com insolação normal e a do ano anterior. Santa Maria, RS. 2000.	74

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Figuras com resultados complementares	60
Anexo 2: Dados meteorológicos do período do experimento	65

1. INTRODUÇÃO

A lavoura de arroz irrigado é uma atividade agrícola de grande importância sócio-econômica para diversos países. Embora o arroz seja um produto com pequeno comércio internacional, como empreendimento agrícola, necessita ajustes na utilização dos fatores de produção para que se mantenha rentável.

Para a lavoura de arroz continuar competitiva é necessário elevar a produtividade com redução de custos e melhoria na qualidade do produto colhido.

O nitrogênio é um dos insumos mais importantes para atingir este objetivo. Mas, em função do custo, é preciso elevar a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado utilizado, que apresenta diversas possibilidades de perda. O manejo adequado do nitrogênio (N), assim como a época de aplicação, o manejo d'água e as condições ambientais no momento da aplicação do N, são fundamentais na busca da melhor resposta da cultura ao N.

No sistema convencional de implantação da lavoura de arroz, ainda a forma predominante de cultivo no Rio Grande do Sul é feita em duas etapas bem diferenciadas no regime hídrico do solo, que afetam a disponibilidade de N às plantas. Na primeira, o solo permanece normalmente em ambiente arejado, desde o preparo até o perfilhamento quando a lavoura é inundada e então a cultura é conduzida em solo inundado, desde o perfilhamento até próximo a colheita.

Para melhor explorar o potencial produtivo da lavoura, o N é aplicado em cobertura em duas épocas: uma no perfilhamento e outra em uma fase mais adiantada da cultura, na iniciação do primórdio floral. Com isto existe a possibilidade então de utilizá-lo em solo em condições de aerobiose no início e em condições de alagamento na segunda oportunidade.

Nestas condições diferenciadas, a uréia que é a fonte mais utilizada de N para o arroz irrigado, poderá apresentar perdas que comprometam sua

eficiência, gerando controversias respeito à melhor modalidade de aplicação de N e manejo de irrigação. Assim, experimentos realizados nos EUA e na Austrália concluíram pela superioridade da aplicação de N antes de inundar em solo drenado. Entretanto, trabalhos feitos no Uruguay e Argentina demonstraram a inexistência de diferenças entre aplicar uréia em solo drenado ou na lâmina d'água. Então, faz-se necessário estudar estes fatores no local de produção, justificando-se o experimento com o objetivo de determinar o manejo de adubação nitrogenada e da irrigação mais adequado para uma melhor eficiência do nitrogênio aplicado no arroz irrigado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Disponibilidade de nitrogênio em solos alagados

No sistema convencional de semeadura o ciclo da cultura do arroz irrigado ocorre em duas condições com relação à umidade do solo: uma em solo sem irrigação até aproximadamente 30 dias após a emergência e outra onde a planta desenvolve-se em condições de solo alagado. Na primeira etapa o nitrogênio (N) experimenta a dinâmica de solos aeróbios, entretanto estas condições mudam, com a inundação.

Depois de inundar o solo, os níveis de oxigênio diminuem rapidamente nas 6 ou 8 horas seguintes, sendo expulsado pela água e consumido pelos microorganismos. Uma vez estabelecida a inundação, o oxigênio se difunde a uma taxa muito lenta dentro d'água. Como consequência de uma maior necessidade de oxigênio pelo solo e da lenta difusão de oxigênio criam-se duas zonas: uma oxidada, correspondente à água de inundação e uma fina camada de solo de poucos mm a um cm de espessura e outra reduzida sem oxigênio (MIKKELSEN, 1987). Esta exclusão do oxigênio origina processos biológicos de oxidação-redução, que alteram a disponibilidade do N. Como resultado da inundação do solo há uma acumulação de N na forma amoniacal (N-NH_4^+), instabilidade do nitrogênio como nitrato (N-NO_3^-) e menores necessidades de N para a decomposição da matéria orgânica (PATRICK et al. 1985).

A quantidade de N amoniacal que é a fonte mais importante de N para as plantas de arroz após a inundação, depende do resultado líquido do balanço entre os processos microbianos de amonificação da matéria orgânica do solo e de imobilização do N. Segundo MENGEL et al. (1986) o N amoniacal pode existir sob três frações: amônio na solução do solo, nos sítios de troca e não trocável. Os dois primeiros são facilmente disponíveis para as plantas enquanto que as informações referentes à disponibilidade do amônio não trocável são conflitantes. KEERTHISINGHE et al. (1984)

verificaram que o amônio não trocável contribuiu para o N absorvido pelas plantas e que pode ser uma fração importante em alguns solos das Filipinas.

A concentração de N amoniacal incrementa com a inundação do solo sendo devido à decomposição da matéria orgânica e à liberação de N do solo o qual incrementa a concentração de N-NH_4^+ na solução do solo (MORAES & FREIRE, 1974). Noutro experimento, MORAES et al., (1975) determinaram que a concentração de N-NH_4^+ foi alta ao início da inundação diminuiu durante as duas semanas seguintes à inundação incrementando posteriormente. Segundo os autores, a diminuição foi devida a oxidação de N-NH_4^+ a N-NO_3^- sendo este perdido em forma gasosa. O aumento posterior na quantidade de N-NH_4^+ foi devida à decomposição da matéria orgânica e ao deslocamento de N-NH_4^+ do complexo de troca pelos íons Fe^{+2} e Mn^{+2} .

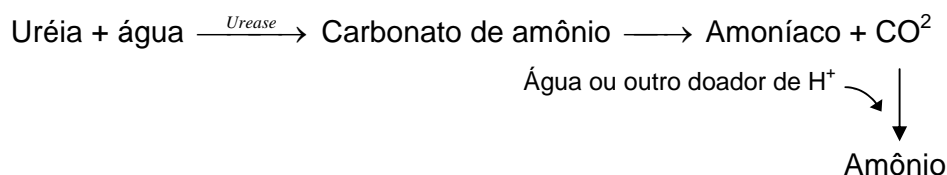
Em solos alagados, a quantidade de N presente como nitrato é muito baixa ($\leq 3 \text{ mg kg}^{-1}$ solo), sendo insignificante como nutriente (PATRICK et al., 1985), pois a maior quantidade do mesmo pode ser perdida rapidamente com a inundação da área, diminuindo sua concentração a zero nas 3 semanas seguintes à inundação do solo (MORAES et al., 1975).

A planta de arroz pode consumir nitrato e amônio como fontes de N. Tem-se comprovado que as enzimas responsáveis pela assimilação do nitrato estão presentes na planta de arroz (BARLAAN et al., 1998). Os resultados demonstram que o nitrato pode ser consumido em aplicações feitas até o alongamento de entrenós (WILSON et al., 1994).

O N orgânico do solo é a principal fonte de N para as plantas de arroz. Assim, KEALEY (1994) relata que, mesmo em situações onde aplicou-se adubos nitrogenados, o fornecimento do solo foi de 90% do N total consumido pela planta. Há duas classes de N orgânico no solo: uma forma rápida e outra lentamente mineralizável (SHOJI et al., 1986). A primeira é a principal fonte de N da planta nas primeiras etapas do ciclo e a outra nos estádios subseqüentes da cultura. Também há um efeito estimulante das plantas de arroz (KUNDU & LADHA, 1997) como do N aplicado (BACON et al., 1994b) na maior disponibilidade de N para as plantas.

2.2 Processos de transformação da uréia

A uréia para ser utilizada necessita ser hidrolizada através da enzima urease formando em primeiro lugar bicarbonato de amônio. A urease é localizada intracelularmente na biomassa microbiana do solo e extracelularmente na solução do solo ou nos colóides do solo, originada de organismos mortos. A atividade desta enzima está principalmente ligada aos colóides do solo já que a água filtrada não apresenta atividade da urease. Assim, a uréia aplicada na água de inundação é hidrolizada totalmente na interface solo-água já que a água está livre de colóides (VLEK et al., 1980). Segundo TISDALE et al. (1985) a transformação da uréia a amônio é a seguinte:



A hidrólise da uréia gera alcalinidade devido ao íon bicarbonato que é dominante num intervalo de pH de 6,37 a 10,25 constituindo junto ao N-NH_4^+ uma solução levemente alcalina, sendo influenciado também pela concentração de N-NH_3 produzido (GAUDIN & DUPUY, 1999).

Em solos bem drenados a umidade do solo afeta a dissolução, hidrólise e transporte dos produtos formados. Assim, deve existir umidade adequada para que ocorram as transformações da uréia em N-NH_4^+ e as chuvas subseqüentes à aplicação são benéficas evitando as perdas por volatilização de amoníaco (FENN & HOSSNER, 1985 e BOUWMEESTER et al., 1985). Com a redução rápida de umidade do solo, FERGUSON & KISSEL (1986) encontraram redução de hidrólise da uréia e da volatilização de amoníaco. O efeito da redução da umidade do solo depende da extensão da hidrólise da uréia no momento da secagem sendo que as perdas são elevadas se a secagem ocorre depois de completada a hidrólise da uréia (REYNOLDS & WOLF, 1987). Por outro lado, as perdas por volatilização são importantes quando a umidade não é limitante (BOUWMEESTER et al.,

1985; REYNOLDS & WOLF, 1987). Sob condições de umedecimento e secagem alternadas do solo registram-se mais perdas de amoníaco comparado com um solo permanentemente úmido (PATRA et al., 1996). Também em solos com distinto teor de umidade quando estão secando as perdas são maiores nos solos inicialmente mais úmidos (BURCH & FOX, 1989).

Em solos alagados a taxa de transformação da uréia é um processo muito rápido segundo distintos autores. Assim, foram confirmados por KATYAL & GADALLA (1990) 100% da hidrólise da uréia em 8 dias. Resultados bastante similares a estes foram relatados por SIMPSON et al. (1984), que após o décimo dia de aplicação não encontraram uréia na água de inundação. Por outro lado LIWANG et al. (1995) verificaram que 70% da uréia havia sido hidrolizada após dois dias. No trabalho de GAUDIN & DUPUY (1999), entre 78 e 91% da uréia foi hidrolizada em quatro dias e 95 a 98% em 13 dias.

LIWANG et al. (1999) determinaram que a conversão da uréia foi realizada na sua maior parte no solo e não na água de inundação. Resultados similares são relatados por VLEK et al. (1980) e PATTNAIK et al. (1999). Na água de inundação SIMPSON et al. (1984) não acharam atividade hidrolítica. Segundo SAVANT et al. (1985) o alagamento retardou a hidrólise comparado com solos bem drenados e a ordem da hidrólise da uréia no solo alagado foi a seguinte: camada de solo oxidada > camada de solo reduzido > água de inundação. Por outro lado, para KHIND et al. (1988) a taxa de hidrólise é menor na camada de solo oxidado do que na camada reduzida. Também a hidrólise da uréia altera-se com a fase de desenvolvimento da planta, sendo mais pronunciada no perfilhamento e na fase de desenvolvimento da panícula (PATTNAIK et al., 1999). Para estes autores, possivelmente há uma maior liberação e maior atividade da enzima urease nestes estádios.

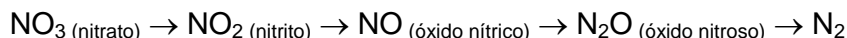
2.3 Processos mais importantes de perdas de nitrogênio

As perdas de N em solos alagados são devidas principalmente à denitrificação, volatilização de amoníaco, lixiviação e escoamento superficial. A imobilização por microrganismos de amônio e a fixação deste no complexo de troca resultam na diminuição da disponibilidade de N não podendo, entretanto ser consideradas como perdas de N do sistema água-solo-plantas (DE DATTA, 1981). Com base nestas perdas a recuperação de N pelas plantas tem variado entre 20 e 40% do nitrogênio aplicado (VLEK & BYRNES, 1986). Também DE DATTA (1981) estabelece que a recuperação pode ser tão baixa como 10% e raramente excede 30 - 40% do nitrogênio aplicado.

2.3.1 Perdas por denitrificação

A nitrificação na camada de solo oxidada e a denitrificação na camada reduzida são processos que muitos autores denominam de seqüência nitrificação-denitrificação devido à proximidade das camadas em que ocorrem. A nitrificação é um processo prévio à denitrificação e quando o oxigênio é excluído não há nitrificação e portanto não há evolução de N_2 e/ou N_2O como produtos finais da denitrificação.

O caminho seqüencial e os produtos do processo de denitrificação é o seguinte (AULAKH et al., 1992):



O substrato da nitrificação, que antecede à denitrificação, é fornecido pela amonificação e pela aplicação de adubos nitrogenados (uréia e sulfato de amônio).

A taxa de nitrificação na camada de solo tratado com $N-NH_4^+$ não foi afetada por pH elevado e nem pelo $N-NH_3$ formado (KATYAL et al., 1988).

Como foi relatado anteriormente os solos alagados apresentam duas camadas distintas: uma camada superficial oxidada de pouca espessura e uma camada reduzida ou anaeróbica. A espessura da camada de oxigênio

depende da taxa de movimento do oxigênio através da camada d'água e solo e da taxa de consumo deste oxigênio pelos microorganismos (REDDY et al., 1980). O fornecimento de oxigênio ao solo alagado é realizado por dois caminhos: 1) difusão do oxigênio através d'água e consumo na interface solo-água e 2) transporte de oxigênio através da parte aérea à rizosfera (MIKKELSEN, 1987). A presença de algas fotossintetizantes na água de inundação é outra fonte de oxigênio para o solo inundado podendo afetar a nitrificação (KATYAL et al., 1988). Assim, tem se encontrado variação diurna na magnitude de nitrificação e denitrificação (CHEN et al., 1998a; 1998b). Na camada oxidada existem bactérias que oxidam o amônio até nitrito além de bactérias que oxidam este até nitrato (ARTH et al., 1998).

A nitrificação é um processo que no solo alagado pode acontecer na água de inundação, na camada oxidada (LIWANG et al., 1999) e também na rizosfera, sendo este o local de maior nitrificação-denitrificação segundo ARTH et al. (1998). A bainha da planta de arroz é outro sítio importante para que ocorra a nitrificação e denitrificação subsequente (ADHYA et al., 1996).

A difusão de N-NH_4^+ desde a camada anaeróbica até a camada aeróbica responde por 50% das perdas de N dos solos alagados. O N-NH_4^+ difunde para a superfície do solo onde é nitrificado e o N-NO_3^- formado difunde à camada anaeróbica (REDDY et al., 1976). Os dois processos que controlam as perdas de N são a taxa de difusão do N-NH_4^+ desde a camada anaeróbia até a camada aeróbia e a nitrificação do N-NH_4^+ nesta camada. Os processos de difusão de N-NO_3^- à camada anaeróbia e a redução do N-NO_3^- a N_2 são processos rápidos (REDDY et al., 1980). A oxidação biológica do N-NH_4^+ a N-NO_3^- , que ocorre na camada oxidada do solo, gera um gradiente de concentração de N-NH_4^+ facilitando a sua difusão da camada anaeróbica até a aeróbica onde é nitrificado e o N-NO_3^- resultante se difunde até a camada anaeróbica onde é denitrificado (DE DATTA, 1981).

Estes trabalhos permitem concluir que a denitrificação é um processo de perda importante em solos alagados e que sua magnitude depende da taxa de difusão do N-NH_4^+ até a camada oxidada e da taxa de nitrificação deste N-NH_4^+ a N-NO_3^- nesta camada e da difusão de N-NO_3^- até a camada reduzida.

2.3.2 Perdas por volatilização de amoníaco

O processo de perda por volatilização de amoníaco consiste na passagem do amoníaco d'água de inundação à atmosfera (DIEST, 1988), conforme a seguinte seqüência: $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{NH}_3 (\text{aquoso}) + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_3 (\text{gás})$. Os íons amônio predominam em valores de pH = 7 enquanto o amoníaco livre é a forma predominante a pH $\geq 8,5$ (GOULD et al., 1986). Portanto, todos aqueles fatores que tem influência sobre o pH do sistema solo-água vão influenciar a taxa de perdas. A volatilização de amoníaco é um processo rápido que ocorre na semana seguinte da aplicação de N (DIEST, 1988).

PONNAMPERUMA (1978) sugeriu que o pH d'água de inundação estava relacionado à concentração de CO_2 e à atividade do HCO_3^- (bicarbonato) segundo a relação: $\text{pH} = 7,85 + \log (\text{HCO}_3^-) - \text{PCO}_2$. Deste modo, com a aplicação de uréia registra-se alta quantidade de HCO_3^- e há remoção de CO_2 da água de inundação pela ação dos microrganismos fotossintetizantes presentes na água gerando-se um incremento do pH e por conseguinte maiores perdas.

Com a adição de fertilizantes contendo N e P e inundação do solo há um grande incremento na população de organismos fotoautotróficos na água e na superfície do solo (WATANABE et al., 1988). Estes microrganismos provocam uma variação diurna do pH d'água (FILLERY et al., 1986) devido ao consumo e liberação de CO_2 originados pelos processos de fotossíntese e respiração. MIKKELSEN et al. (1978) obtiveram um pH de 9,5 a 10 ao meio-dia e uma diminuição de até 2 a 3 unidades de pH a noite.

O conteúdo de N- NH_3 aquoso na água aumenta perto de 10 vezes por unidade de incremento no pH até pH = 9,0. Com relação à temperatura, o N- NH_3 aquoso aumentou 0,25% por grau de incremento na temperatura sob condições de clima tropical (VLEK & STUMPE, 1978). A valores equivalentes de N amoniacal e de pH o N- NH_3 aquoso incrementou 4 vezes no intervalo de temperatura de 10 a 40° C (VLEK & CRASWELL, 1981). O N- NH_4^+ d'água de inundação pode-se originar do "pool" de N do solo que sobe por difusão ou fluxo de massa ou pode provir da uréia que é hidrolizada na interface solo-água ou de resíduos orgânicos (VLEK & CRASWELL,

1981). Com aplicações de uréia o acúmulo máximo de N amoniacal pode ser mais retardado do que o sulfato de amônio devido à menor atividade da urease na água de inundação (DE DATTA, 1995).

Os fatores que influenciam nas perdas de N por volatilização são os seguintes: concentração de N amoniacal na água de inundação; pH d'água; temperatura; velocidade do vento; quantidade de N aplicado; momento vegetativo da planta quando da aplicação; método da aplicação de N (MIKKELSEN et al. 1978; VLEK & STUMPE, 1978; VLEK & CRASWELL, 1981; MIKKELSEN, 1987 e JAYAWEERA & MIKKELSEN, 1991).

