

ALLAN DIEGO FISTAROL

**ESTRATÉGIAS DE MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA
DE COBERTURA PARA AUMENTAR A EFICIÊNCIA DE USO
DO NITROGÊNIO NO ARROZ IRRIGADO NO SISTEMA PRÉ-
GERMINADO**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em Produção Vegetal, do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Luis Sangoi

Co-orientador: Ronaldir Knoblauch

**LAGES – SC
2016**

Fistarol, Allan Diego

Estratégias de manejo da adubação nitrogenada de cobertura para aumentar a eficiência de uso do nitrogênio no arroz irrigado no sistema pré-germinado. / Allan Diego Fistarol. Lages - 2016. 101 p.

Orientador: Luis Sangoi

Co-orientador: Ronaldir Knoblauch

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Lages, 2016.

1. Oryza sativa. 2. Fertilizantes nitrogenados. 3. Liberação gradual. 4. Ureia. I. Sangoi, Luis. II. Knoblauch, Ronaldir. III. Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal. IV. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo aluno.

ALLAN DIEGO FISTAROL

**ESTRATÉGIAS DE MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA
DE COBERTURA PARA AUMENTAR A EFICIÊNCIA DE USO
DO NITROGÊNIO NO ARROZ IRRIGADO NO SISTEMA PRÉ-
GERMINADO.**

Dissertação de Mestrado do curso de Produção Vegetal/ Centro de Ciências Agroveterinárias/ Universidade do Estado de Santa Catarina/ Grau de Mestre em Produção Vegetal, Área de Concentração de Respostas fisiológicas de plantas a sistemas de manejo e de nutrição.

BANCA EXAMINADORA:

Orientador: _____

Prof. Ph.D. Luis Sangoi
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro: _____

Prof. Ph.D. Paulo Roberto Ernani
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro externo: _____

Prof. Ph.D. Paulo Regis Ferreira da Silva
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Lages – SC, 18/02/2016

*Aos meus avós, ao meu irmão,
A meu pai e minha mãe,
Pelo amor, apoio e amizade...
Ofereço e dedico.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pelo dom da vida, pelas bênçãos a mim ofertadas, pela saúde, por estar sempre próximo, protegendo e iluminando meu caminho.

Aos meus avós, José e Hilda, aos meus pais Vanderlei e Tânia e a meu irmão Thiago, por todo o amor, carinho, confiança e apoio indispensáveis. Muito obrigado pelas lições valiosas.

A todos os meus familiares que sempre me apoiaram.

Ao meu orientador e “pai” científico, professor Luis Sangoi, pela oportunidade de participar de seu grupo de pesquisa, pela orientação e pelos valiosos ensinamentos, como comprometimento e dedicação. Obrigado.

Ao meu segundo orientador e amigo, doutor Ronaldir Knoblauch, pelos ensinamentos, pela dedicação, pelo apoio e orientação, os quais foram indispensáveis em minha trajetória. Muito obrigado.

Aos irmãos do grupo “Zea mays/Oryza sativa”, pelo respeito, amizade e auxílio na realização dos trabalhos desenvolvidos a campo.

À UDESC, pelo ensino público e de qualidade e pela concessão da bolsa via Capes. Ao Centro de Ciências Agroveterinárias pela qualidade da educação oferecida e pela excelente estrutura.

Enfim, gostaria de agradecer a todos que fizeram parte dessa caminhada e que contribuíram de alguma forma.

Muito obrigado

RESUMO

FISTAROL, Allan Diego. **Estratégias de manejo da adubação nitrogenada de cobertura para aumentar a eficiência de uso do nitrogênio no arroz irrigado no sistema pré-germinado.** 2016. 101 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal – Área: Respostas fisiológicas de plantas a sistemas de manejo e nutrição. - Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Lages, 2016.

O nitrogênio (N) é o nutriente absorvido em maior quantidade pelo arroz e o que mais interfere no rendimento de grãos. Este trabalho teve por objetivo comparar duas fontes de N: ureia (fonte convencional) e Azal 5® (fonte de liberação lenta de nitrogênio) em duas doses e modos de aplicação sobre a recuperação do N pelas plantas e desempenho agrônômico do arroz irrigado. O projeto foi dividido em dois experimentos. O primeiro foi desenvolvido em casa de vegetação, na Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, em Lages, de outubro de 2014 a janeiro de 2015. O segundo foi implantado a campo, durante o ano agrícola de 2014/2015, na Estação Experimental da Epagri em Itajaí. Os tratamentos foram dispostos num fatorial 2 x 2 x 2. No experimento de casa de vegetação foram testadas duas fontes de N: ureia e Azal 5® (fertilizante de liberação gradual de N no solo). Cada fonte foi aplicada em duas doses: 100 e 200 mg de N kg⁻¹ de solo que equivalem a 200 e 400 kg de N ha⁻¹; e com duas formas de aplicação: na lama e sobre lâmina de água. As coberturas nitrogenadas foram feitas aos 30 e 70 dias após a semeadura do arroz, que correspondem aos estádios fenológicos de V4 e R0 respectivamente. Foram utilizados dois conjuntos de vasos (com plantas e sem plantas) com três repetições. Foram

coletadas amostras de solo para avaliação do teor de amônio em intervalos de sete dias, num período de 98 dias, que finalizou no estágio de emborrachamento da cultura. Aos 98 dias após a semeadura, as plantas foram cortadas rente ao solo. Posteriormente foram determinadas a massa seca total de parte aérea e de raiz. No experimento de campo foram avaliados os mesmos tratamentos do trabalho em casa de vegetação, apenas alterando as doses dos fertilizantes nitrogenados para 60 e 90 kg de N ha⁻¹. Neste experimento foram determinados o rendimento de grãos, seus componentes e a eficiência de uso do nitrogênio. Os resultados obtidos nos dois experimentos foram submetidos à análise de variância através do teste F, ao nível de significância de 5%. Quando detectadas diferenças entre tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. As fontes, doses e formas de aplicação de nitrogênio mineral não interferiram significativamente sobre as características agrônomicas do arroz irrigado cultivado em casa de vegetação. Não houve diferenças consistentes entre as duas fontes de nitrogênio quanto à concentração de amônio presente no solo nos vasos com plantas e sem plantas ao longo do período de 100 dias de avaliação. No experimento de campo, as doses, formas e fontes de nitrogênio aplicadas em cobertura não interferiram no rendimento de grãos, nos componentes do rendimento e na eficiência de uso do nitrogênio do arroz irrigado. A utilização da fonte de nitrogênio de liberação lenta Azal 5® não foi uma estratégia de manejo vantajosa, em relação à ureia, para aumentar o rendimento de grãos e a eficiência de uso do nitrogênio do arroz irrigado cultivado no sistema pré-germinado, independentemente da dose e do modo de aplicação do fertilizante nitrogenado.

Palavras-chave: *Oryza sativa*. Fertilizantes nitrogenados. Liberação gradual. Ureia.

ABSTRACT

FISTAROL, Allan Diego. **Management strategies of N side-dress to increase the efficiency of nitrogen use of paddy rice on the water-seeded system.** 2016. 101 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal – Área: Respostas fisiológicas de plantas a sistemas de manejo e nutrição. - Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Lages, 2016.

Nitrogen is the nutrient taken up in highest amounts by rice and also the one that affects the most its grain yield. This work was carried out aiming to evaluate the effects of sources, rates and application methods of nitrogen fertilizers on the N recovery by plants and the agronomic performance of paddy rice. The project was divided in two experiments. The first trial was set in a green house at Santa Catarina State University, in the city of Lages, from October 2014 to January 2015. The second experiment was carried out in the field, during the growing season of 2014/2015, at the Experimental Station of Epagri, in the city of Itajai, SC. Treatments were disposed in a 2 x 2 x 2 factorial design in both experiments. Two nitrogen sources were tested in the green house experiment: urea and Azal 5® (gradual nitrogen release fertilizer). Each source was side-dressed with two rates: 100 e 200 mg of N kg⁻¹ of soil and with two application methods: in the wet soil and over the irrigation water layer. Nitrogen was side-dressed at 30 and 70 days after rice sowing. Two sets of buckets (with and without plants) were tested. At both sets, soil samples were weekly collected for a period of 98 days to evaluate ammonium content. Plants were harvested 98 days after sowing to determine shoot and root dry mass. The same treatments were evaluated in the field experiment, just changing nitrogen rates for 60 kg and 90 kg of

N ha⁻¹. Grain yield, yield components and nitrogen efficiency use were determined on this experiment. The results of both experiments were assessed by Variance Analysis, using the F test at the 5% significance level. When F values were significant, averages were compared by the Tukey's test. Nitrogen sources, rates and application methods did not interfere on the morphological traits of rice plants grown in the green house. There were no consistent differences between the two nitrogen sources regarding to the soil ammonium content in buckets with and without plants, over a period of 100 days. In the field experiment, nitrogen rates, application methods and sources did not affect grain yield, yield components and nitrogen efficiency use. The utilization of the gradual N release source Azal 5® was not an advantageous management strategy, in comparison to urea, to improve grain yield and nitrogen efficiency use of paddy rice grown in the water-seeded system, regardless of rate and application method of nitrogen fertilizer.

Key words: *Oryza sativa*. Nitrogen Fertilizer. Slow release. Urea.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- IMAGEM 1. Distribuição dos vasos com e sem plantas. Lages, SC, 2014/2015.....49
- IMAGEM 2. Aplicação de Azal 5® (esquerda) e ureia (direita) sobre a lama. Lages, SC, 2014/2015..... 50
- IMAGEM 3. Coleta da amostra de solo com poa de ferro. Lages, SC, 2014/2015..... 50
- IMAGEM 4. A) Amostras destiladas, com concentrações de amônio (esquerda) e nitrato (direita); B) Ponto de viragem após a titulação. Lages, SC.....51
- IMAGEM 5. Doença do Falso-carvão na cultura do arroz irrigado, ocasionado pelo fungo *Ustilaginoidea virens*. Itajaí, SC, 2014/2015..... 83
- GRÁFICO 1. Concentração de amônio (N-NH₄) dos vasos sem plantas, comparando ureia e Azal 5® aplicados na lama e em lâmina de água, na dose de 100 mg N kg⁻¹ solo. Lages, SC.....60
- GRÁFICO 2. Concentração de amônio (N-NH₄) dos vasos sem plantas, comparando ureia e Azal 5® aplicados na lama e em lâmina de água, na dose de 200 mg N kg⁻¹ solo. Lages, SC.....61

| | |
|--|----|
| GRÁFICO 3. Concentração de amônio (N-NH ₄) dos vasos com plantas, comparando ureia e Azal 5® aplicados na lama e em lâmina de água, na dose de 100 mg N kg ⁻¹ solo. Lages, SC..... | 64 |
| GRÁFICO 4. Concentração de amônio (N-NH ₄) dos vasos com plantas, comparando ureia e Azal 5® aplicados na lama e em lâmina de água, na dose de 200 mg N kg ⁻¹ solo. Lages, SC, 2014/15..... | 67 |
| GRÁFICO 5: Precipitação (mm) no município de Itajaí, SC, 2014/15..... | 78 |
| GRÁFICO 6: Efeito da radiação solar nas diferentes fases de crescimento do arroz, sobre sua produtividade Los Banos, (YOSHIDA & PARAO, 1976)..... | 80 |