Segundo MIKKELSEN (1987) existe uma grande variabilidade na magnitude de perdas por volatilização de amoníaco, ligada a sistemas imperfeitos de medida e a um complexo intervalo de práticas culturais, manejo d'água, variáveis de solo e atmosfera que fazem as medidas muito específicas do lugar. Na Ásia onde se realizaram a maioria das medições de perdas, o solo onde é semeado o arroz encontra-se com umidade próxima à saturação ou alagado a distintas profundidades (DE DATTA, 1995). Isto predispõe a maiores perdas por volatilização de amoníaco (BROUWMEESTER et al., 1985; REYNOLDS & WOLF, 1987; BURCH & FOX, 1989) em relação a outros sistemas de cultivo em solo bem drenado.

Entre os fatores que podem diminuir as perdas por este mecanismo pode-se destacar: incorporação do adubo a 10 – 12 cm de profundidade; CTC e teor de matéria orgânica do solo e adubos verdes (MIKKELSEN et al., 1978; VLEK & CRASWELL, 1981; WATANABE et al., 1988 e DIEKMANN et al., 1993). Os adubos verdes originam menores concentrações de N-NH_3 e pH na água de inundação do que a uréia. Também, BECKER et al. (1994) tem demonstrado que os adubos verdes podem liberar o N mais sincronizado às demandas da planta podendo evitar as perdas. Segundo WHITEHEAD & RAISTRICK (1993) a propriedade de solo mais importante associada à perda por volatilização é a CTC. Os autores encontraram uma correlação negativa entre CTC e as perdas por amoníaco.

2.3.3 Perdas por lixiviação

Estas perdas ocorrem como consequência do movimento de formas de N em profundidade com a água de percolação estando muito relacionada à permeabilidade dos solos. Existe pouca informação referente à importância deste processo de perda nos solos alagados.

A percolação em profundidade d'água não é tão importante nos solos destinados à lavoura de arroz irrigado tendo estes geralmente baixa permeabilidade (PATRICK et al., 1985).

Segundo PATRICK & MAHAPATRA (1968) as perdas de N-NH_4^+ por lixiviação são mais importantes em solos alagados se comparadas com solos bem drenados. Segundo os autores isto é devido a maior acumulação de N-NH_4^+ nos solos alagados, ao deslocamento de N-NH_4^+ do complexo de troca devido aos íons Fe^{+2} e Mn^{+2} produzidos em maior quantidade em solos alagados e à carga permanente da lâmina d'água no solo alagado provocando maior percolação no solo.

As perdas por este mecanismo nos solos alagados são mais importantes em solos de textura grosseira ou em solos com altas quantidades de hidróxidos de ferro ou alumínio (SAVANT & DE DATTA, 1982). Estes solos tem geralmente baixa capacidade de troca catiônica permanecendo maior quantidade de N-NH_4^+ na solução do solo e portanto lixiviado.

As perdas por lixiviação num estudo com N^{15} demonstraram serem reduzidas já que ao final do ciclo da lavoura o N^{15} aplicado foi detectado até 25 cm de profundidade (PATRICK & REDDY, 1976). Mais recentemente, BELTRAME et al. (1992) no Rio Grande do Sul determinaram que as perdas de N-NO_3^- corresponderam a 3,6% do N aplicado. Estas não foram muito altas para modificar a forma de aplicar o N na cultura de arroz irrigado, mas podem contribuir à poluição dos cursos d'água.

2.4 Absorção, assimilação e translocação do nitrogênio na planta de arroz

O N nos órgãos em crescimento pode ser dividido em dois grupos segundo sua origem: 1) O N absorvido, é o N recentemente absorvido, assimilado e incorporado aos órgãos em crescimento; e 2) O N remobilizado é o já existente e constituinte das plantas antes que o órgão comece a crescer o qual é mobilizado e translocado para os órgãos novos em crescimento. Todos os resultados demonstram que este último grupo desempenha um importante papel no crescimento dos órgãos novos da planta de arroz, sendo menos importante para os órgãos velhos (MAE, 1986; 1997).

Em geral a curva de absorção do N no ciclo da planta é muito similar à de produção de matéria seca (LOPES et al., 1993).

Segundo MAE (1986) o N encontra-se principalmente nos órgãos novos enquanto que uma quantidade pequena está distribuída nos órgãos velhos. A distribuição até a raiz é maior nas etapas iniciais da planta e menor no enchimento de grãos.

A planta de arroz exhibe dois momentos onde a taxa de consumo de N é máxima: uma ao momento de máximo perfilhamento e outra na formação da panícula (SHOJI et al., 1986). Já PENG & CASSMAN (1998) encontraram taxas de consumo máximas no momento de iniciação da panícula de 9 a 12 kg de N ha⁻¹dia⁻¹ que são o dobro daqueles tradicionalmente registrados (6 kg ha⁻¹dia⁻¹). Segundo estes autores, estes valores elevados se devem a determinação da eficiência em períodos de tempo mais curtos do que é normalmente empregado.

2.4.1 Nitrogênio na fase vegetativa

Na fase vegetativa é onde o N aplicado contribui à formação de perfilhos e portanto do número de panículas (BACON et al., 1994a). Nesta fase e em ambientes com temperaturas baixas há uma maior contribuição do N fornecido pelo adubo e não tanto do solo comparado a ambientes mais

quentes (MAE, 1997). Nesta época, a habilidade de perfilhamento é uma das características mais importantes já que ela tem influência direta no número de panículas. A densidade de perfilhos por área está relacionada à quantidade de panículas dependendo das variedades usadas e da densidade de semeadura. O número de perfilhos alcança o número máximo no momento de diferenciação da panícula (LOPES et al., 1993) e segundo MAE (1997) o N-NH_4^+ proveniente do solo e do adubo pode estar quase esgotado neste momento sendo necessária a aplicação de fertilizante nitrogenado.

2.4.2 Nitrogênio na fase reprodutiva e enchimento de grãos

Nesta etapa há a definição de dois componentes: o número de espiguetas por panícula e o peso de grãos. O número de panículas está correlacionado com a quantidade de N nas plantas no início de alongamento dos entrenós uma vez que neste estágio atinge-se o número máximo de perfilhos (LOPES et al., 1993).

A taxa de acúmulo de matéria seca é máxima no período entre a diferenciação do primórdio de panícula e a floração (LOPES et al., 1993). Durante o período de iniciação da panícula até o final da formação da panícula atinge-se o máximo na taxa de expansão das folhas e acumulação de matéria seca (MAE, 1997). Aumentando a quantidade de N aplicada aumentam também a massa de palha produzida e, até certo limite a massa de grãos. É por isso que a relação grão/palha geralmente diminui com o aumento da dose de N aplicada (TANAKA, 1964).

Na etapa final de formação da panícula o N contribui para a diminuição do número de espiguetas degeneradas e incrementando o tamanho da casca (MAE, 1997).

No estágio reprodutivo, a maioria do N dos órgãos vegetativos e da folha bandeira é translocado aos grãos em formação (BUFOGLE et al., 1997 e MAE, 1997). O N remobilizado da folha bandeira, bainha e colmo é responsável por 70 a 90% do N total da panícula sendo o restante do N absorvido recentemente (MAE, 1986; 1997).

Quando o N é aplicado em uma única aplicação antes de inundar transforma-se em N-NH_4^+ ficando como tal no solo durante um período importante de tempo. Quando o N é aplicado na metade do ciclo da cultura o período de consumo é menor (BACON et al., 1994b; BUFOGLE et al., 1997). A aplicação de N antes de inundar não teve efeito no conteúdo de N-NH_4^+ no solo depois da iniciação da panícula em diante. Na modalidade da aplicação única, a maior parte do N aplicado foi imobilizado pelos microorganismos do solo ficando protegido das perdas (BACON et al., 1994b).

2.5 Manejo do nitrogênio e da água

Em experimentos realizados nos Estados Unidos e na Austrália distintos autores concluíram da superioridade, em parâmetros vegetativos, na nutrição da planta e produção de grãos, da aplicação do N em solo seco na forma de uréia, antes de inundar, comparado com a aplicação pouco depois da inundação, na água (HUMPHREYS et al., 1987a; HEENAN & BACON, 1989 e BOLLICH et al., 1996).

Também, em estudos realizados nos Estados Unidos, comparando aplicações de N únicas antes de inundar com aplicações parceladas, na bibliografia revisada, constata-se produções de grãos superiores ou pelo menos similares com aplicações únicas antes de inundar a lavoura comparada com as divididas (BOLLICH et al., 1993; NORMAN et al., 1999).

Quando o N é aplicado em solo bem drenado na forma de uréia, antes de inundar, movimenta-se no solo em uma maior profundidade acompanhando o movimento da água e ficando retido como N-NH_4^+ nos colóides do solo (HUMPHREYS et al., 1987b).

A uréia aplicada na água difunde-se até o solo subjacente ficando nos primeiros centímetros do solo e é hidrolizada a N-NH_4^+ . Também, sua concentração incrementa na água de inundação. O N-NH_4^+ formado difunde-se tanto para a água, onde pode ser volatilizado, ou para o solo onde pode ser nitrificado na camada oxidada e portanto denitrificado (VLEK et al., 1980; SIMPSON et al., 1984; HUMPHREYS et al., 1987b e KATYAL &

GADALLA, 1990). Com aplicação de uréia na água HUMPHREYS et al. (1987c, 1988) constataram perdas de N que variavam entre 11 e 45% do N aplicado.

Trabalhando com a modalidade de incorporação de uréia no solo ZIA et al. (1992) e MONTERO (1993) encontraram produção de grãos superiores comparado ao método tradicional de aplicação de uréia na água. Também SCHNIER (1995) tem demonstrado a efetividade da injeção no solo a 5 – 7 cm de profundidade de uma solução de uréia no sistema de arroz de transplante.

Apesar dos relatos anteriores, outros pesquisadores não constataram diferenças nos caracteres produtivos da lavoura aplicando uréia em solo seco ou com água (DEAMBROSI & MÉNDEZ, 1993, 1995; DEAMBROSI et al., 1994a e MARIN & SANABRIA, 1999).

Resumindo, a maior parte dos trabalhos revisados relatam a superioridade da aplicação de uréia em solo bem drenado e inundado posteriormente. Entretanto outros trabalhos não demonstram diferenças entre aplicar uréia em solo drenado ou na água. Portanto, há controversias sobre a melhor modalidade de manejo do N aplicado e da água sendo necessário pesquisar nas condições de solo e clima do local.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e solo

O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, em um planossolo pertencente à unidade de mapeamento Vacacaí (KLAMT et al., 1985). As principais características do solo da área experimental são apresentadas na Tabela 1 e representam a média de quatro amostras.

Tabela 1: Principais características do solo na área experimental na camada de 0 – 10 cm. Santa Maria, RS, 2000.

Característica	Valor
Textura	4
% argila (m/V)	22
pH – H ₂ O 1:1	5,0
N-NH ₄ ⁺ (mg kg ⁻¹ solo)	3,1
N-NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹ solo)	0,2
P (mg L ⁻¹)	12,3
K (mg L ⁻¹)	55,5
Ca (cmol _c L ⁻¹)	3,9
Mg (cmol _c L ⁻¹)	1,6
MO (%)	1,8
CTC (cmol _c L ⁻¹) efetiva	6,1
CTC (cmol _c L ⁻¹) pH = 7	9,7
Saturação Al (%)	6
Saturação bases (%)	59

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com parcela subdividida e quatro repetições. Nas parcelas principais de 20 x 6 m, foram estabelecidas no início do perfilhamento três formas de manejos d'água e nitrogênio (modalidades de aplicação da uréia): uréia + banho (U + B), uréia + inundação (U + I) e inundação + uréia (I + U). No manejo U + B aplicou-se a uréia superficialmente no solo drenado e no dia seguinte deu-se um banho, inundando-se definitivamente a área 14 dias após. No manejo U + I a área foi inundada um dia depois da aplicação de uréia, e no manejo I + U a uréia foi aplicada um dia depois da inundação. Nas subparcelas de 6 x 4 m foram aplicadas, no mesmo dia da aplicação de N, as 4 doses de N (0, 20, 40 e 60 kg ha⁻¹ de N) e uma testemunha absoluta, sem aplicação de N, em todo o ciclo da cultura. Cada subparcela estava separada por sistema de taipas de modo a permitir irrigação e drenagem independentes.

3.3 Condução do experimento

Para a instalação do experimento a área foi preparada com o uso de grades e aplainadoras do solo. A semeadura foi realizada no dia 21/10/98 com semeadora-adubadora de plantio direto com 0,18 m de espaçamento entre linhas e 180 kg ha⁻¹ de sementes da variedade El Paso 144, com o objetivo de obter uma população de cerca de 300 plantas m⁻². Utilizou-se 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O através de uma mistura física de superfosfato triplo e cloreto de potássio. Em todas as subparcelas, exceto a testemunha absoluta, aplicou-se 10 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia no dia seguinte à semeadura. Três dias após a emergência irrigou-se a área para uniformizar a emergência. No início de alongamento dos entrenós e após a amostragem de plantas para a determinação da concentração de N na matéria seca, efetuou-se uma aplicação de 23 kg ha⁻¹ de N em todas as parcelas exceto na testemunha absoluta. As quantidades de N aplicadas em cada época na subparcela constam na Tabela 2.

Tabela 2: Distribuição do N (kg ha^{-1} de N na forma de uréia) nas subparcelas. Santa Maria, RS. 2000.

Tratamentos da subparcela	Semeadura	Perfilhamento	Início de alongamento dos entrenós	N total aplicado
Testemunha	0	0	0	0
0	10	0	23	33
20	10	20	23	53
40	10	40	23	73
60	10	60	23	93

O controle de capim arroz (*Echinochloa sp*) foi realizado quando as plantas daninhas apresentavam três folhas e a planta de arroz três a quatro, utilizando-se uma mistura de Quinclorac ($0,375 \text{ g ha}^{-1}$ de ingrediente ativo) e Propanil ($1,08 \text{ L ha}^{-1}$ de ingrediente ativo). A lâmina d'água no início dos tratamentos foi de aproximadamente 5 cm e gradativamente aumentada segundo a estatura das plantas, até ao redor 10-15 cm, permanecendo assim até a colheita. As datas dos eventos fenológicos mais importantes foram: emergência, 01/11/98; início do perfilhamento, 23/11/98; máximo perfilhamento, 19/12/98; início do alongamento dos entrenós, 06/01/99; início da floração, 26/01/99; fim de floração, 10/02/99 e maturação de colheita, 14/03/99.

3.4 Determinações

3.4.1 Nitrogênio total acumulado no início do alongamento dos entrenós

No estágio de alongamento de entrenós foi coletada a parte aérea das plantas em 3 subamostras de $0,09 \text{ m}^2$ em cada subparcela. As subamostras foram reunidas e submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar a uma temperatura de 70° C até massa constante. O tecido vegetal seco foi moído em moínho tipo Willey para fazer a análise da concentração de N total, conforme a metodologia descrita por TEDESCO et al. (1995). A partir

da matéria seca produzida e do teor de N total foi determinado o N absorvido pelas plantas em cada subparcela.

3.4.2 Nitrogênio absorvido do fertilizante nitrogenado

A quantidade de N absorvida com a aplicação de uréia foi estimada subtraindo-se a quantidade de N acumulado pelas plantas na testemunha sem N, daquele acumulado pelas plantas que receberam fertilizante nitrogenado.

3.4.3 Eficiência agronômica e de recuperação do nitrogênio aplicado

Estes parâmetros foram estimados na fase inicial do alongamento de entrenós, conforme proposto por FAGERIA et al. (1999):

1) Eficiência agronômica: $\frac{MS_{cf} - MS_{sf}}{QNa}$, em kg kg^{-1} , onde MS_{cf} é a

matéria seca produzida com fertilizante, MS_{sf} é a matéria seca produzida sem fertilizante e QNa a quantidade de N aplicado.

2) Eficiência de recuperação: $\left(\frac{NAB_{cf} - NAB_{sf}}{QNa} \right) \times 100$, em %, onde

NAB_{cf} é o N absorvido nas parcelas com fertilizante e NAB_{sf} é o N absorvido nas parcelas sem fertilizante

3.4.4 Nitrogênio mineral

Trinta dias após a emergência das plantas e oito dias depois de aplicados os tratamentos, foram coletadas amostras de solo na camada de 0 – 10 cm em cada subparcela para a determinação dos teores de N mineral (N-NH_4^+ e $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NO}_2^-$). Após a coleta, as amostras foram mantidas em congelador a -18°C até a análise. O N mineral foi extraído do solo com uma solução salina de KCl e determinado em destilador de arraste de vapores, conforme descrito por TEDESCO et al. (1995).

3.4.5 Perfilhamento

A evolução do perfilhamento foi avaliada através da contagem do número de colmos em um metro de linha, onde foi uniformizado o número de plantas para se obter uma população de 300 plantas m^2 . As leituras foram feitas por ocasião do início do perfilhamento, a cada sete dias, até estabilizar o surgimento de colmos. Considerou-se como perfilho o colmo que apresentava duas folhas. Determinou-se o perfilhamento útil, caracterizado como a relação entre o número de panículas m^{-2} e o número máximo de colmos m^{-2} .

3.4.6 Matéria seca

Foi determinada a evolução do acúmulo de matéria seca pela parte aérea do arroz coletando-se, aleatoriamente em cada subparcela, uma amostra de 0,5 m linear no perfilhamento máximo, início do alongamento dos entrenós, emborrachamento, início de floração e maturação de colheita. O material foi levado à estufa a 70°C até massa constante.

3.4.7 Produção de grãos

A produção de grãos foi avaliado colhendo-se as plantas em uma área útil de 12,04 m^2 de cada subparcela. A amostra foi colhida manualmente e trilhada com uma trilhadora de parcelas. Nesta amostra foi determinada a umidade, sendo corrigida a produção de grãos para 13% de umidade.

3.4.8 Floração

A partir do início da floração e a cada 3 dias foi registrado o número de panículas emergidas até a estabilização do surgimento das mesmas, no mesmo local de amostragem utilizado para determinar o perfilhamento. Considerou-se planta florescida quando 50% da panícula tinha emergido da

bainha da folha bandeira. Determinou-se o período de floração como o número de dias entre o início e o final da floração.

3.4.9 Componentes do rendimento

Os componentes do rendimento foram avaliados na mesma área utilizada para determinação da evolução do perfilhamento e floração. Foram extraídas 30 panículas para a determinação do número de grãos cheios e espiguetas estéreis panícula^{-1} . Na amostra de grãos cheios das 30 panículas foi determinada a umidade e foram tomadas 4 subamostras de 100 grãos para avaliar o peso de 1000 grãos.

3.4.10 Esterilidade de espiguetas

Este parâmetro foi obtido relacionando-se a quantidade de espiguetas estéreis com o número total de espiguetas da panícula multiplicado por 100.

3.4.11 Rendimento de engenho

O rendimento de engenho, também denominado de rendimento do grão, está composto pela quantidade de grãos inteiros e quebrados.

Da amostra para determinar a produção de grãos foi separado 1 kg de grãos para determinar o rendimento de engenho. Esta amostra foi secada a 13% de umidade separando-se uma subamostra de 100 gramas e beneficiada em máquina testadora de arroz, com 15 segundos de queda, 45 segundos de polimento e um minuto para separação de grãos inteiros dos quebrados. Os grãos inteiros e quebrados, após o polimento, foram pesados separadamente e logo somados para obter a renda do beneficiamento.

3.4.12 Estatura de plantas

Na colheita, foi avaliada a estatura de plantas tomando-se 10 plantas ao acaso nas subparcelas, medindo-se a distância entre o solo e o extremo das panículas estiradas.

3.4.13 Índice de colheita

Este índice foi obtido através da relação entre a massa de grãos na colheita com a matéria seca total (grãos + palha) na última amostragem da matéria seca.

3.4.14 Relação grão/palha

Neste item foram relacionados a massa de grãos com a massa da palha na última amostragem para avaliação da produção de matéria seca.

3.4.15 Análise estatística

Os parâmetros avaliados, foram analisados com o uso dos software NTIA (EMBRAPA, 1998), segundo o modelo de experimento bifatorial no delineamento de blocos ao acaso em parcelas subdivididas.

Para as características que se obteve interação significativa, as médias do fator “modalidades de aplicação da uréia” foram comparadas pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro com aplicação do teste “t” para o contraste da testemunha com as quatro doses de N e uma análise de regressão para as quatro doses de N dentro de cada “modalidade de aplicação da uréia” a 5% de erro.

Nos casos em que a interação não foi significativa, as médias dos níveis do fator “modalidades de aplicação da uréia” foram comparados pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro. Foi aplicado um teste “t” para o contraste da testemunha com as quatro doses de N e uma análise de regressão para as quatro doses de N.

As doses estabelecidas para as determinações feitas até o início do alongamento dos entrenós foram as seguintes: 0, 10, 30, 50 e 70 kg de N ha⁻¹. Depois deste estágio as doses analisadas foram: 0, 33, 53, 73 e 93 kg de N ha⁻¹. Para o N acumulado proporcionado pela aplicação da uréia as doses analisadas foram de: 10, 30, 50 e 70 kg de N ha⁻¹, e para a análise das eficiências de 30, 50 e 70 kg de N ha⁻¹.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Nitrogênio total acumulado e proporcionado pela aplicação da uréia no início do alongamento dos entrenós

Verificou-se interação entre as modalidades de aplicação e as doses de N, onde a Figura 1 revela que o aumento na dose de N, nos tratamentos em que a aplicação de uréia foi seguida de um banho (U + B) ou da inundação imediata (U + I) promoveram maior absorção de N pelas plantas quando comparado com a aplicação da uréia um dia após a inundação definitiva da área, onde os acréscimos de absorção de N foram menores. As diferenças entre as modalidades de aplicação de uréia foram maiores nas doses de 50 e 70 kg de N ha⁻¹ (Tabela 3).

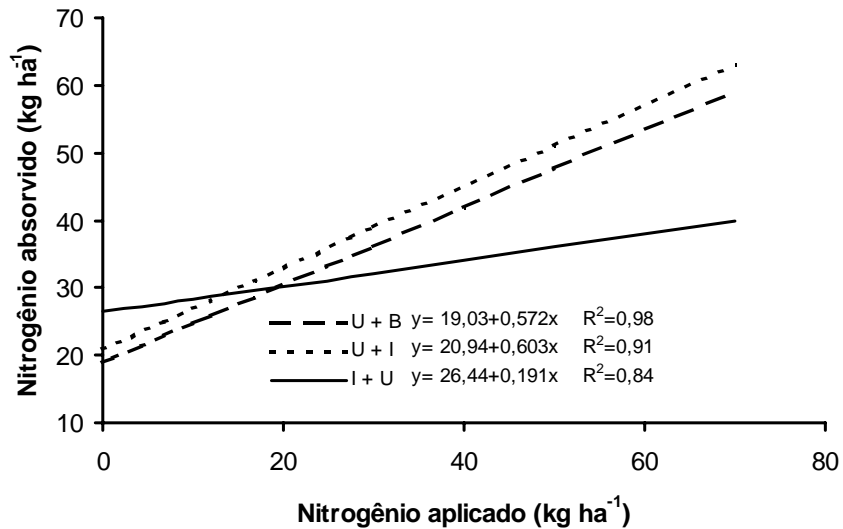


Figura 1: Relação entre a quantidade de N aplicado e a quantidade de N absorvido pela parte aérea do arroz no início do alongamento de entrenós nos tratamentos “uréia + banho” (U + B), “uréia + inundação” (U + I) e “inundação + uréia (I + U). Santa Maria, RS. 2000.

Tabela 3: Intervalo de confiança a 5% de probabilidade de erro para as funções das modalidades de aplicação de uréia para o N total absorvido nas doses de N estudadas. Santa Maria, RS, 2000.

Tratamento	Nitrogênio aplicado (kg ha^{-1})			
	10	30	50	70
U + B	13,55 – 25,65	32,92 – 39,46	44,36 – 50,90	53,02 – 65,12
U + I	20,92 – 33,02	35,76 – 42,30	47,82 – 54,36	57,10 – 69,20
I + U	22,30 – 34,40	28,90 – 35,44	32,72 – 39,26	33,76 – 45,86

U + B = Uréia + Banho; U + I = Uréia + Inundação; I + U = Inundação + Uréia.

A Tabela 4 apresenta o N total absorvido pela planta, o N absorvido proporcionado pela aplicação da uréia e as formas de N presentes no solo, na média das doses de N aplicado.

Tabela 4: N total acumulado na planta, N proporcionado pela aplicação da uréia e N mineral do solo na média das doses de N aplicado. Santa Maria, RS. 2000.

Tratamento	N total acumulado (kg ha^{-1})	N propor. pela aplic. da uréia (kg ha^{-1})	N- NH_4^+ (mg kg^{-1} solo)	N- $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ (mg kg^{-1} solo)
U + B	37,55a ^(*)	19,19a	8,11a	1,42 ^{ns}
U + I	40,25 ^a	19,95a	7,80a	0,58
I + U	32,55 b	7,80 b	3,50 b	0,12
Média	36,72	15,64	6,50	0,70
Testemunha	21,09	--	2,78	0,39
CV(%) ⁽¹⁾	12,58	45,00	77,00	263,30
CV(%) ⁽²⁾	16,87	39,60	44,50	149,80

⁽¹⁾ Parcela principal; ⁽²⁾ Subparcela; ^(*) Médias não ligadas por mesma letra diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro; ^{ns} Teste F não significativo a 5% de probabilidade de erro; U + B = Uréia + Banho; U + I = Uréia + Inundação; I + U = Inundação + Uréia.

Constata-se que na média das doses de N aplicado, as modalidades de aplicação da uréia antes de colocar a água na área (U + B e U + I) promoveram maior acúmulo de N no tecido da planta do que quando o N foi colocado sobre a lâmina de água (I + U), e isto foi devido ao maior aproveitamento do N proporcionado pela aplicação da uréia, nos tratamentos U + B e U + I. Verifica-se que o N proporcionado pela aplicação da uréia

respondeu por cerca de 50% do total de N acumulado até a fase de alongamento dos entrenós em U + B e U + I, enquanto foi de apenas 25% para I + U. O N total acumulado pela testemunha foi mais baixo do que os encontrados nas três modalidades.

A quantidade média de 36,72 kg N ha⁻¹ absorvido é cerca da metade daquela relatada por SANTOS & JACQUES (1999) que encontraram absorção de 67 kg N ha⁻¹ aplicando 23 kg ha⁻¹ de N, em experimentos realizados no Uruguai para a mesma variedade e mesmo estágio de desenvolvimento do arroz. Isto pode estar relacionado à diferença no teor de matéria orgânica dos solos já que no presente trabalho o teor é de 1,80%, enquanto no Uruguai era de 2,87%, ou também às diferentes condições meteorológicas dos dois locais/anos.

Quanto ao efeito da modalidade de aplicação de uréia sobre o N absorvido, DEAMBROSI & MÉNDEZ (1995) também encontraram menor quantidade de N absorvido nos tratamentos em que a uréia foi aplicada na água, comparado aos tratamentos com aplicação em solo seco. Também, os resultados concordam com os obtidos por HEENAN & BACON (1989) no sudeste da Austrália os quais registraram um máximo consumo de N, aplicando-o a uréia um dia antes da inundação.

A maior quantidade de N absorvido no procedimento de colocar uréia antes da irrigação (U + B e U + I) possivelmente esteja relacionado com o melhor aproveitamento do N aplicado, pois conforme a Tabela 4, encontrou-se mais do que o dobro de N-NH₄⁺ na camada de 0 – 10 cm de solo, do que quando colocou-se uréia sobre a lâmina de água (I + U). A aplicação de uréia em solo seco seguida de um banho ou da inundação possibilita a incorporação do N em profundidade através da água. A uréia assim incorporada, é hidrolizada no solo a amônio, ficando este provavelmente mais ligado aos sítios de troca dos colóides do solo e menos sujeito a perdas (HUMPHREYS et al., 1987b). Quando a uréia é aplicada diretamente na água ela está mais sujeita a perdas por volatilização de amônio e denitrificação (VLEK et al., 1980; SIMPSON et al., 1984; HUMPHREYS et al., 1987b e KATYAL & GADALLA, 1990).

Possivelmente, nos tratamentos I + U, o solo já estava saturado com água não permitindo o movimento da uréia em profundidade ficando o fertilizante na água ou nos primeiros centímetros do solo. Portanto, a uréia aplicada na água provavelmente hidrolisou-se na água e na camada oxidada, onde o N-NH_4^+ formado possivelmente transformou-se em nitrato perdendo-se por denitrificação, ou em amoníaco na água de inundação, volatilizando-se. Também a água de inundação nestes tratamentos poderia ter a presença de colóides do solo em quantidade que ocorresse a hidrólise da uréia e portanto maiores perdas por volatilização de amoníaco segundo o estabelecido por VLEK et al. (1980) já que a aplicação de uréia foi próxima da inundação das parcelas.

O N aplicado exerceu efeito significativo nos parâmetros do N total acumulado da planta, no N proporcionado pela aplicação da uréia e também para o N-NH_4^+ do solo, conforme pode ser avaliado pelo contraste entre os tratamentos adubados e a testemunha sem aplicação de N (Tabela 5).

Tabela 5: Estimativa e significação do contraste entre a testemunha absoluta e a média da dose de N para N absorvido total e aplicado e N mineral. Santa Maria, RS. 2000.

Determinação	Estimativa
N total (kg ha^{-1})	78,12 **
N prop. Aplic.da uréia (kg ha^{-1})	77,72 **
N-NH_4^+ (mg kg^{-1} solo)	18,59 **
$\text{N-NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ (mg kg^{-1} solo)	1,54 ^{ns}

** Teste “t” significativo a 1% de probabilidade de erro;

^{ns} Teste “t” não significativo.

De forma similar ao que ocorreu entre as modalidades de aplicação de uréia e a quantidade de N acumulado pela planta, também houve interação entre o N proporcionado pela aplicação da uréia e as doses de N aplicado. Conforme a Figura 2 e Tabela 6, constata-se que houve aumento de N proporcionado pela aplicação da uréia à medida que aumentou a dose de N aplicado, ampliando-se a superioridade dos tratamentos U + B e U + I, em relação a I + U, de acordo com a elevação da dose de N aplicado.

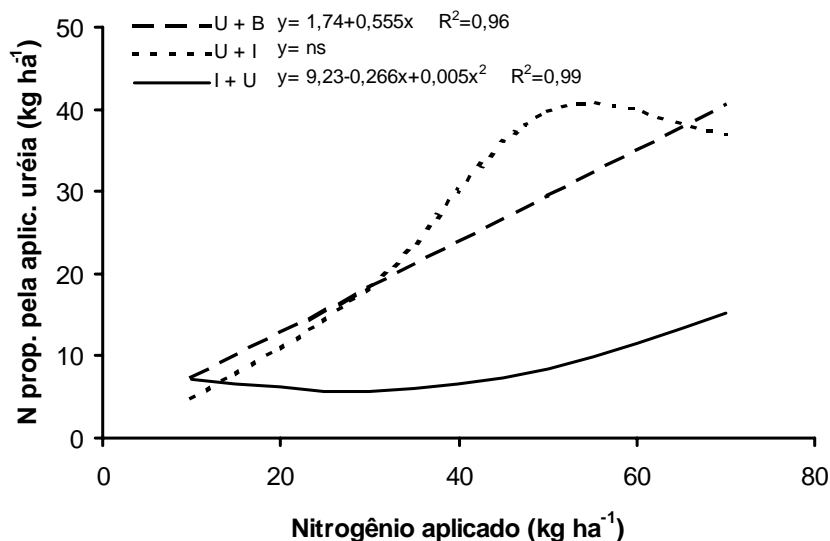


Figura 2: Relação entre a quantidade de N aplicado e a quantidade de N proporcionado pela aplicação da uréia acumulada pelas plantas na parte aérea no início do alongamento de entrenós nos tratamentos “uréia + banho” (U + B), “uréia + inundação” (U + I) e “inundação + uréia” (I + U). Santa Maria, RS. 2000.

Tabela 6: Intervalo de confiança a 5% de probabilidade de erro para as funções das modalidades de aplicação de uréia para o N proporcionado pela aplicação da uréia nas doses de N estudadas, Santa Maria, RS, 2000.

Tratamento	Nitrogênio aplicado (kg ha ⁻¹)			
	10	30	50	70
U + B	1,25 – 13,33	15,13 – 21,65	26,23 – 32,75	34,55 – 46,63
U + I	0,00 – 10,78	14,99 – 21,51	36,40 – 42,92	30,95 – 43,03
I + U	1,03 – 13,11	2,49 – 9,01	5,17 – 11,69	9,07 – 21,15

U + B = Uréia + Banho; U + I = Uréia + Inundação; I + U = Inundação + Uréia.

Por esses resultados pode-se inferir que, para áreas que demandem maiores quantidades de N na fase inicial da cultura, o procedimento de aplicar uréia antes da irrigação, proporciona que mais N seja absorvido pela planta.

4.2 Nitrogênio mineral no solo

4.2.1 Amônio

O teor de amônio no solo aumentou com a dose de N aplicado, variando em intensidade segundo a modalidade de aplicação da uréia (Figura 3). Nos tratamentos com banho e inundação imediata após a aplicação de nitrogênio houve maior quantidade de amônio em relação a aplicação de uréia na água (Tabela 4). As parcelas com aplicação de uréia no solo drenado apresentam diferenças na quantidade de N-NH_4^+ no solo nas doses de 50 e 70 kg ha^{-1} de N com as parcelas com aplicação de uréia na lâmina d'água (Tabela 7). Apesar da variabilidade encontrada nesta determinação o N-NH_4^+ da testemunha proveniente do solo, foi mais baixo aos encontrados nas três modalidades.

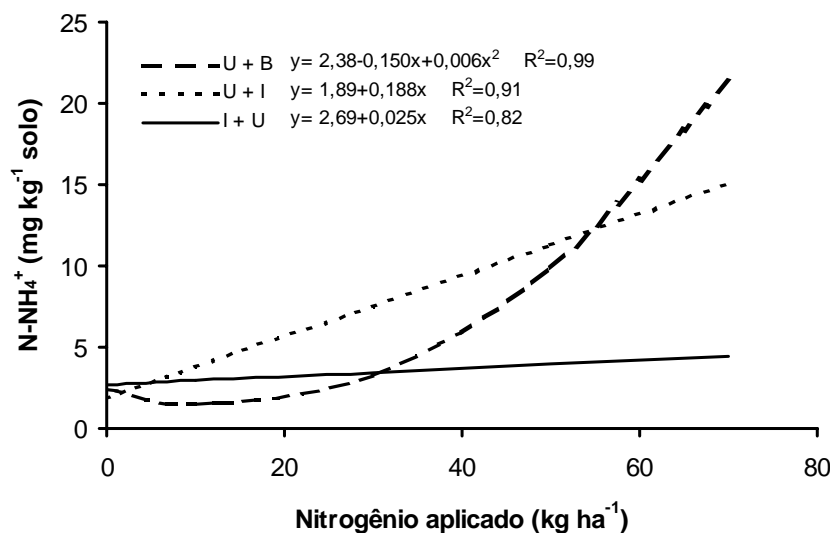


Figura 3: Efeito da aplicação de N no conteúdo de amônio no solo nos tratamentos “uréia + banho” (U + B), “uréia + inundação” (U + I) e “inundação + uréia” (I + U). Santa Maria, RS. 2000.

Tabela 7: Intervalo de confiança a 5% de probabilidade de erro para as funções das modalidades de aplicação de uréia para o N-NH_4^+ do solo nas doses medias de N estudadas, Santa Maria, RS. 2000.

Tratamento	Nitrogênio aplicado (kg ha^{-1})			
	10	30	50	70
U + B	0,00 – 4,35	1,73 – 4,83	8,33 – 11,43	18,41 – 24,15
U + I	0,90 – 6,64	5,98 – 9,08	9,74 – 12,84	12,18 – 17,92
I + U	0,07 – 5,81	1,89 – 4,99	2,39 – 5,49	1,57 – 7,31

U + B = Uréia + Banho; U + I = Uréia + Inundação; I + U = Inundação + Uréia.

A uréia aplicada hidrolizou-se para se transformar em N-NH_4^+ , formando parte da solução do solo e ocupando os sítios de troca sendo extraídos pela solução de KCl. Estas duas formas de ocorrência são as mais prontamente disponíveis para as plantas segundo MENGEL et al. (1986).

A quantidade de N-NH_4^+ em mg kg^{-1} solo, multiplicada por 1,4 (densidade do solo do experimento) obtém-se kg ha^{-1} de N, em 10 cm de profundidade de solo.

Como pode-se observar na Figura 3, nos tratamentos de U + B e U + I aproximadamente $\frac{1}{4}$ deste N foi detectado na forma de N-NH_4^+ no solo na dose de 50 kg ha^{-1} de N aplicado. Por outro lado, do total de 70 kg ha^{-1} de N aplicado foi detectado aproximadamente $\frac{1}{5}$ como N-NH_4^+ no solo no tratamento U + I e para U + B, $\frac{1}{3}$ do N aplicado. O N restante foi consumido pelas plantas ou perdido do sistema solo-água. Para o tratamento I + U, independentemente da dose aplicada, a quantidade de N detectado na forma amoniacal foi invariável e baixa.