LISTA DE TABELAS

- TABELA 1. Massa seca de parte aérea, massa seca de raízes e área foliar do arroz em função de fontes, doses e modos de aplicação do nitrogênio em cobertura. Lages, 2014/2015.....56
- TABELA 2. Altura de plantas, número de perfilhos e teor de clorofila da última folha expandida do arroz em função de fontes, doses e modos de aplicação do nitrogênio em cobertura. Lages, 2014/2015.....57
- TABELA 3. Valores de concentração do N-NH₄ (mg/kg) mensurados em cada amostragem nos vasos sem plantas ao longo dos 100 dias de análises. Lages, SC, 2014/2015.....52
- TABELA 4. Somatório da concentração de N-NH₄ (mg/kg), acumulado no período de 100 dias em vasos sem plantas. Lages, SC, 2014/2015.....64
- TABELA 5. Valores de concentração do N-NH₄ (mg/kg) mensurados em cada amostragem em vasos com plantas ao longo dos 100 dias de análises. Lages, SC, 2014/2015.....70
- TABELA 6. Somatório da concentração de N-NH₄ (mg/kg), acumulado no período de 100 dias nos vasos com plantas. Lages, SC, 2014/2015.....72

TABELA 7: Efeito de fontes, modos de aplicação e doses de nitrogênio em cobertura sobre os componentes do rendimento do arroz irrigado. Itajaí, SC, 2014/15.....74

TABELA 8: Efeito de fontes, modos de aplicação e doses de nitrogênio em cobertura sobre a massa seca de parte área, o rendimento de grãos, eficiência de uso do N e teor de N no grão. Itajaí, SC, 2014/15.....75

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. ESTRATÉGIAS DE MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA DE COBERTURA PARA AUMENTAR A EFICIÊNCIA DE USO DO NITROGÊNIO NO ARROZ IRRIGADO..... | 29 |
| 1.1 INTRODUÇÃO..... | 29 |
| 1.2 REFERENCIAL TEÓRICO..... | 32 |
| 1.2.1 Cultura do Arroz..... | 32 |
| 1.2.2 Nitrogenio | 34 |
| 1.2.3 Ureia..... | 37 |
| 1.2.4 Fertilizantes de Liberação Lenta ou Gradual ao Solo..... | 42 |
| 1.2.5 Manejo do Nitrogênio e da Água..... | 45 |
| 1.3 MATERIAL E MÉTODOS..... | 47 |
| 1.3.1 Experimento 1..... | 48 |
| 1.3.2 Experimento 2..... | 53 |
| 1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 55 |
| 1.4.1 Experimento 1.. | 55 |
| 1.4.1.1 Características agronômicas da cultura..... | 55 |
| 1.4.1.2 Concentrações de $N-NO_3^-$ nos Vasos..... | 56 |
| 1.4.1.3 Concentrações de $N-NH_4$ em Vasos sem Plantas..... | 59 |

| | |
|--|-----------|
| 1.4.1.4 Concentrações de N-NH ₄ em Vasos com Plantas..... | 66 |
| 1.4.2 Experimento 2. | 72 |
| 1.5 CONCLUSÃO..... | 83 |
| 1.5.1 Experimento 1..... | 83 |
| 1.5.2 Experimento 2..... | 84 |
| 1.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 84 |
| 2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 85 |
| 3 ANEXOS..... | 97 |

1. ESTRATÉGIAS DE MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA DE COBERTURA PARA AUMENTAR A EFICIÊNCIA DE USO DO NITROGÊNIO NO ARROZ IRRIGADO

1.1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos alimentos de maior importância na nutrição humana, constituindo a base alimentar de mais de três bilhões de pessoas. Além disso, é o segundo cereal mais cultivado no mundo. Por ser o arroz irrigado uma cultura de extrema importância, a nutrição mineral busca formas mais eficientes de melhorar a produtividade da cultura, a fim de garantir maior produção para atender a demanda advinda do aumento da população.

A população mundial cresceu rapidamente desde o início do século XX. Estima-se que em 2050 haverá aproximadamente 10 bilhões de pessoas no globo terrestre. Com isso, há necessidade de aumentar a produção de alimentos para suprir a necessidade nutricional deste grande número de pessoas. O arroz constitui a base alimentar para cerca de 40% da população mundial, sendo que o consumo anual mundial dos principais elementos minerais utilizados em fertilizantes (nitrogênio, fósforo e potássio) aumentou de 30 milhões de toneladas em 1960 para 143 milhões de toneladas em 1990. A partir desta data, o consumo permaneceu relativamente constante, pois os fertilizantes foram usados de forma mais criteriosa na tentativa de equilibrar os custos crescentes de produção.

As pesquisas na área de nutrição mineral são fundamentais tanto para a agricultura moderna quanto para proteção ambiental. A obtenção de altas produtividades agrícolas depende da fertilização adequada com nutrientes minerais. Além disso, a produtividade da maioria das culturas aumenta proporcionalmente à quantidade de fertilizantes que elas absorvem

Em Santa Catarina, mais de 80% da área de arroz irrigado é cultivada no sistema pré-germinado. Em decorrência do alto uso de água e da localização das lavouras nas proximidades de rios e ribeirões, o cultivo do arroz tem sido motivo de preocupação quanto ao seu potencial de contaminação dos mananciais de água. Os fertilizantes não se enquadram na categoria de agrotóxicos. Entretanto, o seu uso indevido pode trazer efeitos prejudiciais ao arroz e ao ambiente, especialmente na contaminação dos mananciais hídricos. Os maiores riscos dizem respeito à adubação nitrogenada e fosfatada. Como resultado da dinâmica dos solos alagados, ocorre a emissão de óxido nitroso (N_2O) e metano (CH_4), gases que provocam o efeito estufa. A crescente pressão da sociedade tem sugerido que o agricultor utilize menor quantidade de agroquímicos e cultive arroz de forma a causar um menor impacto ambiental.

O nitrogênio (N) é o nutriente requerido em maior quantidade pelo arroz irrigado. No entanto, a dinâmica do N no solo é complexa devido à multiplicidade de formas químicas e das reações e processos aos quais ele está sujeito. Nos solos alagados, essas transformações são ainda mais complexas, em função da existência de uma lâmina de água sobre o solo e de

uma camada oxidada em torno das raízes do arroz. Essas características refletem diretamente na sua recuperação do N pelas plantas.