4.2.2 Teor de Nitratos (NO_3^-) e Nitritos (NO_2^-)

Os valores destas duas formas nas modalidades U + I e I + U foram insignificantes no solo, confirmando resultados da literatura relativos a solos alagados (PATRICK et al., 1985) e possivelmente as formas oxidadas foram perdidas por denitrificação. O conteúdo destes ânions foi baixo e muito variável mesmo nas parcelas com aplicação de uréia + banho que estavam

drenadas no momento da amostragem (Tabela 4). Devido à alta variabilidade nesta determinação não é possível comparar a diferença nos valores existentes entre a testemunha e a modalidade I + U. Nas parcelas da modalidade U + B, a nitrificação do amônio a partir da uréia aplicada não foi alta segundo os teores de $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NO}_2^-$ obtidos. Em solos de várzea o teor de amônio é mais importante do que de nitratos já que a nitrificação pode ser insuficiente ou o nitrato ser perdido. Assim MÉNDEZ & DEAMBROSI (1994) encontraram de duas a quatro vezes maior quantidade de N-NH_4^+ do que N-NO_3^- nos solos antes de serem inundados.

Provavelmente essa baixa quantidade de formas de N oxidada seja devido a menor disponibilidade de oxigênio nestes solos com problema de drenagem, aumentando com o alagamento e a expulsão do ar do solo. Esta carência de oxigênio determina uma menor nitrificação e portanto menos formação de nitratos.

4.3 Eficiência agronômica e de recuperação de nitrogênio no início do alongamento dos entrenós

A eficiência agronômica e de recuperação do N aplicado, expressas na Tabela 8, revelam que os tratamentos com aplicação de uréia antes da irrigação proporcionaram maior eficiência de uso do N que a aplicação de uréia na lâmina de água.

Tabela 8: Efeitos das modalidades de aplicação de uréia na eficiência agronômica e de recuperação do N aplicado. Santa Maria, RS. 2000.

Modalidade	Eficiência agronômica. (kg MS kg N ⁻¹)	Eficiência de Recuperação (%)
U + B	61,78a	64,33a
U + I	56,65a	61,97a
I + U	25,62 b	20,73 b
Média	48,02	49,01
CV(%) ⁽¹⁾	29,20	35,99
CV(%) ⁽²⁾	10,06	10,45

⁽¹⁾ Parcela principal; ⁽²⁾ Subparcela; ^(*) Médias não ligadas por mesma letra diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro; U + B = Uréia + Banho; U + I = Inundação + Uréia; I + U = Inundação + Uréia.

Pelo parâmetro eficiência agrônômica constata-se também que houve interação entre as modalidades de aplicação da uréia e as doses de N aplicadas. A eficiência diminuiu com o aumento da dose de N, sendo diferente nas três doses de N a favor das modalidades com aplicação de uréia em solo drenado (Figura 4). As perdas ocorridas com a aplicação de uréia na água determinaram uma menor eficiência com esta modalidade. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por HUMPHREYS et al. (1987a) e HEENAN & BACON (1989) na Austrália que também encontraram maior eficiência com a aplicação da uréia antes da inundação.

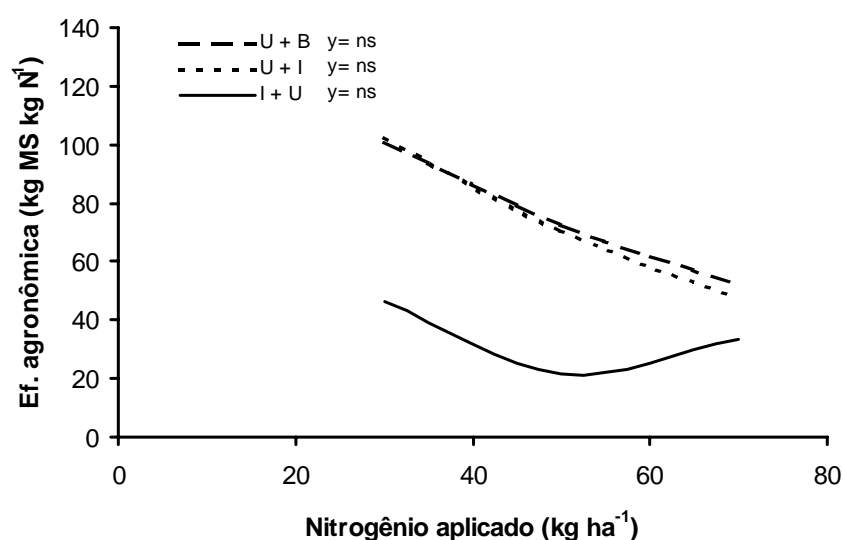


Figura 4: Efeito do método de aplicação e da dose do N na eficiência agrônômica nos tratamentos “uréia + banho” (U + B), “uréia + inundação” (U + I) e “inundação + uréia” (I + U). Santa Maria, RS. 2000.

A aplicação de N afetou a eficiência de recuperação de N sendo que ela diminui com o aumento da dose de N aplicada não apresentando interação entre as modalidades de aplicação e dose de N (Figura 5).

A eficiência de recuperação média de N foi de 49%, indicando que 51% do nitrogênio aplicado foi perdido do sistema solo-água. Este valor é casi similar ao o relatado por DE DATTA (1981) que estabeleceu que as recuperações de N aplicado raramente excedem 30-40%. Na Ásia, VLEK &

BYRNES (1986) relatam recuperações variáveis pela lavoura de 20 a 40% do N aplicado. Na Austrália, HUMPHREYS et al. (1987c) encontraram eficiências de recuperação de N nos grãos de 89,2% e 45,9% para a aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N como uréia antes e após a inundação, respectivamente. Também na Austrália, HEENAN & BACON (1989) obtiveram, na maturação, 49% de recuperação do N aplicado. No Brasil, FAGERIA et al. (1999) determinaram uma eficiência de recuperação nos grãos de 39%. Não foram encontrados na bibliografia dados para o estágio de alongamento dos entrenós. As determinações de recuperação de N nos grãos, possivelmente são menores porque as estimativas são feitas no final do ciclo da cultura e portanto, com maiores possibilidades de perdas de N. Também as eficiências de recuperação relatadas são variáveis, estando relacionadas a diferenças nas práticas culturais, doses e fontes de N, manejos d'água, tipos de solo e condições meteorológicas dos ambientes considerados, entre outros fatores.

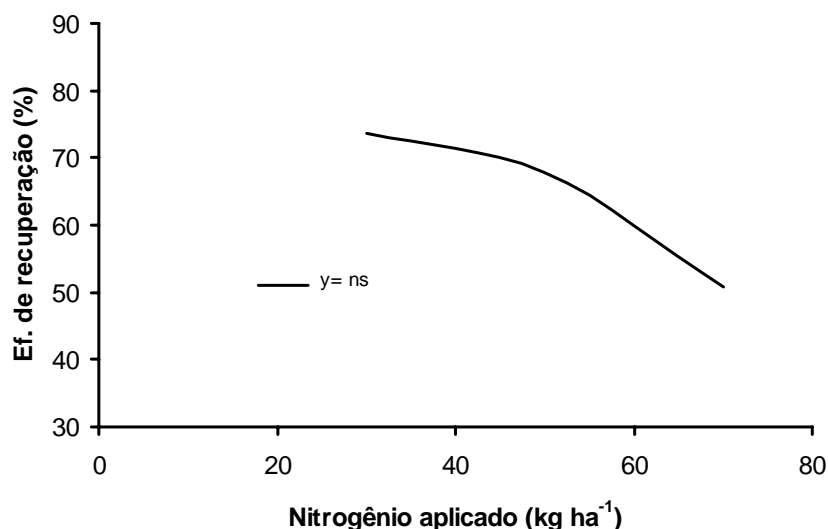


Figura 5: Efeito da dose do N aplicado na eficiência de recuperação. Santa Maria, RS. 2000.

A redução na eficiência deve-se provavelmente, ao incremento maior na dose de N aplicado (o denominador das relações) do que ao aumento verificado na produção de matéria seca. À medida que aumenta-se a dose de N aplicado este, é cada vez menos aproveitado pela planta sendo possivelmente perdido no sistema. Resultados similares, com diminuição da eficiência agrônômica e de recuperação à medida que aumenta a dose de N são relatados por FAGERIA et al. (1999).

4.4 Parâmetros vegetativos

4.4.1 Número de colmos por unidade de área

A Tabela 9 apresenta parâmetros de perfilhamento e de massa seca para os diferentes tratamentos. A modalidade de aplicação de uréia U + B apresentou maior número de colmos e foi diferente da modalidade I + U. Possivelmente a maior disponibilidade de N-NH_4^+ dos tratamentos com aplicação de uréia antes do banho tenha contribuído para o maior número de perfilhos.

Tabela 9: Efeito das modalidades de aplicação de uréia nos parâmetros vegetativos na média das doses de N. Santa Maria, RS, 2000.

Tratamento	Colmos m^{-2} 23/12/98	Perfilhamento útil (%)	Matéria Seca Início de alongamento dos entrenós (kg ha^{-1})	Matéria Seca Emborracha- Mento (Kg ha^{-1})
U + B	892a ^(*)	47,90 b	3566 ^{ns}	6075 ^{ns}
U + I	801ab	50,90ab	3914	6529
I + U	703 b	57,50a	3343	6073
Média	799	52,10	3608	6225
Testemunha	529	67,41	2112	4546
CV(%)(¹)	15,98	18,00	19,86	18,84
CV(%)(²)	14,96	12,00	12,12	17,88

(¹) Parcela principal; (²) Subparcela; (^{*}) Médias não ligadas pela mesma letra diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro; ^{ns} Teste F não significativo; U + B = Uréia + Banho; U + I = Uréia + Inundação; I + U = Inundação + Uréia.

Na Figura 6 são apresentados os resultados do número de colmos m^{-2} obtidos próximos à data de amostragem de plantas para avaliação do N absorvido.

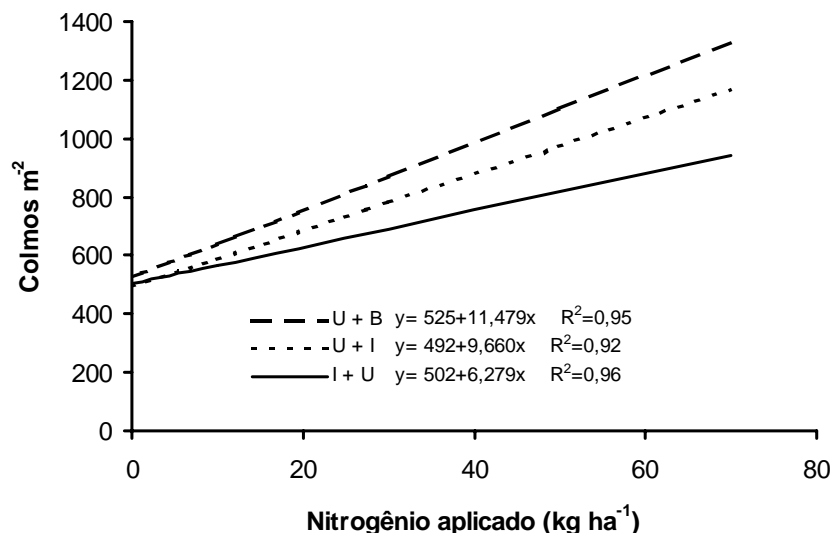


Figura 6: Efeito do método de aplicação e da dose do N aplicado sobre o número de colmos. m^{-2} na amostragem quatro dias após o máximo perfilhamento nos tratamentos “uréia + banho” (U + B), “uréia + inundação” (U + I) e “inundação + uréia” (I + U). Santa Maria, RS. 2000.

O número de colmos m^{-2} aumentou com a dose de N, diferindo segundo a modalidade de aplicação de uréia. As modalidades U + B e U + I proporcionaram maior surgimento de colmos quando comparados com a aplicação de uréia em água.

Estes resultados coincidem com aqueles relatados por HUMPHREYS et al. (1987a) na Austrália que encontraram maior perfilhamento quando aplicaram uréia antes da inundação.

O perfilhamento útil, no momento de máxima quantidade de colmos diminuiu com o aumento da dose de N e diferiu conforme a modalidade de aplicação da uréia. Estes resultados talvez sejam devidos ao fato de que nos tratamentos com aplicação de uréia antes da irrigação, houve maior número de colmos m^{-2} do que no tratamento I + U, enquanto que o número de panículas na colheita foi semelhante para os tratamentos. Como

consequência, o perfilhamento útil foi maior no tratamento que apresentou menor número de colmos. Além da competição intraespecífica deve-se ressaltar que para esta característica teve-se o efeito da segunda aplicação de N o que pode ter nivelado diferenças existentes até o momento.

4.4.2 Matéria seca

Embora tenham sido realizadas amostragens desde o momento de máximo perfilhamento até o momento de maturação de grãos, são apresentados aqui apenas aquelas realizadas no início do alongamento dos entrenós e 14 dias após. As demais são apresentadas nas Figuras 17, 18 e 19 no Anexo I. Na amostragem, no início do alongamento dos entrenós, a matéria seca produzida aumentou com a dose de N aplicado, sendo que a resposta variou segundo a modalidade de aplicação da uréia (Figura 7). Nos tratamentos com aplicação de uréia seguida de banho e inundação imediata, foram encontrados os maiores valores de matéria seca, sendo diferentes nas doses de 50 e 70 kg ha⁻¹ de N aplicado.

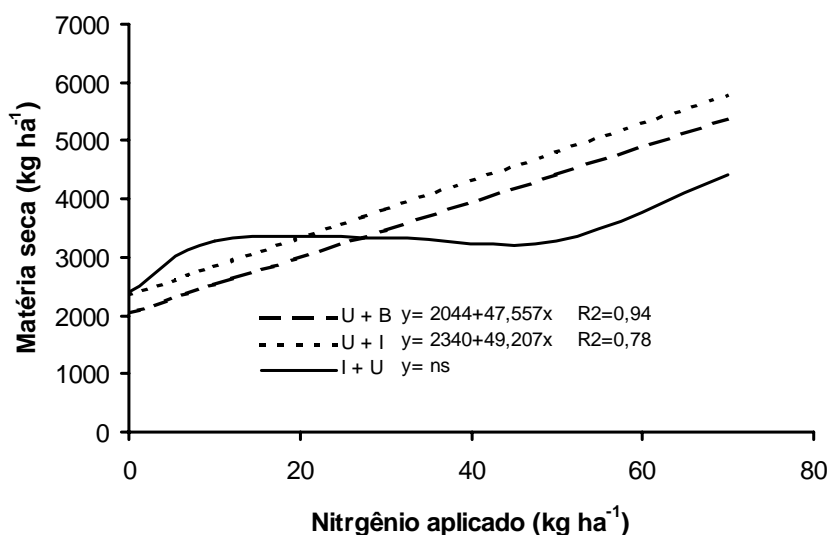


Figura 7: Relação entre doses de N e produção de matéria seca de plantas na amostragem do início de alongamento dos entrenós nos tratamentos “uréia + banho” (U + B), “uréia + inundação” (U + I) e “inundação + uréia” (I + U). Santa Maria, RS. 2000.

O valor médio de produção de matéria seca de 3608 kg ha⁻¹ encontrado é inferior ao relatado por SANTOS & JACQUES (1999) de 4160 kg MS ha⁻¹ para a mesma variedade e estágio de desenvolvimento e por HEENAN & BACON (1989) (4455 kg MS.ha⁻¹) para o mesmo estágio. Já DEAMBROSI & MÉNDEZ (1993) e DEAMBROSI et al. (1994a) trabalhando com a variedade Bluebelle encontraram, no mesmo estágio uma produção de 4000 kg MS ha⁻¹ em 1993 e de 3442 kg MS ha⁻¹ em 1994.

Maior produção de matéria seca nos tratamentos em que a uréia foi aplicada antes da inundação, em relação aos tratamentos em que a uréia foi aplicada na água foram encontrados por HUMPHREYS et al. (1987a).

Para a avaliação da matéria seca, na colheita 14 dias após o alongamento dos entrenós, não houve interação significativa entre a modalidade de aplicação da uréia e doses de N aplicado. Houve um bom ajuste entre produção de matéria seca e doses de N utilizando-se o modelo de regressão linear (Figura 8). Para cada unidade de N aplicado houve um aumento de 41 kg ha⁻¹ na matéria seca. Nesta avaliação, houve efeito do N aplicado em todos os tratamentos no início do alongamento de entrenós (23 kg N ha⁻¹) anulando as diferenças existentes até esse momento, relativas às diferentes modalidades de aplicação da uréia. Nas outras amostragens de matéria seca feitas após a aplicação do N no início do alongamento dos entrenós, foram encontrados efeitos da dose de N aplicado (Figuras 18 e 19, Anexo I).

O N aplicado teve influência significativa nas determinações de colmos m⁻², produção de matéria seca e porcentagem de perfilhamento útil.

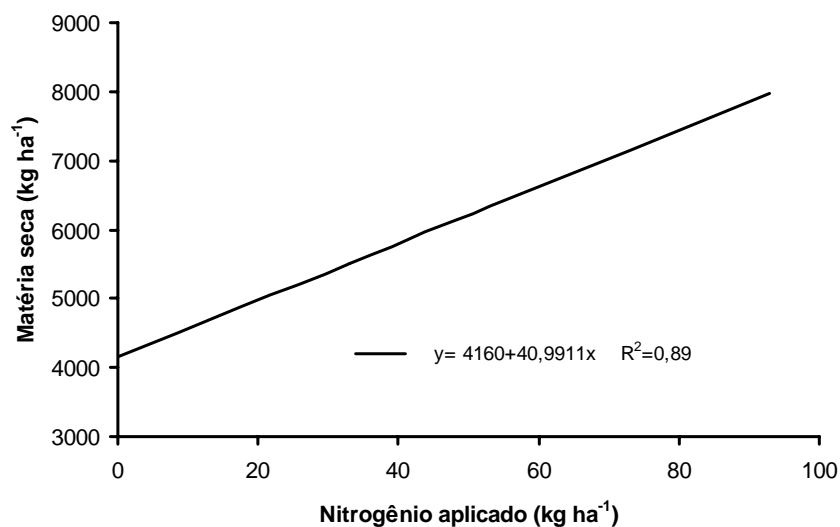


Figura 8: Relação entre doses de N e produção de matéria seca 14 dias após o início do alongamento dos entrenós. Santa Maria, RS. 2000.

4.5 Parâmetros vegetativos e relação entre nitrogênio do solo e absorvido pela planta

Os coeficientes de correlação entre as variáveis analisadas aparecem na Tabela 10.

A maioria das variáveis estudadas estiveram correlacionadas entre si exceto o N absorvido proporcionado pela aplicação de uréia e a produção de grãos. O N aplicado aumentou o amônio no solo e este aumentou a absorção, incrementando o número de colmos e como consequência a matéria seca. O N total absorvido esteve correlacionado com todas as variáveis estudadas.