A ureia é o principal fertilizante utilizado no arroz devido ao seu menor custo por unidade de N. Contudo, o seu aproveitamento na recuperação pelas plantas raramente ultrapassa 50%. Quando aplicada ao solo, a ureia apresenta uma reação inicial alcalina que favorece o aumento da formação do amônia no solo causando perdas de N por volatilização. Isto ocorre com maior intensidade quando o fertilizante é aplicado sobre a lâmina de água. (KNOBLAUCH et al, 2011).

Nos solos alagados, são poucas as alternativas de adubação verde e/ou orgânica. Considerando que o N é nutriente mais importante para a cultura do arroz, a diversificação de fontes alternativas de N para a cultura ainda é um desafio para a pesquisa, já que as alternativas que se apresentam até o momento tem sido pouco eficazes. Como alternativa de manejo, foram desenvolvidos fertilizantes que inibem a degradação enzimática da ureia por um período pré-determinado, os quais reduzem as perdas de amônia, podendo aumentar a eficiência de utilização do N e melhorar a produtividade das culturas.

A baixa eficiência de uso do nitrogênio contido na ureia torna premente a realização de trabalhos de pesquisa para identificar novas tecnologias em produtos e formas de aplicação do fertilizante nitrogenado para melhorar os índices de aproveitamento do N aplicado nas lavouras de arroz irrigado.

Por ser o N o nutriente mais importante para o arroz irrigado, a diversificação de fontes alternativas ou novas tecnologias de fertilização nitrogenada para cultura do arroz é fundamental importância. Uma alternativa que pode ser utilizada pelos rizicultores é utilização de fertilizantes nitrogenados de liberação gradual no solo. Estes fertilizantes podem melhorar o aproveitamento do N, evitando perdas excessivas de nitrogênio, gerando ganhos significativos de produtividade nas lavouras com menores quantidades de adubo. A redução na dose, além de diminuir o custo de produção, pode mitigar o potencial poluidor das áreas cultivadas com arroz.

Portanto, um amplo entendimento da dinâmica do N em solos alagados, especialmente a partir da aplicação de ureia e das novas tecnologias de adubação nitrogenada, é de fundamental importância para a racionalização no uso fertilizantes nitrogenados no arroz irrigado

1.2 REFERENCIAL TEÓRICO

1.2.1 Cultura do Arroz

O arroz (*Oryza sativa* L.) faz parte dos hábitos alimentares de mais de três bilhões de pessoas no mundo. Ele é cultivado em vários países, incluindo-se na agricultura como o segundo cereal mais produzido mundialmente e a cultura mais importante para a segurança alimentar (NEVES, 2010). É considerado o alimento básico para mais da metade da população mundial, tendo aproximadamente 90% da sua produção concentrados na Ásia. O Brasil é o principal

produtor mundial de arroz do mundo ocidental, seguido pelos Estados Unidos. Além de grande produtor, o Brasil também possui destaque como consumidor e exportador de arroz (CRUZ et al., 2013). O arroz é cultivado em todo território brasileiro e ocupa posição de destaque do ponto de vista sócio-econômico, sendo o terceiro grão mais produzido no país. É a cultura com maior potencial de aumento de produção, além de suprir 20% das calorias consumidas na alimentação humana (SOSBAI, 2014).

O estado de Santa Catarina obteve contínuo acréscimo em produção e produtividade até meados da década passada. No entanto, a produtividade catarinense de arroz se estabilizou a partir de 2005. Santa Catarina apresenta aproximadamente 150 mil hectares ocupados de lavouras de arroz, sendo que esta área fica localizada em 11 mil propriedades, abrangendo 83 municípios (EBERHARDT & SCHIOCCHET, 2011).

O rendimento obtido pelas lavouras de arroz irrigado no sul do Brasil é similar ao de países tradicionais no cultivo desse cereal, como China e Indonésia, mas fica abaixo do desempenho obtido nos EUA, na Austrália e no Japão (SOSBAI, 2014). A produtividade média obtida em Santa Catarina é de 7.150 kg ha⁻¹ (CONAB, 2015). Considerando-se apenas o Alto Vale do Itajaí, a produtividade é de 8,0 t ha⁻¹ (MARSCHALEK et al., 2013), estando entre as maiores do Brasil. Alguns produtores alcançam produtividade de até 14,0 t ha⁻¹ em apenas um cultivo. O cultivo da soca é realizado em aproximadamente 26.000 ha nas regiões do Litoral Norte e Baixo Vale do Itajaí, apresentando produtividade média de 1,6 t ha⁻¹ (EBERHARDT & SCHIOCCHET, 2011).

No Brasil, o Rio Grande do Sul é o maior produtor de arroz irrigado, com aproximadamente 60% da produção nacional. Na safra 2013/2014, o Rio Grande do Sul apresentou produtividade média de 7.243 kg ha⁻¹, enquanto Santa Catarina obteve produtividade média de 7.338 kg ha⁻¹ (SOSBAI, 2014). Existem diferenças significativas entre os tetos produtivos da cultura do arroz irrigado, que em áreas experimentais chega a 12 t ha⁻¹, entre áreas de lavoura que raramente chegam a 9 t ha⁻¹ de rendimento. Um dos fatores responsáveis por esta diferença é a baixa eficiência da adubação nitrogenada e de assimilação deste nutriente.

1.2.2 Nitrogênio

Além do manejo fitossanitário e do melhoramento genético, a adubação nitrogenada é outro fator importante para obtenção de altos rendimentos na cultura do arroz irrigado.

O N desempenha importante papel estrutural no metabolismo vegetal, constituindo muitos componentes da célula, como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas e pigmentos (TAIZ & ZEIGER, 2013).

O N estimula o crescimento vegetativo. Além disso, por estar ligado à formação de aminoácidos, a disponibilidade do nutriente eleva o teor de proteína nos grãos. A deficiência de N se manifesta principalmente pelo reduzido desenvolvimento vegetativo, causando clorose nas folhas. (JORGE, 1983). No arroz, o N tem papel fundamental na formação da panícula e dos grãos (BARBOSA FILHO, 1987). Ele também estimula o crescimento do sistema radicular da planta. Conseqüentemente,

favorece o perfilhamento, aumenta o número de espiguetas por panícula e a massa de grãos (FORNASIERI FILHO & FORNASIERI, 1993), assim como o número de panículas m² e o número de grãos por panícula (HUSAIN & SHARMA, 1991).

A combinação adequada de doses, modos de aplicação e fontes de N pode aumentar significativamente a eficiência do uso dos fertilizantes nitrogenados e, conseqüentemente, a produtividade de culturas anuais, como o arroz (FAGERIA et al., 2003). Normalmente, a dose de N a ser utilizada na cultura baseia-se na produtividade esperada e no histórico da área. Aliado a este fato, a crescente utilização de cultivares de alto potencial produtivo tem implicado no uso mais frequente de insumos, dentre os quais o N. No entanto, a utilização de doses cada vez mais elevadas deste nutriente para aumentar a produtividade pode acarretar em elevado desenvolvimento vegetativo, o que pode levar ao acamamento de plantas e interferir negativamente na produtividade e na qualidade dos grãos (CAMPELLO JUNIOR, 1985).

As formas não orgânicas de N mineral encontradas no solo são os íons nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+). Estas são as duas formas minerais passíveis de serem absorvidas pelas plantas. O contato íon-raiz ocorre principalmente por fluxo de massa, onde o elemento se move na solução do solo até a raiz (ULLOA, 1982).

A disponibilização de N do solo às plantas ocorre pela mineralização da matéria orgânica, sendo influenciada por fatores como o nível de umidade do solo, a temperatura, o pH do solo, a relação C/N da cobertura do solo. Em função disto, a

adição de adubos minerais nitrogenados constitui a fonte rápida deste nutriente. As formas minerais de N têm a vantagem de serem facilmente solúveis em água e de apresentarem alto teor do elemento (JORGE, 1983).

O nitrogênio é o mais caro dos elementos contidos nos fertilizantes, o que reflete principalmente os gastos com instalação e energia para obter os adubos nitrogenados. Para cada kg de N existente nos fertilizantes minerais são necessários 16.800 kcal (MALAVOLTA, 1981). Além disto, a eficiência do emprego de altas doses de adubação nitrogenada em cobertura esbarra na grande instabilidade ambiental do N mineral.

O N é o nutriente de manejo e recomendação mais complexos, em virtude da multiplicidade de reações químicas e biológicas a que está sujeito e de sua grande dependência das condições edafoclimáticas para absorção pela planta (CANTARELLA & DUARTE, 2004).

Apenas uma parte do N mineral aplicado é absorvido pelas plantas. O restante é perdido do sistema solo-planta-atmosfera por processos de lixiviação, volatilização, erosão e desnitrificação, tendo ainda uma fração que permanece no solo na forma orgânica (VARGAS, 2010).

A natureza complexa das transformações do N no solo pode provocar assincronia entre a disponibilidade do nutriente no solo e a demanda pelas culturas. Dessa forma, a aplicação de N via fertilizantes minerais proporciona uma eficiência global em torno de 50%, sendo o restante perdido ou imobilizado temporariamente na biomassa microbiana do solo (FONTOURA & BAYER, 2006). A baixa eficiência de

recuperação do N de fertilizantes nitrogenados aplicados às culturas tem sido atribuída principalmente a perdas por volatilização de amônia (NH_3^+), oriunda de fontes amoniacais de N, e lixiviação de nitrato (NO_3^{-1}), implicando em maiores custos com fertilizantes e mão-de-obra (ROGERI, 2010).

A dinâmica do N no solo é complexa devido à multiplicidade de formas químicas e das reações e processos aos quais ele está sujeito. Nos solos alagados, essas transformações são ainda mais complexas, em função da existência de uma lâmina de água sobre o solo e da presença de uma camada oxidada em torno das raízes do arroz. Essas características interferem diretamente na recuperação do N pelas plantas (PONNAPERUMA, 1972).

1.2.3 Ureia

Os fertilizantes amoniacais ou formadores de amônio, como a ureia, constituem-se nas fontes recomendadas de N para o arroz, devido ao elevado conteúdo do elemento e menor custo por unidade do nutriente aplicado ao solo (MARTHA JÚNIOR et al., 2004; SCIVIATTARO et al., 2002).

A volatilização da amônia (NH_3) e a nitrificação, seguida pela desnitrificação, são os principais mecanismos de perdas de N nos solos alagados destinados a produção de arroz irrigado. Caso os fertilizantes nitrogenados, como a ureia, sejam manejados inadequadamente, os índices de recuperação de N pelas plantas serão muito baixos, raramente excedendo 50% da quantidade aplicada (KNOBLAUCH et al., 2012; FAGERIA et al., 2003; ISHERWOOD, 2003; SCIVIATTARO et al., 2002).

Neste sentido, Sciviattaro et al. (2002), utilizando N marcado (N^{15}), constataram em experimentos com arroz irrigado um aproveitamento de apenas 33% do total adicionado.

De acordo com Rodrigues & Kiehl (1986), a ureia ao ser aplicada ao solo é hidrolisada, desdobrando-se em gás amônia, dióxido de carbono e água. A amônia reage com a água formando amônio e hidroxila (OH^-), resultando numa elevação do pH. A amônia e o amônio coexistem em equilíbrio, afetado pelo pH. Como consequência, nos pontos onde é aplicado o fertilizante o pH poderá subir até 10. Nestas condições alcalinas parte da amônia será inevitavelmente perdida por volatilização.

Por ocasião da volatilização de amônia (NH_3^+), parte do N amoniacal aplicado ao solo por alguns fertilizantes nitrogenados ou orgânicos migra para a atmosfera na forma gasosa (ROGERI, 2010).