Tabela 10: Coeficientes de correlação entre as variáveis. Santa Maria, RS. 2000.

	N total absorvido (kg.ha ⁻¹)	NH ₄ ⁺ (mg.kg ⁻¹ solo)	Número de colmos.m ⁻²	MS inic. Alon. entrenós (kg.ha ⁻¹)	Produção de grãos (kg ha ⁻¹)
NH ₄ ⁺ mg.kg ⁻¹ solo	0,64**				
Número de colmos.m ⁻²	0,83**	0,70**			
MS inic. alon. entrenós (kg.ha ⁻¹)	0,95**	0,57**	0,81**		
N prop. aplic. da uréia (kg.ha ⁻¹)	0,93**	0,64**	0,78**	0,83**	0,07 ^{ns}
Produção de grãos (kg ha ⁻¹)	0,43**				

** Significativo a 1% de probabilidade de erro;

^{ns} Não Significativo.

O N da uréia aplicado nos tratamentos com solo drenado (uréia + banho e uréia + inundação imediata) deve ter sido carregado em profundidade através da água já que observou-se maior conteúdo de amônio no solo nestes tratamentos, conforme apresentado na Figura 3. Isto permitiu uma maior absorção de N pelas plantas, aumentando o número de perfilhos e a massa seca no início do alongamento dos entrenós. As condições de temperatura e insolação ocorridas após os tratamentos foram adequados como pode-se observar na Tabela 13 do Anexo II (dados depois do dia 23/11/98). No tratamento com uréia + banho, que permaneceu 14 dias drenado antes de ser inundado, aparentemente não ocorreram perdas por denitrificação no período. Segundo VLEK et al. (1980), SIMPSON et al. (1984), HUMPHREYS et al. (1987b), KATYAL & GADALLA (1990) a aplicação da uréia na água aumenta o conteúdo de N amoniacal sujeito a perdas já que o N fica a poucos centímetros de profundidade no solo. Com isso, há uma menor quantidade de N disponível diminuindo o número de perfilhos, a absorção de N e, conseqüentemente a produção de matéria seca.

DEAMBROSI et al. (1994b) verificam que o N aplicado no perfilhamento aumentou o número de perfilhos, o N absorvido e a produção de matéria seca, determinados no início do alongamento de entrenós.

4.6 Produção de grãos

A produção de grãos foi afetado somente pelas doses de N, aumentando linearmente com a quantidade de N aplicada (Figura 9). Não houve efeito das modalidades de aplicação de uréia nem interação entre os fatores (Tabela 11).

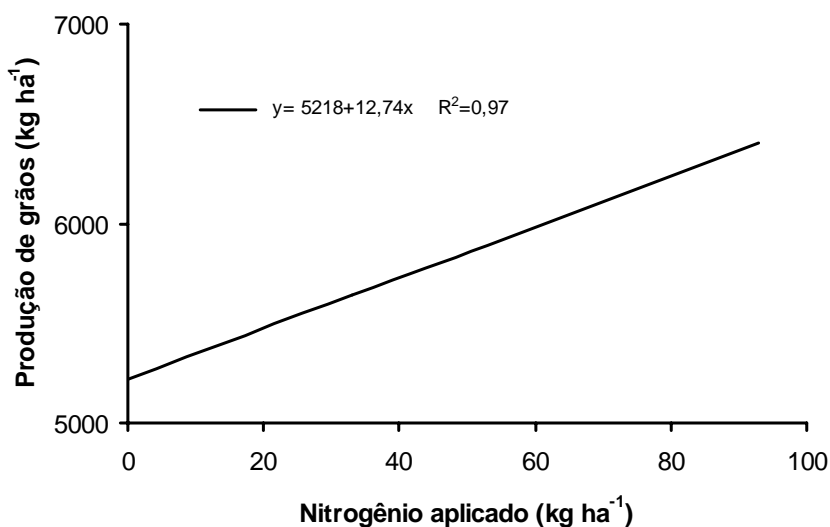


Figura 9: Relação entre doses de N e produção de grãos. Santa Maria, RS. 2000.

No intervalo estudado, não foi atingido o máximo rendimento físico, indicando a importância da aplicação de N nestes solos. Foram obtidos 12,7 kg de grãos por kg de N aplicado, valor levemente inferior ao relatado por YOSHIDA (1981), de 15 – 20 kg de grãos kg⁻¹ de N aplicado. Deve-se ressaltar que as doses de N não foram elevadas e com isso não foi atingido o ponto de máxima, podendo explicar a diferença entre o obtido no experimento e a cita bibliográfica. O N aplicado neste experimento foi muito importante para o incremento da produção de grãos já que o contraste

realizado entre a testemunha absoluta e os tratamentos com aplicação de N foi altamente significativo. A diferença entre a testemunha e a dose máxima de N aplicada (93 kg ha^{-1} de N) foi de 1184 kg ha^{-1} de grãos. As condições meteorológicas foram favoráveis para a obtenção de resposta ao N aplicado. Isto está confirmado pelos dados de insolação apresentado na Figura 25 do Anexo II, que no trimestre janeiro/março foi superior à normal, principalmente em janeiro (desenvolvimento do estágio reprodutivo) e março (estádio de enchimento e maturação de grãos).

Tabela 11: Efeitos da modalidade de aplicação de uréia no rendimento, componentes e caracteres associados na dose média de N aplicado. Santa Maria, RS. 2000.

	Rendim. de grãos (kg ha^{-1})	Panículas m^{-2}	Grãos cheios panícula ⁻¹	Peso 1000 grãos (g)	Índ. colheita	Est. Espiguetas (%)	Estatura de plantas (cm)
U + B	5821 ^{ns}	391 ^{ns}	65 ^{ns}	25,37 ^{ns}	0,524 ^{ns}	16,06a ^(*)	74 ^a
U + I	5634	386	66	25,59	0,534	14,36ab	74 ^a
I + U	6123	390	70	25,48	0,551	12,09 b	72 b
Média	5859	389	67	25,48	0,536	14,17	73
Testem.	5157	363	59	24,78	0,558	19,50	69
CV(%)(¹)	25,24	16,00	22,20	2,30	11,49	30,80	2,91
CV(%)(²)	10,35	12,70	15,30	2,70	7,08	16,40	4,70

(¹) Parcela Principal; (²) Subparcela; ^{ns} Teste F não significativo; (^{*}) Médias não ligadas pelas mesmas letras diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro; U + B = Uréia + Banho; U + I = Uréia + Inundação; I + U = Inundação + Uréia..

A aplicação de N em solo seco ou drenado seguida de irrigação tem proporcionado maior rendimento de grãos em inúmeros trabalhos conduzidos em condições distintas de clima e de solo (HUMPHREYS et al., 1987a; HEENAN & BACON, 1989; ZIA et al., 1992 e MONTERO, 1993, BOLLIICH et al., 1996). No presente experimento as diferenças em favor da aplicação em solo drenado não manifestou-se na produção de grãos, possivelmente em função da aplicação de N (23 kg ha^{-1} de N) em todos os tratamentos ao início do alongamento de entrenós. Resultados similares ao presente experimento em que não houve resposta de diferentes modalidades de aplicação da uréia no rendimento de grão são reportados por DEAMBROSI & MÉNDEZ (1993) e MARIN & SANABRIA (1999). Os

resultados sugerem uma maior resposta à aplicação de N à metade do ciclo que a aplicação no perfilhamento.

Em futuros experimentos sugere-se que a aplicação de N na metade do ciclo da cultura seja suprimida a fim de que se possa avaliar com mais precisão o efeito das modalidades de aplicação da uréia no rendimento de grãos. Outro aspecto a ser considerado envolve as doses de N a serem aplicadas para que se atinja o máximo rendimento físico já que neste experimento a resposta da cultura à aplicação de N foi linear.

4.7 Componentes da produção de grãos

A densidade de panículas (panículas m^{-2}), os grãos cheios por panícula e o peso de 1000 grãos foram influenciados pela aplicação de N não existindo efeito das modalidades de aplicação de uréia nem interação entre os fatores (Tabela 11). Para estas determinações não foi obtido ajuste polinomial significativo. A inexistência do efeito das modalidades nestas determinações pode explicar a carencia de resposta a este fator na produção de grãos.

4.8 Índice de colheita

Encontrou-se efeito da aplicação de N neste índice conforme mostra a Figura 10. A aplicação de N no intervalo estudado aumentou mais a produção de palha do que de grãos, já que também a relação grão/palha diminuiu com o N aplicado (Figura 20, Anexo I). Este índice foi mais alto em relação ao convencionalmente estabelecido, possivelmente devido a perdas de palha e também não haver-se considerado a raiz.

Também no intervalo das doses do N aplicado não se chegou à máxima produção de grãos. Com o aumento da dose de N aplicado, esta variável apresentava aumento contínuo, sendo este aumento menos acentuado que o da palha, o que resultou numa redução gradual, porém pouco pronunciado, no índice de colheita. Os resultados obtidos na relação grãos/palha está de acordo ao estabelecido por TANAKA (1964).

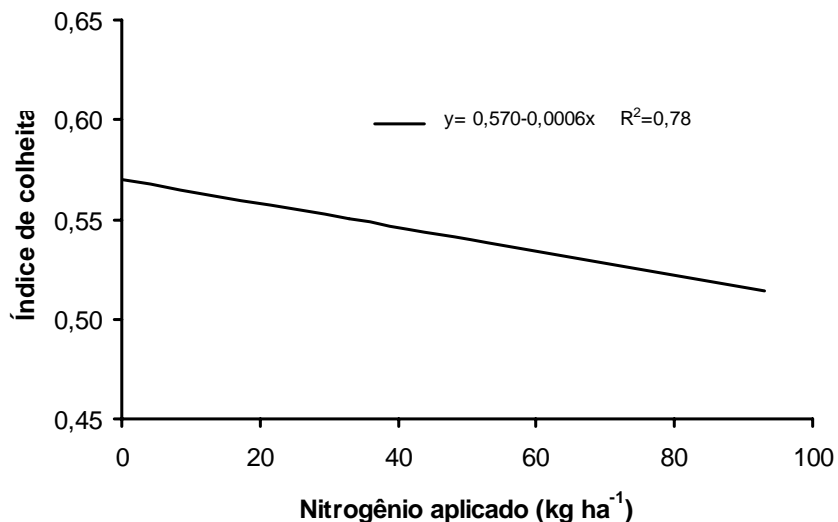


Figura 10: Efeito da dose de N aplicado no índice de colheita. Santa Maria, RS. 2000.

4.9 Esterilidade de espiguetas

Encontrou-se interação entre as modalidades de aplicação de uréia e a dose de N aplicado para este parâmetro (Figura 11). Possivelmente a interação explique-se pela diferença entre a esterilidade das testemunhas das distintas modalidades de aplicação da uréia já que a tendência lógica geral com o aumento de N a esterilidade é diminuir até um valor estável. Houve diferenças nas médias das modalidades U + B e I + U (Tabela 11).

A diferença estabelece-se entre as testemunhas dos tratamentos de U + B e U + I com a testemunha de I + U. Nestas últimas parcelas haviam diferenças no ciclo com as parcelas de uréia + banho e uréia + inundação. No dia 04/02/99 as parcelas da testemunha da modalidade I + U já apresentavam 71% das panículas emergidas enquanto que nos outros dois tratamentos (uréia + banho e uréia + inundação) estavam emergidas apenas em torno de 50%.

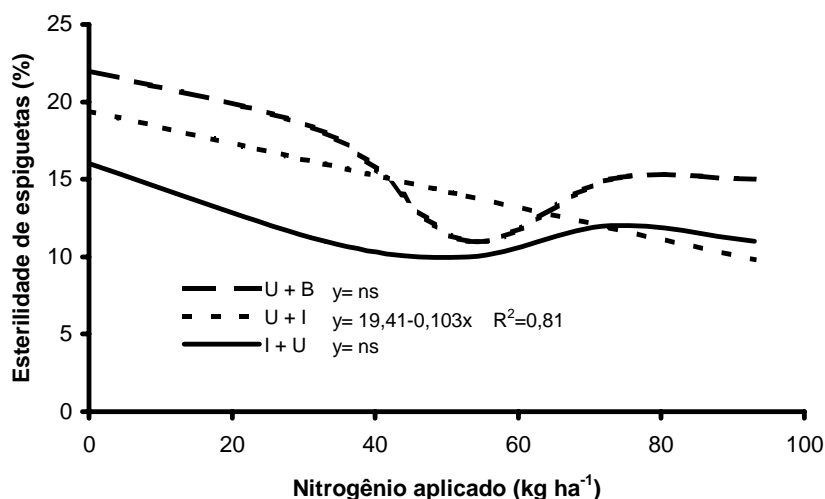


Figura 11: Efeito da dose do N aplicado na esterilidade de espiguetas nos tratamentos “uréia + banho” (U + B), “uréia + inundação” (U + I) e “inundação + uréia” (I + U). Santa Maria, RS. 2000.

A temperatura mínima registrada no dia 03/02/99 esteve abaixo (Tabela 13, Anexo II) das citadas pela bibliografia como nível crítico para dano, que é de 15 °C (BLANCO & ROEL, 1993) e pode ter causado esterilidade de espiguetas já que a cultivar El Paso 144 é sensível a temperaturas baixas, 10 dias antes e 10 dias após emergência das panículas (BLANCO et al., 1993). A esterilidade de espiguetas esteve correlacionada com os grãos vazios ($r = 0,83^{**}$).

4.10 Estatura de plantas

A estatura de plantas medida na maturação foi afetada pela adubação nitrogenada e aumentou no intervalo de N estudado (Figura 12). Também verificou-se efeito das modalidades de aplicação de uréia, sendo inferior esta determinação na modalidade I + U (Tabela 11). A estatura de plantas esteve correlacionada com rendimento de grãos ($r = 0,50^{**}$) e com outros indicadores de crescimento como matéria seca na amostragem do emborrachamento ($r = 0,63^{**}$) e início da floração ($r = 0,53^{**}$).

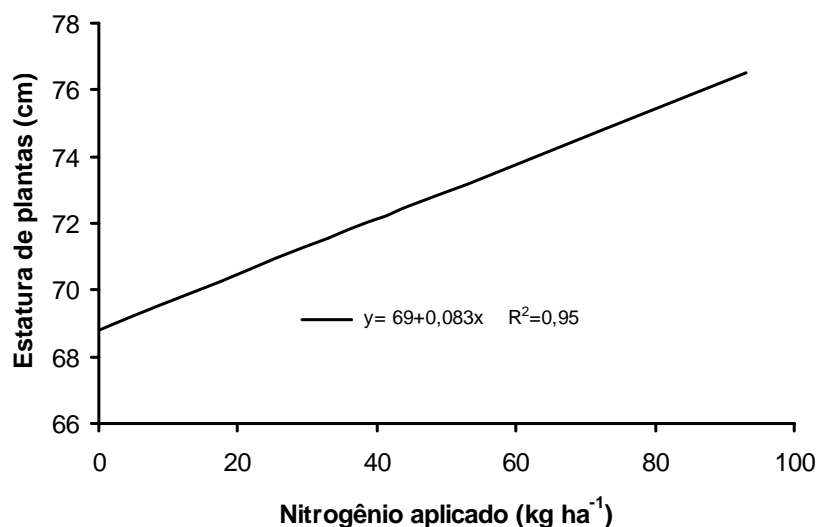


Figura 12: Efeito da dose do N aplicado sobre a estatura de plantas à maturação. Santa Maria, RS. 2000.

4.11 Rendimento de engenho

No presente experimento não foi verificado efeito da aplicação do N nem das modalidades (Tabela 12) nos grãos inteiros nem nos grãos quebrados. Os dados médios foram de 64,1% para grãos inteiros e de 7,1% para grãos quebrados.

Tabela 12: Efeito das modalidades de aplicação de uréia no rendimento de engenho na média das doses de N aplicado. Santa Maria, RS. 2000.

Tratamento	Grãos inteiros (%)	Grãos quebrados (%)	Renda do beneficiamento (%)
U + B	64,30 ^{ns}	6,63 ^{ns}	70,93 b ^(*)
U + I	64,84	6,59	71,42a
I + U	63,26	8,08	71,33a
Média	64,13	7,10	71,23
Testemunha	63,36	7,36	70,71
CV(%)(¹)	12,30	111,90	0,70
CV(%)(²)	10,30	95,60	0,70

^{ns} Teste F não significativo; ^(*) Médias não ligadas pela mesma letra diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro; ⁽¹⁾ Parcela

principal; ⁽²⁾ Subparcela; U + B = Uréia + Banho; U + I = Uréia + Inundação; I + U = Inundação + Uréia.

A quantidade de grãos quebrados é influenciada pelas condições climáticas no momento da colheita. A amplitude térmica diária ao redor de 15° C ou superior, aumenta a quantidade de grãos quebrados (ROEL & BLANCO, 1997). A condição de tempo foi benéfica nos dias que antecederam à colheita (Anexo II, dias anteriores a 14/03/99). Esta, realizada com grau adequado de umidade dos grãos, também contribuiu para a alta porcentagem de grãos inteiros obtida em todos os tratamentos.

O N não afetou a quantidade de grãos inteiros; diferente ao relatado por vários autores (NANGJU & DE DATTA, 1970; JONGKAEWWATTANA et al., 1993; PEREZ et al., 1996). Isto ocorre porque segundo NANGJU & DE DATTA (1970) há um aumento no conteúdo de proteínas nos grãos. Também é possível que o N aplicado origine alterações no ciclo das plantas fazendo com que as condições meteorológicas no momento da maturação e da colheita afetem em forma diferente segundo o estadio das plantas, podendo originar diferenças de grãos quebrados.

A renda do beneficiamento foi afetada pela modalidades de aplicação de uréia (Tabela 12), embora em valores absolutos, os valores sejam semelhantes. Nesta determinação a bibliografia não é conclusiva com respeito a influência do N, já que JONGKAEWWATTANA et al. (1993) não encontraram efeito da aplicação do N e PEREZ et al. (1996) detectaram maior renda com aplicação deste nutriente. A menor renda de grãos no tratamento U + B provavelmente foi devida ao atraso na inundação. Isto coincide com resultados relatados por BLANCO & ROEL (1995), os quais encontraram que a inundação realizada aos 15-30 dias após a emergência de plantas incrementa a porcentagem de renda comparado com inundações tardias.

5. CONCLUSÃO

As modalidades de aplicação de N em solo drenado, no início do perfilhamento seguida de irrigação definitiva ou banho proporcionam maior absorção de N quando comparado com a aplicação realizada em lâmina de água, ampliando-se estas diferenças à medida que se eleva a quantidade aplicada.

A aplicação de 23 kg ha^{-1} de N ao início de alongamento dos entrenós nivela as diferenças entre as modalidades de aplicação da uréia.

A produção de grãos não é afetada pela modalidade de aplicação de uréia.

A produção de grãos aumenta com as quantidades de N aplicado.

6. BIBLIOGRAFIA

- ADHYA, T. K., PATNAIK, P., RAO, V. R. et al. Nitrification of ammonium in different components of a flooded rice soil system. **Biol. Fertil. Soils**, Berlin, v. 23, n. 3, p. 321-326, 1996.
- ARTH, I., FRENZEL, P., CONRAD, R. Denitrification coupled to nitrification in the rhizosphere of rice. **Soil Biol. Biochem**, New York, v. 30, n. 4, p. 509-515, 1998.
- AULAKH, M. S., DORAN, J. W., MOSIER, A. R. Soil denitrification-Significance, measurement, and effects of management. **Advances in Soil Science**, New York, v. 18, p. 1-57, 1992.
- BACON, P. E., HEENAN, D. P., ANGUS, J. F. et al. Yield maximisation in rice. In: **Proceedings...** Yanco, New South Wales: Yanco Agricultural Institute, v. 2, 1994a. 724 p. p. 615-633.
- BACON, P. E., REINKE, R. F., ANGUS, J. F. Crop growth, Soil N-mineralization and uptake in rice fields. In: **Proceedings...** Yanco, New South Wales: Yanco Agricultural Institute, v. 2, 1994b. 724 p. p. 503-513.
- BARLAAN, E. A., SATO, H., ICHI, M. Nitrate reductase activities in rice genotypes in irrigated lowlands. **Crop science**, Madison, v 38, n. 3, p. 728-734, 1998.
- BECKER, M., LADHA, J. K., OTTOW, C. G. Nitrogen losses and lowland rice yield as affected by residue nitrogen release. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 58, n. 6, p. 1660-1665, 1994.

BELTRAME, L. F. S., IOCHPE, B., DA ROSA, S. M. et al. Lixiviação de íons em solo cultivado com arroz irrigado por inundação. **Revista Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 16, p. 203-208, 1992.

BLANCO, P., VIDA, F., ROEL, A. Tolerância a frios de los nuevos cultivares precoces, INIA Yerbál e INIA Tacuari. In: XX Reunião da Cultura de Arroz Irrigado, 1993, Pelotas. **Anais...** Pelotas : EMBRAPA-CPACT-CNPq, 1993, 305 p., p. 77-80.

BLANCO, F., ROEL, A. Riego. In: INIA Uruguay, **Arroz, Resultados Experimentales 1992-1993, Tomo II**. Treinta y Tres : INIA, 1993. Cap. 6, p. 6-1/6-33.

_____. Riego. In: INIA Uruguay, **Arroz, Resultados Experimentales 1994-1995**. Treinta y Tres: INIA, 1995. Cap. 10, p. 10-1/10-23.

BOLLICH, P. K., BUFOGLE, A., LEONARDS, W. J. et al. Rice nutrition studies. In: Annual Research Report, 85, 1993, Louisiana. **Annais...** Louisiana: Louisiana State University Agricultural Center e Louisiana Agricultural Experiment Station, 1993. 583 p. p. 202-222.

BOLLICH, P. K., GROTH, D. E., NORMAN, R. et al. Rice nutrition studies. In: Annual Research Report, 88, 1996, Louisiana. **Annais...** Louisiana: Louisiana State University Agricultural Center e Louisiana Agricultural Experiment Station, 1996. 650 p. p. 184-211.

BOUWMEESTER, R. J. B., VLEK, P. L. G., STUMPE, J. M. Effects of environmental factors on ammonia volatilization from a urea-fertilized soil. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 49, n. 2, p. 376-381, 1985.

BUFOGLE, A., BOLLICH, P. K., NORMAN, R. J. Rice plant growth and nitrogen accumulation in drill-seeded and water-seeded culture. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 61, n. 3, p. 832-839, 1997.

BURCH, J., FOX, R. H. The effect of temperature and initial soil moisture content on the volatilization of ammonia from surface-applied urea, **Soil Science**, Baltimore, v. 147, n. 5, p. 311-318, 1989.

CHEN, D. L., CHALK, P. M., FRENEY, J. R. Nitrogen transformations in a flooded soil in the presence and absence of rice plants: 2. Denitrification. **Nutrient cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 51, p. 269-279, 1998a.

CHEN, D. L., CHALK, P. M., FRENEY, J. R. et al. Nitrogen transformations in a flooded soil in the presence and absence of rice plants: 1. Nitrification. **Nutrient cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 51, p. 259-267, 1998b.

DEAMBROSI, E.; MENDEZ, R. Eficiencia de la aplicación de nitrógeno en el macollaje respecto al manejo del riego. In: INIA Uruguay, **Arroz, Resultados Experimentales 1992-1993, Tomo II**. Treinta y Tres : INIA, 1993. Cap. 5, p. 5-36/5-39.

_____. Eficiencia de aplicación de nitrógeno en cobertura al macollaje con respecto al riego. In: INIA Uruguay, **Arroz, Resultados Experimentales 1994-1995**. Treinta y Tres : INIA, 1995. Cap. 2, p. 2-10/2-13. (Serie actividades de difusión ; v. 62)

DEAMBROSI, E., MÉNDEZ, R., AVILA, S. Eficiencia de aplicación de nitrógeno en cobertura al macollaje com especto al riego. In: INIA Uruguay, **Arroz, Resultados Experimentales 1993-1994, Tomo I**. Treinta y Tres : INIA, 1994a. Cap. 2, p. 2-15/2-20. (Serie actividades de difusión ; v. 25)

_____. Eficiencia de utilización de nitrógeno aplicado en cobertura. In: INIA Uruguay, **Arroz, Resultados Experimentales 1993-1994, Tomo I.** Treinta y Tres : INIA, 1994b. Cap. 2, p. 2-7/2-14. (Serie actividades de difusión ; v. 25)

DE DATTA, S. K. **Principles and practices of rice production**, New York: John Wiley & Sons, 1981. p. 89-145., 618p. Cap 4.

_____. Nitrogen transformations in wetland rice ecosystems. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 42, p. 193-203, 1995.

DIEKMANN, K. H., DE DATTA, S. K., OTTOW, J. C. G. Nitrogen uptake and recovery from urea and green manure in lowland rice measure by N¹⁵ and non-isotope techniques. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 148, n. 1, p. 91-99, 1993.

DIEST, V. A. Volatilización del amoníaco en los suelos anegados, y sus repercusiones en el rendimiento de arroz. **Noticiário de la Comisión Internacional del arroz**, FAO, v. 37, p. 1-6, 1988.

EMBRAPA. **Ambiente de Software NTIA versão 4.2.2.** Manual do usuário, ferramental estatístico. EMBRAPA, 1998.

FAGERIA, N. K., STONE, L. F., SANTOS, A. B. Manejo do nitrogênio na cultura do arroz irrigado, Santo Antônio de Goiás, GO, 1999. In: Reunião da cultura do arroz irrigado e 1º Congresso Brasileiro de arroz irrigado. XXIII. 1999, Pelotas, RS. **Anais...** Pelotas : EMBRAPA Clima temperado, 1999, 727 p., p. 359-261.

FENN, L. B., HOSSNER, L. R. Ammonia volatilization from ammonium or ammonium-forming nitrogen fertilizer. **Advances in Soil Science**, New York, v. 1, p. 123-169, 1985.

- FERGUSON, R. B., KISSEL, D. E. Effects of soil drying on ammonia volatilization from surface-applied urea. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 50, n. 2, p. 485-490, 1986.
- FILLERY, I. R. P., ROGER, P. A., DE DATTA, S. K. Ammonia volatilization from nitrogen sources applied to rice fields: II. Floodwater properties and submerged photosynthetic biomass. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 50, n. 1, p. 86-91, 1986.
- GAUDIN, R., DUPUY, J. Ammoniacal nutrition of transplanted rice fertilized with large urea granules. **Agronomy Journal**, Madison, v. 91, n. 1, p. 33-36, 1999.
- GOULD, W. D., HAGEDORN, D. C., McCREADY. Urea transformations and fertilizer efficiency in soil. **Advances in Agronomy**, New York, v 40, p. 209-238, 1986.
- HEENAN, D. P., BACON, P. E. Effects of timing and placement of urea on aerial-sown semi-dwarf rice in South-east Australia. **Aust. J. Agric. Res.**, Melbourne, v. 40, p. 509-516, 1989.
- HUMPHREYS, E., FRENEY, JR., MUIRHEAD, W. A. et al. Loss of ammonia after applications of urea a different times to dry-seeded, irrigated rice. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 16, p. 47-57, 1988.
- HUMPHREYS, E., MUIRHEAD, W. A., MELHUISH, F. M. et al. Effects of time of urea application on combine-sown Calrose rice in South-east Australia. I. Crop response and N uptake. **Aust. J. Agric. Res.**, Melbourne, v. 38, n. 1, p. 101-112, 1987a.

HUMPHREYS, E., MUIRHEAD, W. A., MELHUISE, F. M. et al. Effects of time of urea application on combine-sown Calrose rice in South-east Australia. II. Mineral nitrogen transformations in the soil-water system. **Aust. J. Agric. Res.**, Melbourne, v. 38, n. 1, p. 113-127, 1987b.

HUMPHREYS, E., CHALK, P. M., MUIRHEAD, W. A. et al. Effects of time of urea application on combine-sown Calrose rice in South-east Australia. III. Fertilizer nitrogen recovery, efficiency of fertilization and soil nitrogen supply. **Aust. J. Agric. Res.**, Melbourne, v. 38, n. 1, p. 129-138, 1987c.

JAYAWEERA, G. R., MIKKELSEN, D. S. Assessment of ammonia volatilization from flooded soil systems. **Advances in Agronomy**, New York, v. 45, p. 303-356, 1991.

JONGKAEWWATTANA, S., GENG, S., BRANDON, M. D. et al. Effect of nitrogen and harvest grain moisture on head rice yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, n. 6, p. 1143-1146, 1993.

KATYAL, J. C., CARTER, M. F., VLEK, P. L. G. Nitrification activity in submerged soils and its relation to denitrification loss. **Biology and fertility of Soils**, Berlin, v. 7, n. 1, p. 16-22, 1988.

KATYAL, J. C., GADALLA, A. M. Fate of urea-N in floodwater. I. Relation with total N loss. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 121, n. 1, p. 21-30, 1990.

KEALEY, L. M., HUMPHREYS, E., BLACK, A. S. et al. Presowing nitrogen fertilizer management for aerial sown rice on puddled soil. In: **Proceedings...** Yanco, New South Wales: Yanco Agricultural Institute, v. 2, 1994. 724 p. p. 553-562.

KEERTHISINGHE, G., MENGEL, K., DE DATTA, S. K. The release of non exchangeable ammonium (N^{15} labelled) in wetland rice soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 48, n. 2, p. 291-294, 1984.

KHIND, C. S., LINDAU, C. W., PATRICK, W. H. Jr. Hydrolysis in oxidized and reduced flooded soil. **International Rice Research Notes**, Manila, v. 13, n. 4, p. 22-23, 1988.

KLAMT, E., KAMPF, N., SCHNEIDER, P. **Solos de Várzea no Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Departamento de Solos, 1985, 41 p. (Boletim Técnico de Solos, 4).

KUNDU, D. K., LADHA, J. K. Effect of growing rice on nitrogen mineralization on flooded soil. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 61, n. 3, p. 839-845, 1997.

LIWANG, M. A., HONGPRAYOON, C., LINDAU, C. W. et al. Transport in flooded soils profiles as affected by water percolation rates and NBPT. **Soil Science**, Baltimore, v. 160, n. 2, p. 101-110, 1995.

LIWANG, M. A., LINDAU, C. W., HONGPRAYOON, C. et al. Modelling urea, ammonium, and nitrate transport and transformations in flooded soil columns. **Soil Science**, Baltimore, v. 164, n. 62, 123-132, 1999.

LOPES, S. I. G., VOLKWEISS, S. J., TEDESCO, M. J. A acumulação de matéria seca e absorção de nutrientes pela cultura de arroz irrigado. **Lavoura arrozeira**, Porto Alegre, v. 46, n. 411, p. 3-6, 1993.

MAE, T. Partitioning and utilization of nitrogen in rice plants. **JARQ**, Tokyo, v. 20, n. 2, p. 115-120, 1986.

_____. Physiological nitrogen efficiency in rice : nitrogen Utilization, photosynthesis, and yield potential. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 196, n. 2, p. 201-210, 1997.

- MARIN, A. R., SANABRIA, M. C. Efecto de la forma de aplicación de urea sobre el rendimiento de arroz. In: **Proyecto Arroz. Campaña 1998-99**. Corrientes: INTA-EEA Corrientes, 1999. 177 p. p. 117-120.
- MENDEZ, R., DEAMBROSI, E. Siembra directa. In: INIA Uruguay, **Arroz, Resultados Experimentales 1993-1994, Tomo I**. Treinta y Tres : INIA, 1994. Cap. 3, p. 3-1/3-17. (Serie actividades de difusión ; v. 25)
- MENGEL, K., SHON, H. G., KEERTHISINGHE, G. et al. Ammonium dynamics of puddled soils in relation to growth and yield of lowland rice. In: DE DATTA, S. K., PATRICK, W. H. Jr. **Nitrogen economy of flooded rice soils**. Dordrecht : Martinus Nijhoff Publishers, 1986. 186 p., p. 117-130.
- MIKKELSEN, D. S. Nitrogen budgets in flooded soils used for rice production. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 100, n. 1-3, p. 71-97, 1987.
- MIKKELSEN, D. S., DE DATTA, S. K., OBCEMEA, W. N. Ammonia volatilization losses from flooded rice soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 42, n. 5, p. 725-730, 1978.
- MONTERO, F. Urea incorporada al suelo en Perú. **Arroz en las Américas**, Cali, v. 14, n. 2, p. 2-3, 1993.
- MORAES, J. F. V., DA SILVA, C. J., CORRÊA, E. Transformações no nitrogênio em dois solos submetidos a inundação. **Pesq. Agropec. Bras. Sér. Agron.**, Brasília, v. 10, p. 25-30, 1975.
- MORAES, J. F. V., 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. **Pesq. Agropec. Bras. Sér. Agron.**, Brasília, v. 9, p. 35-43, 1974.

NANJU, D., DE DATTA, S. K. Effect of time of harvest and nitrogen level on yield and grain breakage in transplanted rice. **Agronomy Journal**, Madison, v. 62, n. 4, p. 468-474, 1970.

NORMAN, R. J., WILSON, C. E. Jr., SLATON, N. A. et al. Grain yield response of new rice cultivars to nitrogen fertilization. In: **Rice Research Studies 1998**. Arkansas: Arkansas Agricultural Experiment Station, 1999. 468 p. p. 257-267.

PATRA, A. K., BURFORD, J. R., REGO, T. J.. Volatilization losses of surface-applied urea nitrogen from vertisols in the indian semi-arid tropics. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 22, n. 4, p. 345-349, 1996.

PATRICK, W. H. Jr., MAHAPATRA, I. C. Transformation and availability to rice of nitrogen and phosphorus in waterlogged soils. **Advances in Agronomy**, New York, v. 20, p. 323-359, 1968.

PATRICK, W. H. Jr., MIKKELSEN, D. S., WELLS, B. R. Plant nutrients behavior in flooded soils. In: **Fertilizer Technology and use**. 3rd. ed. Madison : American Society of Agronomy, 1985, p. 197-228.

PATRICK, W. H. Jr., REDDY, K. R. Fate of fertilizer nitrogen in a flooded rice soil. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 40, n. 5, p. 678-681, 1976.

PATTNAIK, P., MALLICK, K., RAMAKRISHNAM, B. et al. Urease activity and urea hydrolysis in tropical flooded soil unplanted or planted to rice. **Journal of the Science of food and Agriculture**, Chichester, v. 79, p. 227-231, 1999.

PENG, S., CASSMAN, K. G. Upper thresholds of nitrogen uptake rates and associated nitrogen fertilizer efficiencies in irrigated rice. **Agronomy Journal**, Madison, v. 90, n. 2, p. 178-185, 1998.

PEREZ, C. M., JULIANO, B. O., LIBOON, S. P. et al. Effects of late nitrogen fertilizer application on head rice yield, protein content, and grain quality of rice. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 73, n. 5, p. 556-560, 1996.

PONNAMPERUMA, F. N. Electrochemical changes in submerged soils and the growth of rice. In: IRRI. **Soil and rice**. Los Baños: IRRI, 1978. p. 421-441.

REDDY, K. R., PATRICK, W. H. Jr., PHILLIPS, R. E. Ammonium diffusion as a factor in nitrogen loss from flooded soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 40, n. 4, p. 528-533, 1976.

_____. Evaluation of selected processes controlling nitrogen loss in a flooded soil. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 44, n. 6, p. 1241-1246, 1980.

REYNOLDS, C. M., WOLF, D. C. Effects of soil moisture and air relative humidity on ammonia volatilization from surface-applied urea. **Soil Science**, Baltimore, v. 143, n. 2, p. 144-152, 1987.

ROEL, A., BLANCO, F., Riego, I. Retiros de agua y momentos de cosecha en tres cultivares de arroz. In: INIA Uruguay, **Arroz, Resultados Experimentales 1996-1997**. Treinta y Tres : INIA, 1997. Cap. 12, p. 1-23. (Actividades de difusión ; v 135)

SANTOS, F. J., JACQUES, M. **Determinación de las épocas adecuadas para realizar las coberturas nitrogenadas en el cultivo de arroz**. Montevideo : Tesis (Ingeniero Agrónomo). 1999, 167p. Facultad de Agronomía, Universidad de la República.

SAVANT, N. K., DE DATTA, S. K. Nitrogen transformations in wetland rice soils. **Advances in Agronomy**, New York, v. 35, p. 241-302, 1982.

SAVANT, N. K., JAMES, A. F., McCLELLAN, G. H. Effects of soil submergence on urea hydrolysis. **Soil Science**, Baltimore, v. 140, n. 2, p. 81-88, 1985.

SCHNIER, H. F. Significance of timing and method of N fertilizer application for the N-use efficiency in flooded tropical rice. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 42, p. 129-138, 1995.

SHOJI, S., ANDO, H., WADA, G. Fate of nitrogen in paddy fields and nitrogen absorption by rice plants. **JARQ**, Tokyo, v. 20, n. 2, p. 127-134, 1986.

SIMPSON, J. R., FRENEY, J. R., WETSELAAR, R. et al. Transformations and of urea losses of urea nitrogen after applications to flooded rice. **Aust. J. Agric. Res.**, Melbourne, v. 35, n. 2, p. 189-200, 1984.

TANAKA, A. Plant characters related to nitrogen response in rice. In: IRRI, **The mineral nutrition of the rice plant**. Baltimore : IRRI, 1964. p. 419-433.