Segundo Cantarella & Marcelino (2006), a ureia sofre hidrólise enzimática quando aplicada ao solo, liberando N amoniacal (NH_4^+), conforme a seguinte reação:



A volatilização de NH_3 ocorre quando fertilizantes que contém ou produzem amônio são aplicados a solos com reação alcalina, situação em que a reação abaixo tende a direita:



As perdas de N por volatilização são afetadas pela umidade do solo no momento da aplicação do fertilizante, o tipo de solo, a fonte de N empregada e o manejo do adubo nitrogenado, sendo que solos argilosos e úmidos geralmente proporcionam menores perdas. Isto ocorre porque a umidade permite a difusão do NH_4^+ no solo, com adsorção desse cátion às cargas negativas dos minerais e da matéria orgânica, reduzindo as perdas por volatilização (FONTOURA & BAYER, 2006).

O uso de ureia como fonte de N pode ocasionar elevadas perdas do nutriente, principalmente se aplicada em cobertura sem incorporação. A quantidade de amônia volatilizada também é influenciada pela forma de aplicação da ureia e pelo sistema de manejo (SANGOI, et al., 2003).

Nos solos alagados, essas transformações são ainda mais complexas. Embora o amônio seja bastante estável em ambientes reduzidos, nos solos alagados existe uma fina camada superficial oxidada que pode variar de 2,0 a 20,0 mm, seguida por uma camada reduzida logo abaixo desta e por outra camada oxidada na rizosfera do arroz (PONNAPERUMA, 1977). Nessas camadas oxidadas, o amônio sofre a nitrificação. O nitrato formado migra para camada reduzida e sofre a desnitrificação perdendo-se para o ar nas formas de N_2 e N_2O (PATRICK & REDDY, 1978).

A nitrificação na camada de solo oxidada e a desnitrificação na camada reduzida são processos denominados de sequência nitrificação-desnitrificação devido à proximidade das camadas em que ocorrem. A nitrificação é um processo prévio à desnitrificação 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 desnitrificação. O caminho sequencial e os produtos do processo de nitrificação-desnitrificação são os seguintes, segundo Aulakh et al. (1992):

NO_3^- (nitrato) \rightarrow NO_2^- (nitrito) \rightarrow NO (óxido nítrico) \rightarrow N_2O (óxido nitroso) \rightarrow N_2 .

O substrato da nitrificação, que antecede à desnitrificação, é fornecido pela amonificação e pela aplicação de adubos nitrogenados. Como foi relatado anteriormente, os solos alagados apresentam duas camadas distintas: uma camada superficial oxidada de pouca espessura e uma camada reduzida ou anaeróbica.

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). 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-desnitrificação (ARTH et al., 1998). A bainha da planta de arroz é outro sítio importante para que ocorra a nitrificação e desnitrificação 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 anaeróbica até a camada aeróbica e a nitrificação do N-NH_4^+ nesta camada. Os processos de difusão de N-NO_3^- à camada anaeróbica 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 desnitrificado (DE DATTA, 1981). Então conclui-se que a desnitrificação 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.

Até 2004, a recomendação de aplicação de N em cobertura para arroz semeado em solo seco com posterior irrigação, para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, era de aplicar a ureia após o alagamento da lavoura. No sistema pré-germinado, a recomendação era de aplicar a ureia após o alagamento, sobre lâmina de água (IRGA, 2001; CQFSRS/SC, 1995). A nova recomendação de aplicação de N para o arroz nessa região (SOSBAI, 2014; CQFSRS/SC, 2004) sugere que, para o sistema de semeadura em solo seco com

posterior irrigação, a aplicação da ureia seja feita antes do alagamento. Nesse caso, propõe-se o máximo de três dias entre a aplicação de ureia e o início da entrada de água na lavoura, para evitar possíveis perdas de N.

Segundo Knoblauch et al. (2012), os fatores relacionados com o manejo da água e a forma de aplicação da ureia, influenciam as perdas do N aplicado ao solo, com consequências na eficiência de aproveitamento do nutriente pelas plantas e na produtividade do arroz. Para evitar perdas excessivas do N em solos alagados, é provável que a ureia deva ser aplicada na lama ou em solo seco, seguido de alagamento imediato, mesmo no sistema pré-germinado de cultivo, fazendo com que a inundação funcione como um mecanismo de incorporação do nitrogênio ao solo.

De acordo com Knoblauch et al. (2012), a lâmina de água que permanece na superfície de solos alagados não evita a volatilização de amônia após a aplicação de ureia. Contudo, a volatilização de amônia é menor quando a ureia é aplicada em solo drenado seguido de alagamento do que quando aplicada sobre lâmina de água. Quando a ureia é incorporada ao solo alagado, as perdas de N por volatilização são insignificantes.

1.2.4 Fertilizantes de Liberação Lenta ou Gradual ao Solo

A utilização de fertilizantes de liberação lenta de N, a partir do emprego de polímeros inibidores da atividade da enzima urease e/ou da nitrificação do amônio à ureia, pode elevar a eficiência da adubação nitrogenada, promovendo

maiores rendimentos de grãos à cultura do arroz. Ela vem sendo cada vez mais utilizada nas lavouras orizícolas, porém não se conhece seu real aproveitamento e se seu comportamento é realmente satisfatório em ambientes alagados, como no caso do arroz irrigado.

Fertilizantes de liberação lenta (FLL) apresentam retardamento ou menores taxas de liberação do nutriente, em relação aos fertilizantes comuns. Eles são afetados por condições ambientais, como teor de umidade do solo, pH e aeração, diferentemente dos fertilizantes de liberação controlada (FLC). Estes possuem taxa de liberação, padrão e duração do processo de liberação do nutriente bem conhecidas, pois sua liberação está condicionada apenas pela espessura e capa do revestimento adotado (MARIANO et al., 2011).

Entre as possibilidades existentes, um dos fertilizantes de liberação lenta é o Azal 5®. Este fertilizante é caracterizado pela presença de uma dupla membrana. Segundo a Timac Agro (2014), fabricante do produto, isso garante maior proteção dos nutrientes contra fenômenos de lixiviação, volatilização e fixação, permitindo uma liberação mais gradual dos minerais presentes no grão e assegurando um maior aproveitamento pela planta.