TEDESCO, J. M., GIANELLO, C., BISSANI, C. A. et al. **Análise de solo, Plantas e outros materiais**. Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995, 174 p.

TISDALE, S. L., NELSON, W. L., BEATON, J. D. **Soil Fertility and Fertilizers**. 4 ed., New York : Macmillan Publishing Company, 1985. 754 p., p. 112-188.

VLEK, P. L., BYRNES, B. H. The efficacy and loss of fertilizer N in lowland rice. **Fertilizer research**, Dordrecht, v. 9, p. 131-147, 1986.

VLEK, P. L. G., CRASWELL, E. T. Ammonia volatilization from flooded soils. **Fertilizer research**, Dordrecht, v. 2, p. 227-245, 1981.

VLEK, P. L. G., STUMPE, J. M. Effects of solution chemistry and environmental conditions on ammonia volatilization losses from aqueous systems. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 42, p. 416-421, 1978.

VLEK, P. L. G., STUMPE, J. M., BYRNES, B. H. Urease activity and inhibition in flooded soil systems. **Fertilizer research**, Dordrecht, v. 1, p. 191-202, 1980.

WATANABE, I., DE DATTA, S. K., ROGER, P. A. Nitrogen cycling in wetland rice soils. In: WILSON, J. R. **Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems**, Brisbane : CAB International, 1988, p. 239-256.

WHITEHEAD, D. C., RAISTRICK, N. The volatilization of ammonia from cattle urine applied to soils as influenced by soil properties. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 148, n. 1, p. 43-51, 1993.

WILSON, C. E., WELLS, B. R., NORMAN, R. J. Fertilizer nitrogen uptake by rice from urea-ammonium nitrate solution vs. granular urea. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 58, n. 6, p. 1825-1828, 1994.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. IRRI. Los Banos, Laguna. p. 135-147. 1981. 269 p.

ZIA, M. S., ASLAM, M., GILL, M. A. Nitrogen management and fertilizer use efficiency for lowland rice in Pakistan. **Soil, Sci. Plant. Nutr.**, Tokyo, v. 38, n. 2, p. 323-330, 1992.

ANEXOS

Anexo 1: Figuras com resultados complementares

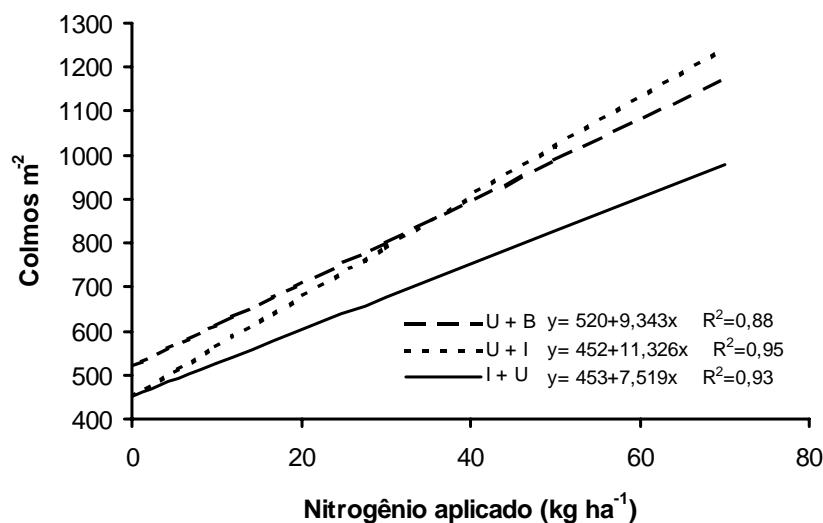


Figura 13: Efeito do método de aplicação e da dose do N aplicado sobre o número de colmos m^{-2} na amostragem 12 dias após o início do perfilhamento nos tratamentos “uréia + banho” (U + B), “uréia + inundação” (U + I) e “inundação + uréia” (I + U). Santa Maria, RS. 2000.

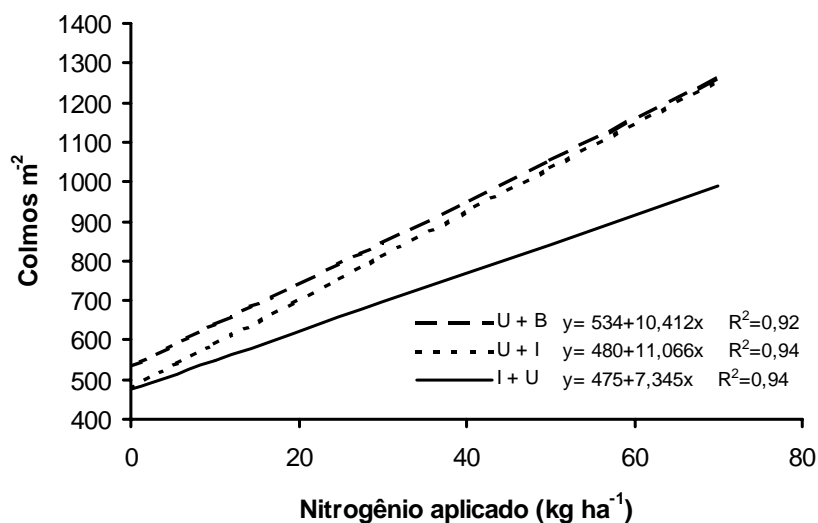


Figura 14: Efeito do método de aplicação e da dose do N aplicado sobre o número de colmos m^{-2} na amostragem 19 dias após o início do perfilhamento nos tratamentos “uréia + banho” (U + B), “uréia + inundação” (U + I) e “inundação + uréia” (I + U). Santa Maria, RS. 2000.

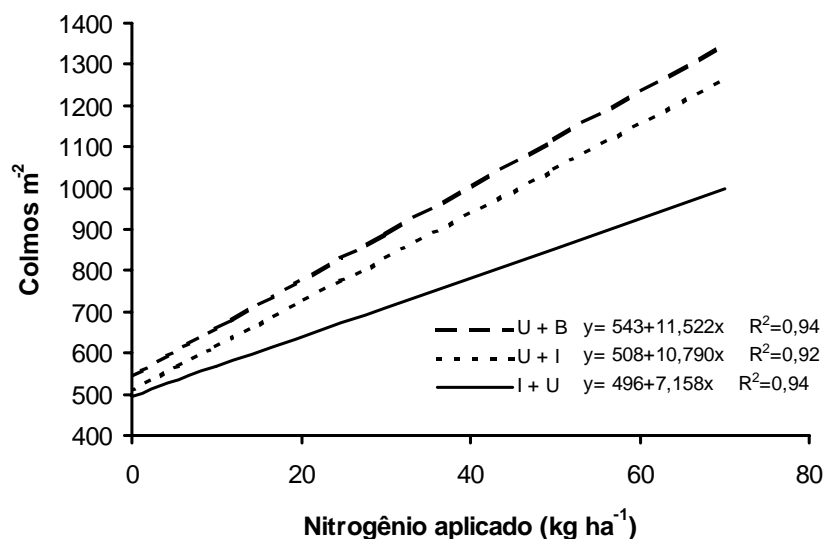


Figura 15: Efeito do método de aplicação e da dose do N aplicado sobre o número de colmos m^{-2} na amostragem no máximo perfilhamento nos tratamentos “uréia + banho” (U + B), “uréia + inundação” (U + I) e “inundação + uréia” (I + U). Santa Maria, RS. 2000.

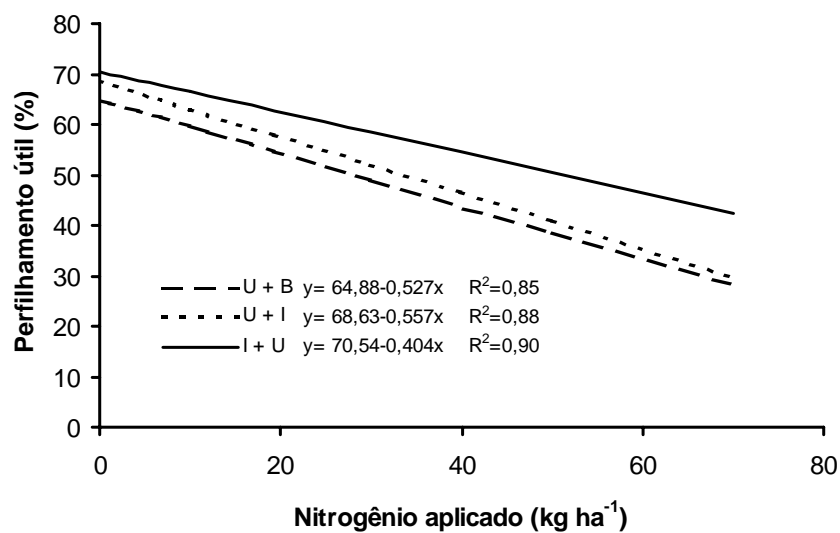


Figura 16: Efeito do N aplicado sobre a porcentagem do perfilhamento útil nos tratamentos “uréia + banho” (U + B), “uréia + inundação” (U + I) e “inundação + uréia” (I + U). Santa Maria, RS. 2000.

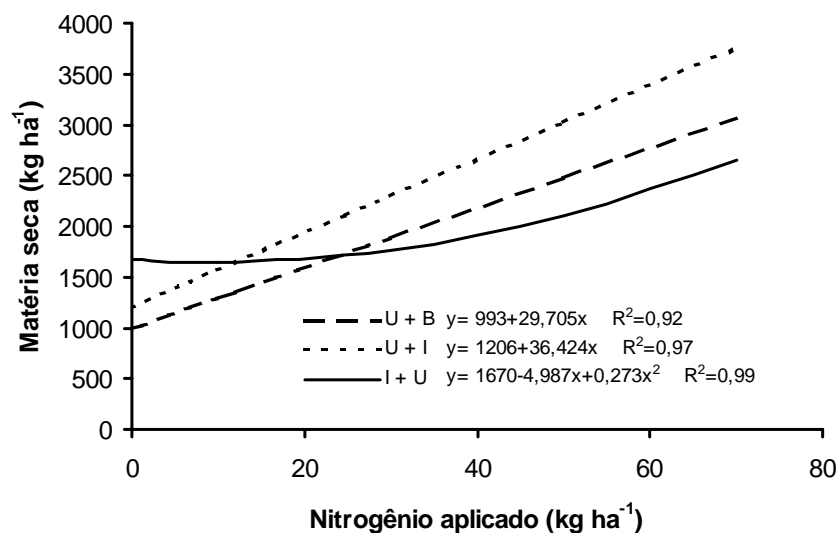


Figura 17: Efeito do método de aplicação e da dose do N aplicado sobre a matéria seca da amostragem no máximo perfilhamento nos tratamentos “uréia + banho” (U + B), “uréia + inundação” (U + I) e “inundação + uréia” (I + U). Santa Maria, RS. 2000.

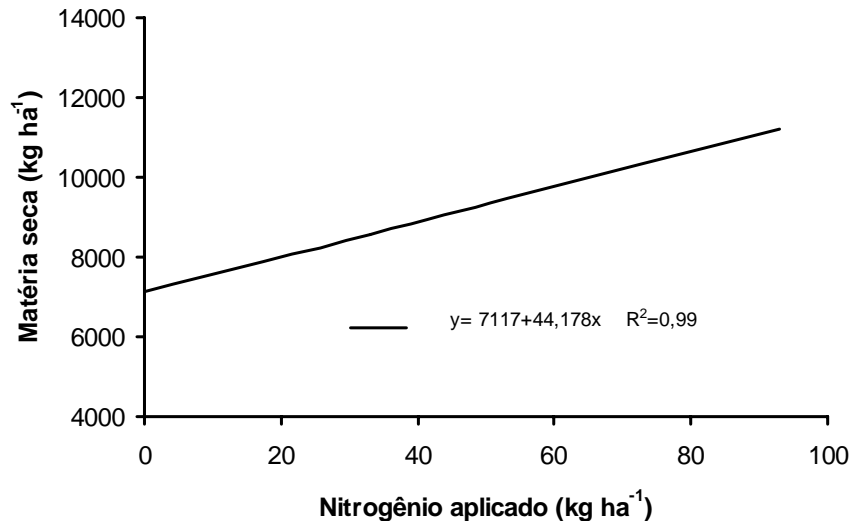


Figura 18: Efeito da dose do N aplicado sobre a matéria seca da amostragem no início da floração. Santa Maria, RS. 2000.

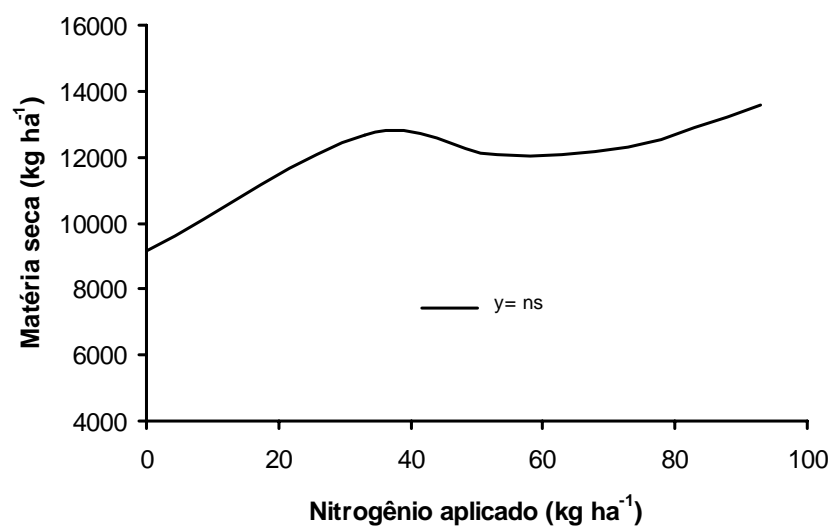


Figura 19: Efeito da dose do N aplicado sobre a matéria seca da amostragem na maturação de colheita. Santa Maria, RS. 2000.

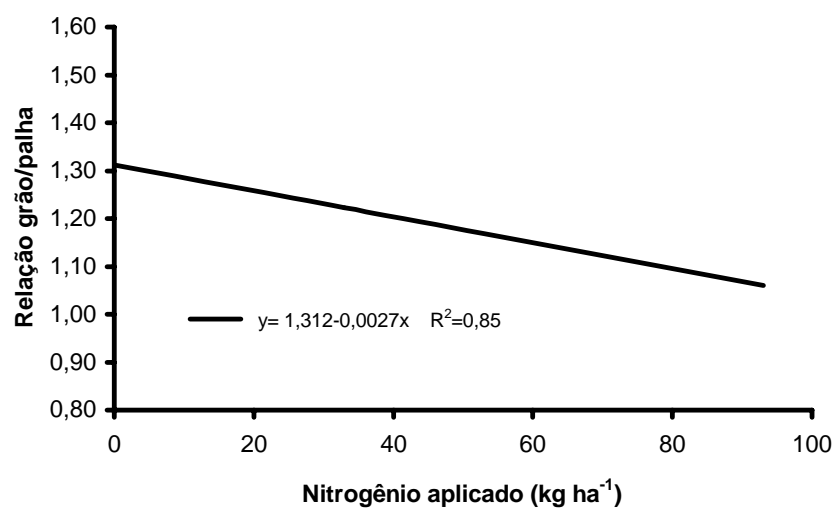


Figura 20: Efeito da dose do N aplicado sobre a relação grão/palha. Santa Maria, RS. 2000.

Anexo 2: Dados meteorológicos do período do experimento

Tabela 13: Dados meteorológicos do período Outubro 1998 – Março 1999.
(Estação Meteorológica do Departamento de Fitotecnia da
Universidade Federal de Santa Maria). Santa Maria, RS. 2000.

Dia	Temperatura média diária (°C)	Temperatura máxima diária (°C)	Temperatura mínima diária (°C)	Precipitação (mm)	Insolação (horas de sol)	Vento (km h ⁻¹)
Outubro						
1	17.5	24.2	11.0	0.0	10.6	3.40
2	18.4	23.6	15.2	0.0	3.9	3.10
3	20.1	25.4	16.7	3.5	3.7	7.17
4	23.8	31.6	15.4	1.8	9.8	3.11
5	18.4	24.4	16.4	30.6	1.4	1.38
6	15.0	21.4	10.4	0.0	9.6	2.43
7	16.7	23.0	11.0	0.0	10.7	4.91
8	18.0	23.8	12.8	0.0	9.0	3.19
9	19.6	25.4	16.0	0.0	6.3	3.85
10	20.9	27.0	16.0	0.0	5.7	3.69
11	21.3	28.0	15.7	0.8	8.8	1.67
12	21.3	27.8	16.5	0.0	9.2	3.40
13	20.4	26.4	16.4	0.0	4.7	4.70
14	20.5	26.0	16.1	0.0	4.1	3.80
15	20.0	23.2	17.5	0.0	0.0	2.26
16	18.4	19.6	17.8	0.6	0.0	1.53
17	19.7	25.4	15.8	2.3	5.6	2.13
18	16.9	24.2	11.7	0.6	11.3	2.40
19	20.0	27.6	11.9	0.0	11.4	3.25
20	22.6	32.4	14.1	0.0	11.5	1.86
21	24.0	32.6	14.8	0.0	11.3	2.07
22	27.1	35.0	16.4	0.0	11.3	5.05
23	20.1	29.2	16.6	0.4	0.0	3.35
24	15.5	21.0	9.5	57.4	6.1	5.84
25	15.1	16.0	14.0	0.0	0.0	3.15
26	18.9	22.4	15.7	18.0	0.0	1.00
27	20.4	27.4	17.4	7.7	5.8	1.27
28	22.9	31.8	14.3	0.8	11.7	1.46
29	20.0	25.6	16.4	0.0	9.0	4.43
30	19.1	25.2	12.0	0.0	10.0	3.50
31	18.8	25.8	12.4	0.0	8.3	3.82
Med/ Total	19.7	25.9	14.6	123.4	210.8	3.17

Dia	Temperatura média diária (°C)	Temperatura máxima diária (°C)	Temperatura mínima diária (°C)	Precipitação (mm)	Insolação (horas de sol)	Vento (km h ⁻¹)
Novembro						
1	17.6	24.0	11.0	0.0	11.9	4.28
2	17.9	25.2	10.7	0.0	10.4	4.90
3	17.3	22.4	14.5	0.0	0.0	1.78
4	20.4	27.8	15.4	1.3	8.1	1.58
5	23.1	30.6	14.7	0.0	11.7	2.02
6	24.3	31.6	16.8	0.0	9.0	4.93
7	22.3	27.8	18.0	12.8	4.2	2.49
8	20.4	25.2	18.2	0.0	1.6	4.41
9	19.6	25.6	14.2	0.0	11.5	6.30
10	18.3	24.0	14.0	0.0	4.2	5.22
11	21.3	27.2	16.7	0.0	8.7	4.70
12	24.6	32.2	15.4	0.0	11.4	2.30
13	26.0	34.0	17.8	0.0	12.1	1.93
14	26.4	34.8	18.8	0.0	11.2	2.16
15	28.1	36.2	22.6	0.0	8.9	1.88
16	23.8	30.4	19.5	0.0	1.0	3.29
17	19.5	23.8	16.6	42.4	0.0	3.39
18	17.3	22.8	13.7	4.5	4.3	2.63
19	19.3	25.2	12.0	0.0	12.1	3.44
20	23.9	28.6	14.0	0.0	12.1	2.08
21	21.8	28.2	16.6	0.0	8.9	3.76
22	22.9	30.4	16.7	0.0	8.2	3.85
23	25.2	32.6	16.8	0.0	11.1	3.80
24	23.6	29.6	20.6	0.0	0.0	2.09
25	22.2	27.4	19.2	38.1	7.8	2.08
26	18.8	25.8	12.4	0.4	12.3	1.63
27	21.4	29.6	11.0	0.0	12.4	2.22
28	23.4	32.0	14.2	0.0	12.3	1.66
29	23.4	31.0	18.8	0.0	7.6	2.01
30	22.9	29.8	16.5	0.0	12.2	2.10
Méd./ Total	21.7	28.5	15.9	99.5	247.2	3.03

Dia	Temperatura média diária (°C)	Temperatura máxima diária (°C)	Temperatura mínima diária (°C)	Precipitação (mm)	Insolação (horas de sol)	Vento (km h ⁻¹)
Dezembro						
1	23.5	31.4	15.7	0.0	12.2	1.77
2	24.8	32.4	15.2	0.0	7.7	1.81
3	22.0	27.6	19.0	5.2	3.7	2.71
4	24.8	31.2	17.1	0.0	11.1	1.92
5	23.7	29.6	19.7	0.0	4.8	4.41
6	21.6	27.4	18.4	0.6	5.8	2.18
7	22.2	29.6	15.2	0.0	12.3	1.98
8	23.6	33.0	14.4	0.0	7.9	1.34
9	22.8	28.2	20.0	0.0	2.6	2.63
10	20.5	23.6	18.8	0.3	0.0	5.29
11	23.7	29.8	19.6	33.2	5.3	1.87
12	25.4	31.6	18.5	0.0	11.6	2.90
13	25.8	33.8	20.4	0.0	8.8	1.90
14	25.0	29.4	22.4	5.6	0.3	2.60
15	24.1	30.6	19.2	0.0	12.0	4.87
16	22.0	27.6	18.0	0.0	0.3	6.42
17	18.2	21.4	15.0	26.4	0.0	2.16
18	18.7	25.6	14.8	0.0	9.5	1.91
19	20.8	28.6	12.0	0.0	11.1	1.37
20	24.0	31.4	14.4	0.0	10.2	2.93
21	21.6	26.4	19.0	8.4	2.6	2.66
22	18.2	24.6	15.8	2.8	7.3	1.67
23	19.0	25.8	10.8	0.0	12.4	2.05
24	22.5	29.8	13.8	0.0	12.5	3.23
25	25.8	32.6	17.8	0.0	12.2	2.63
26	26.3	34.0	19.8	0.0	5.7	1.75
27	27.6	34.6	21.4	22.4	7.5	2.36
28	25.2	32.6	21.4	0.0	0.5	3.54
29	25.3	30.0	22.0	9.4	11.6	3.08
30	22.8	30.0	15.6	0.0	12.4	1.68
31	24.3	32.6	15.2	0.0	9.1	3.04
Méd./ Total	23.1	29.6	17.4	114.3	231.0	2.67

Dia	Temperatura média diária (°C)	Temperatura máxima diária (°C)	Temperatura mínima diária (°C)	Precipitação (mm)	Insolação (horas de sol)	Vento (km h ⁻¹)
Janeiro						
1	21.0	28.0	17.8	0.0	6.8	1.00
2	23.6	33.6	12.4	0.0	12.2	1.61
3	25.4	32.4	18.8	0.0	12.5	2.49
4	24.6	31.3	18.7	0.0	7.5	2.80
5	26.6	30.0	19.8	0.0	9.6	3.89
6	22.3	27.8	17.7	0.0	9.4	3.77
7	23.8	28.0	22.6	0.8	9.2	5.56
8	25.3	31.4	19.4	0.0	9.2	4.55
9	26.3	33.4	19.2	0.0	6.8	2.36
10	25.1	30.0	20.8	0.0	3.7	4.92
11	22.4	25.8	20.4	0.0	0.1	4.70
12	22.7	27.8	20.0	0.0	4.5	5.17
13	23.4	31.0	19.0	0.0	7.0	2.24
14	23.7	29.4	20.1	10.7	4.7	2.55
15	20.3	27.2	15.8	0.0	12.3	1.50
16	21.2	29.8	12.2	0.0	12.3	3.43
17	25.1	33.6	16.7	0.0	12.1	1.81
18	27.4	37.2	22.3	0.0	6.8	2.30
19	25.7	29.6	22.6	3.8	0.1	2.03
20	27.6	33.8	20.2	0.0	9.5	1.42
21	28.8	36.0	23.4	0.0	10.9	2.06
22	26.2	35.2	21.8	0.0	9.8	2.50
23	28.3	37.6	22.6	47.8	10.4	3.23
24	27.4	37.8	22.6	0.0	6.2	1.74
25	27.2	33.8	22.0	6.0	9.7	1.55
26	26.9	33.0	21.7	0.0	9.4	2.55
27	26.7	33.6	21.0	0.0	11.8	3.85
28	22.2	27.0	19.7	15.0	0.0	1.76
29	24.5	30.6	20.5	26.6	8.0	2.83
30	26.0	31.6	21.4	0.0	10.4	3.04
31	26.5	31.0	24.4	0.0	8.6	2.30
Méd./ Total	25.1	31.5	20.6	110.7	251.5	2.82

Dia	Temperatura média diária (°C)	Temperatura máxima diária (°C)	Temperatura mínima diária (°C)	Precipitação (mm)	Insolação (horas de sol)	Vento (km h ⁻¹)
Fevereiro						
1	25.3	32.2	18.9	0.0	12.0	4.32
2	21.2	29.8	15.4	34.6	9.5	2.30
3	24.5	32.6	13.4	0.0	12.1	1.73
4	24.2	27.4	21.7	1.5	0.0	2.24
5	24.5	30.6	20.4	0.3	7.6	3.65
6	25.8	34.4	20.6	0.0	5.6	2.00
7	23.5	29.0	20.1	13.2	0.0	2.80
8	21.0	24.8	17.2	28.8	1.1	2.70
9	21.3	27.4	16.4	0.0	7.0	2.20
10	20.6	28.4	14.2	0.0	10.3	0.98
11	23.1	30.0	15.3	0.0	11.1	2.66
12	22.8	30.0	15.7	0.0	11.8	2.54
13	21.8	24.0	19.2	0.0	0.0	1.78
14	23.3	30.0	16.9	54.5	11.5	0.68
15	23.3	30.2	17.4	0.0	9.8	2.98
16	22.6	24.8	20.4	0.0	0.0	1.43
17	24.1	30.4	19.4	0.7	6.8	1.68
18	24.2	30.0	19.6	0.0	8.2	1.41
19	23.6	30.0	18.6	0.0	8.5	2.79
20	24.2	31.0	18.7	0.0	7.7	1.79
21	24.9	30.4	20.3	0.0	8.6	4.13
22	25.0	30.2	21.4	0.0	10.2	3.37
23	24.6	30.0	20.4	0.0	1.8	1.52
24	23.8	32.6	21.2	0.0	6.9	2.40
25	24.2	30.6	20.2	8.3	8.2	2.44
26	24.9	30.4	20.2	0.0	8.2	2.46
27	24.8	30.4	20.8	0.0	7.3	1.64
28	24.5	31.0	20.0	0.0	7.6	0.79
Méd./ Total	23.7	29.9	18.8	141.9	199.4	2.26

Dia	Temperatura média diária (°C)	Temperatura máxima diária (°C)	Temperatura mínima diária (°C)	Precipitação (mm)	Insolação (horas de sol)	Vento (km h ⁻¹)
Março						
1	26.5	35.0	18.8	0.0	11.1	1.58
2	27.2	35.4	22.6	0.0	5.6	1.34
3	24.4	31.6	22.0	7.9	4.8	3.31
4	26.0	32.4	21.4	4.9	8.8	2.36
5	26.3	32.6	22.5	0.0	9.4	3.25
6	26.0	32.4	21.0	0.0	9.4	2.98
7	27.3	35.0	21.5	0.0	10.3	2.79
8	27.7	34.4	23.8	0.0	10.2	2.15
9	27.3	35.2	22.4	0.0	7.1	1.58
10	26.3	31.6	22.0	0.0	8.3	2.41
11	23.0	27.8	20.4	1.0	10.0	3.14
12	21.9	27.8	16.2	0.0	10.1	3.76
13	22.4	28.6	16.6	0.0	7.5	3.52
14	23.8	32.2	16.8	0.0	8.6	2.47
15	25.0	32.0	18.2	0.0	9.2	1.72
16	25.6	32.6	19.2	0.0	10.6	1.87
17	25.3	35.0	20.1	0.0	8.1	1.61
18	25.8	33.8	21.0	38.4	7.8	1.53
19	25.3	34.0	20.6	0.0	5.6	1.40
20	23.9	28.8	22.0	2.0	0.6	2.25
21	23.6	27.4	21.2	0.0	0.2	3.28
22	24.1	29.2	21.0	0.0	7.4	3.81
23	25.6	33.0	20.5	0.0	9.4	1.66
24	26.0	33.6	20.4	0.0	8.9	0.40
25	25.2	33.8	20.8	0.0	6.8	3.03
26	24.4	30.2	19.2	0.0	6.6	2.83
27	23.8	28.8	20.4	0.0	4.8	2.13
28	24.5	35.6	20.0	0.0	2.3	2.81
29	19.4	22.2	18.6	27.7	0.0	1.71
30	18.4	26.0	13.4	0.5	10.4	1.76
31	19.6	25.6	14.5	0.0	7.8	1.53
Méd./ Total	24.6	31.5	20.0	82.4	227.7	2.32

Tabela 14: Valores normais (1961-1990) dos principais elementos climáticos em Santa Maria, RS. 2000.

Mês	Temperatura média (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Precipitação (mm)	Insolação (horas de sol)
Janeiro	24.6	30.4	19.1	145.1	225.2
Fevereiro	24.0	30.0	19.5	130.2	196.7
Março	22.2	28.2	17.9	151.7	197.5
Abril	18.8	25.0	14.5	134.7	168.7
Maio	16.0	22.1	11.8	129.1	151.3
Junho	12.9	19.2	9.3	144.0	125.0
Julho	13.5	19.6	9.5	148.6	133.1
Agosto	14.6	20.3	10.4	137.4	141.4
Setembro	16.2	21.9	11.3	153.6	160.7
Outubro	18.8	24.8	13.5	145.9	206.8
Novembro	21.4	27.3	15.9	132.2	223.3
Dezembro	22.7	29.5	18.3	133.5	244.7

Fonte: Estação Meteorológica do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

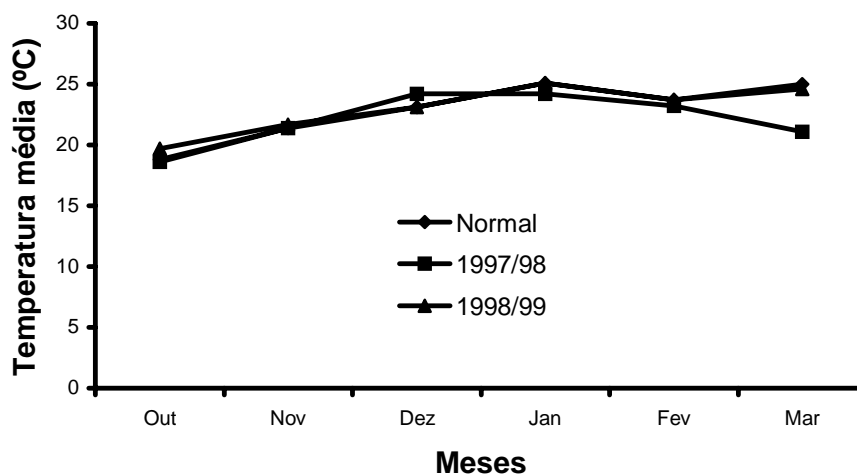


Figura 21: Temperatura média mensal no período do experimento comparada com a média normal e a do ano anterior. Santa Maria, RS. 2000.

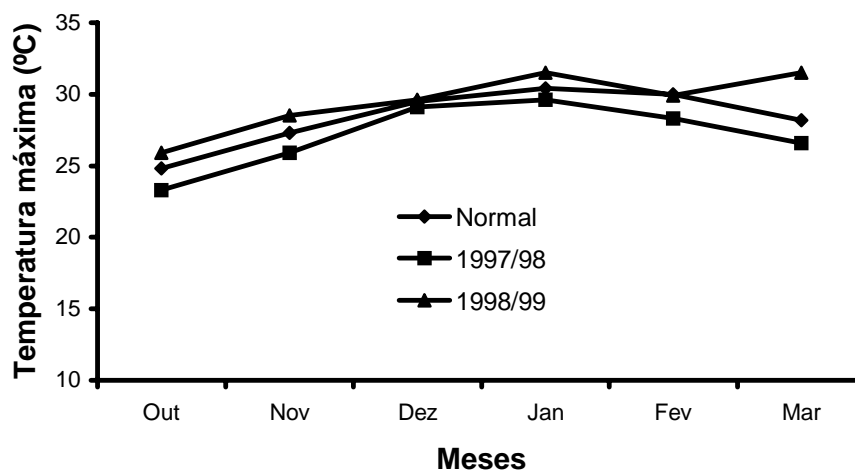


Figura 22: Temperatura máxima mensal no período do experimento comparada com a máxima normal e a do ano anterior. Santa Maria, RS. 2000.

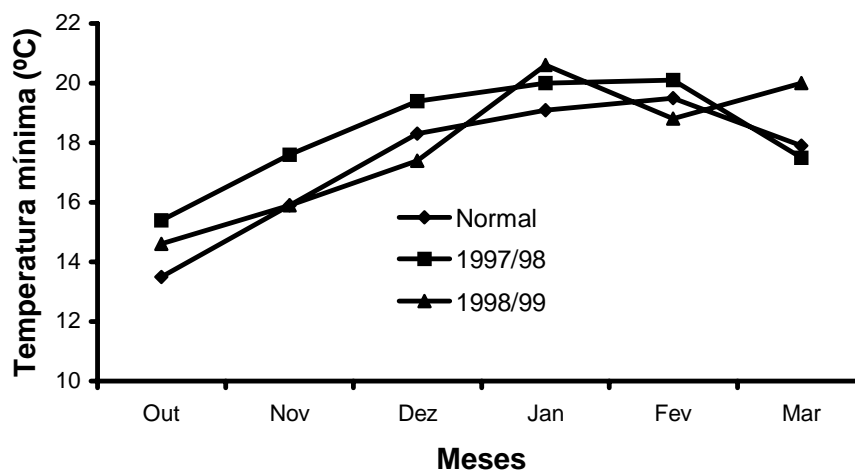


Figura 23: Temperatura mínima mensal no período do experimento comparada com a mínima normal e a do ano anterior. Santa Maria, RS. 2000.

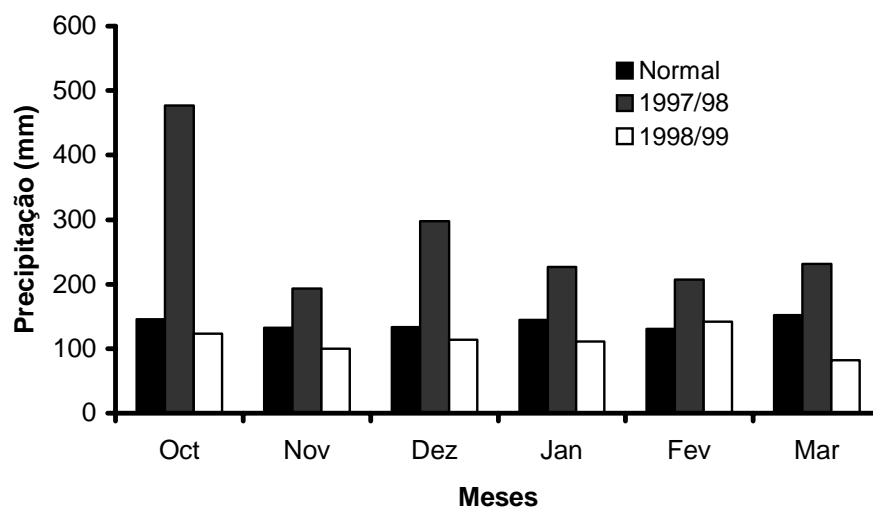


Figura 24: Precipitação mensal no período do experimento comparada com a precipitação normal e a do ano anterior. Santa Maria, RS. 2000.

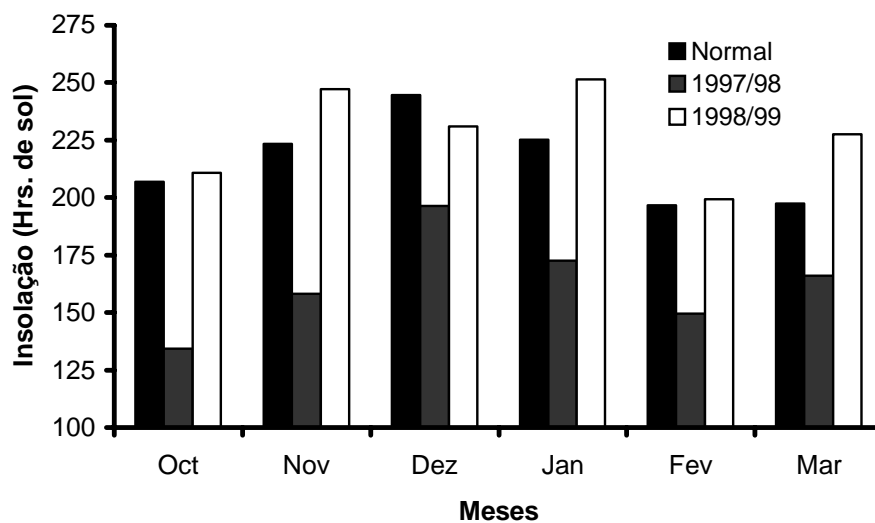


Figura 25: Insolação mensal no período do experimento comparada com insolação normal e a do ano anterior. Santa Maria, RS. 2000.