A dupla membrana do Azal 5® é formada por uma matriz mineral e uma matriz orgânica, que juntas funcionam como uma dupla barreira à penetração da água, promovendo a liberação gradual do nutriente. A matriz mineral é formada por sais de cálcio que são processados formando uma estrutura cristalina com baixa solubilidade em água e pH entre 4-10, que é depositado sobre a matriz orgânica composta por substâncias

húmicas. A dupla membrana funciona em três estágios distintos. No primeiro estágio, a molécula de água da solução do solo deve atravessar a membrana mineral, característica que promove proteção do nitrogênio em solos secos e úmidos. No segundo estágio, a molécula de água deve passar através da matriz orgânica, onde a temperatura irá influenciar na velocidade desse processo, sendo que essa característica promove proteção contra perda de nutrientes em altas e baixas temperaturas. Já no terceiro estágio, a molécula de água entra no grânulo e solubiliza/hidrolisa os nutrientes que são liberados gradativamente (TIMAC AGRO, 2014).

Segundo Billard et al. (2013), o Azal 5® é composto em sua matriz orgânica por um bioestimulante derivado de algas que foi previamente descrito por promover melhor crescimento em *Brassica napus* e auxiliar na absorção de macronutrientes (N, P, K e S) e micronutrientes (Mg, Mn, Na e Cu) além de estimular a divisão de cloroplasto.

Para Scivittaro (2005) e Cantarella & Marcelino (2006) as possibilidades de substituição da ureia como fertilizante nitrogenado são escassas, devido as suas características, já citadas anteriormente. Uma das poucas moléculas que vem tendo efeitos significativos para melhorar a eficácia da adubação nitrogenada em ambientes alagados é a utilização do composto NPBT, que inibe a urase dos fertilizantes amoniacais. Esta molécula possui nome comercial de Agrotain®. Alguns desses fertilizantes estão sendo utilizados com boas perspectivas em lavouras de arroz irrigado. Contudo, a viabilidade do uso da tecnologia tem esbarrado no custo elevado (KNOBLAUCH, 2011).

Segundo Scivittaro (2005), o uso do inibidor NBPT reduz em 20% as perdas de amônia, quando aplicadas em solo seco com posterior inundação, na comparação do produto Agrotain® com a ureia pura. Porém a Agrotain® não demonstrou diferenças significativas quanto a produtividade quando comparada a ureia em solos alagados

1.2.5 Manejo do Nitrogênio e da Água

Quando o N é aplicado em solo bem drenado na forma de ureia, antes de inundar, movimenta-se no solo em uma maior profundidade acompanhando o movimento da água e ficando retido como $N-NH_4^+$ nos coloides do solo (HUMPHREYS et al., 1987). A ureia aplicada na água difunde-se até o solo subjacente ficando nos primeiros centímetros do solo e é hidrolizada a $N-NH_4^+$. Sua concentração também se eleva 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; KATYAL & GADALLA, 1990). Trabalhando com incorporação de ureia no solo, Zia et al. (1992) e Montero (1993) encontraram produtividade de grãos superiores comparado ao método tradicional de aplicação de ureia na lâmina de água. Já Marin & Sanabria (1999) não constataram diferenças nos caracteres produtivos da lavoura aplicando ureia em solo seco ou com água na superfície. Isto demonstra que existem trabalhos que relatam a superioridade da aplicação de ureia em solo drenado e inundado

posteriormente, entretanto outros trabalhos não demonstram diferenças entre aplicar ureia em solo drenado ou na água. Portanto, há controvérsias sobre a melhor forma de manejo do N aplicado e da água sendo necessário pesquisar nas condições de solo e clima do local.

Este trabalho foi desenvolvido com base em três hipóteses: a primeira de que a liberação gradual do nitrogênio ao solo pelo fertilizante Azal 5® promove melhor aproveitamento do nutriente pela planta e reduz suas perdas, quando comparado a ureia; a segunda que a liberação gradual do nitrogênio fornece o N de forma mais uniforme durante o cultivo em todos os estágios de desenvolvimento da cultura, incrementando o rendimento de grãos e a eficiência de uso do nitrogênio; e a terceira que a aplicação do fertilizante nitrogenado sobre a lama reduz as perdas e propicia maior eficiência de uso do nitrogênio do que a fertilização feita em lâmina de água.

Este trabalho teve por objetivo comparar duas fontes de N: ureia (fonte convencional) e Azal 5® em duas doses e modos de aplicação sobre a recuperação do N pelas plantas e desempenho agronômico do arroz irrigado em sistema pré-germinado. Ele teve os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar o efeito de fontes e doses de fertilizantes nitrogenados na recuperação do N pelas plantas e desempenho agronômico do arroz irrigado.
- Determinar o melhor modo de aplicação dos fertilizantes nitrogenados na cultura do arroz irrigado.

- Determinar a eficiência agronômica de uso do nitrogênio em função de fontes, doses e modos de aplicação da cobertura nitrogenada.

1.3 MATERIAL E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos propostos no trabalho foram conduzidos dois experimentos, o primeiro em casa de vegetação (Experimento 1) e o segundo a campo (Experimento 2), cujos materiais e métodos, resultados e conclusões serão apresentados separadamente a seguir.

1.3.1 Experimento 1

O primeiro experimento foi implantado no Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, em Lages, durante o segundo semestre de 2014. Ele foi implantado em casa de vegetação, utilizando vasos com 6,0 kg de solo (base seca). O solo foi coletado na camada superficial de 0-20 cm de um Gleissolo Háplico distrófico, da Estação Experimental da Epagri em Itajaí. As principais características do solo são: pH-H₂O=5,0; P=10,8 mg kg⁻¹ e K=65 mg kg⁻¹; MO=22 g kg⁻¹; Al=0,7 cmolc dm⁻³, Ca=1,6 cmolc dm⁻³, Mg=1,1 cmolc dm⁻³ e teor de argila 300 g dm⁻³.

Os tratamentos foram dispostos num fatorial 2 x 2 x 2. Foram comparadas duas fontes de N: ureia (45% N) e Azal 5 ® (29% N) (fertilizante de liberação gradual de N no solo). O

efeito de cada fonte foi avaliado em duas doses de 100 e 200 mg de N kg⁻¹ de solo; e com duas formas de aplicação: na lama e sobre lâmina de água. Houve um tratamento testemunha sem aplicação de N. Foram utilizados dois conjuntos de vasos (com plantas e sem plantas) com três repetições. Portanto, o experimento foi composto por 54 unidades experimentais (9 tratamentos x 3 repetições com plantas e 3 sem plantas). Nos vasos com plantas foi utilizada a cultivar SCS 118 Marques.

Os tratamentos foram divididos da seguinte forma: 1) Testemunha sem aplicação de N; 2) Ureia aplicada sobre lâmina de água e dose de 100 mg N kg⁻¹ solo; 3) Ureia aplicada sobre lâmina de água e dose de 200 mg N kg⁻¹ de solo; 4) Azal 5® aplicado sobre lâmina de água e dose de 100 mg N kg⁻¹ solo; 5) Azal 5® aplicado sobre lâmina de água e dose de 200 mg N kg⁻¹ solo; 6) Ureia aplicada sobre a lama e dose de 100 mg N kg⁻¹ solo; 7) Ureia aplicada sobre a lama e dose de 200 mg N kg⁻¹ solo; 8) Azal 5® aplicado sobre a lama e dose de 100 mg N kg⁻¹ solo; 9) Azal 5® aplicado sobre a lama e dose de 200 mg N kg⁻¹ solo.

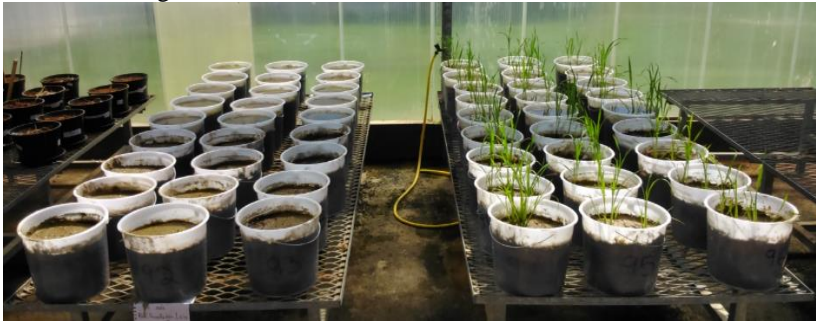
A semeadura do arroz foi feita no dia 17/10/2014, utilizando sementes pré-germinadas. Antes da semeadura, todas as unidades experimentais receberam 100 mg de P₂O₅ e 150 mg de K₂O kg⁻¹ de solo. Foram semeadas seis sementes por balde.

Após a emergência, foi feito desbaste deixando-se três plantas por balde. As duas doses de N foram aplicadas em duas coberturas, feitas 30 e 70 dias após a semeadura, nos estádios fenológicos de V4 e R1, respectivamente, segundo a escala proposta por Counce et al. (2000), que se encontra descrita no

Anexo A. Houve o parcelamento das doses de cobertura em 50% para cada aplicação. Os vasos foram mantidos com lâmina de água de 5 cm durante todo o experimento. Nos vasos em que os fertilizantes foram aplicados na lama, a água foi retirada 24 horas antes da aplicação dos fertilizantes e repostada 24 horas após. A primeira aplicação de N foi feita no dia 16/11/2014 e segunda no dia 27/12/2014.

A Imagem 1 mostra a distribuição dos vasos na casa de vegetação e a Imagem 2 a aplicação das fontes de N na lama.

IMAGEM 1: Distribuição dos vasos com e sem plantas, ano agrícola 2014/2015. Lages, SC.



Fonte: AUTOR (2014).

IMAGEM 2: Aplicação de Azal 5® (esquerda) e ureia (direita) sobre a lama, ano agrícola 2014/2015. Lages, SC.



Fonte: AUTOR (2014).

Foram coletadas amostras de solo a cada sete dias (Imagem 3) a partir da semeadura para quantificação do nitrogênio mineral no solo. Estas coletas foram feitas durante 14 semanas após a semeadura, até o estágio R2 da escala de Counce et al. (2000), correspondente ao estágio emborrachamento da cultura.

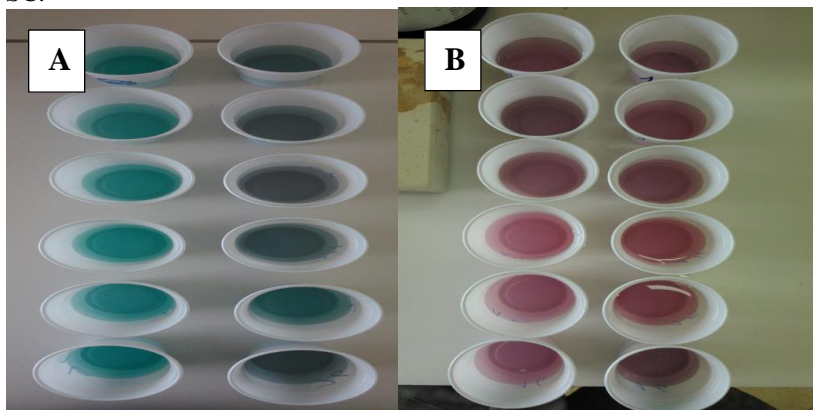
IMAGEM 3: Coleta da amostra de solo com poa de ferro, ano agrícola 2014/2015. Lages, SC.



Fonte: AUTOR (2014).

Para determinação da concentração de N mineral (NH_4) foi utilizado a seguinte metodologia de amostragem: 1) Primeiramente era coletado uma amostra de 5 gramas de solo úmido com auxílio de uma broca de ferro de 1 cm de espessura e 15 cm de comprimento, e deixava-se escorrer o excesso de água. 2) Posteriormente eram pesados 5 gramas de solo úmido em um snap cap de 100 ml. 3) Adicionava-se 50 ml de KCl 1 molar, nas amostras úmidas, para extração e deixava-se agitando a amostra por 30 minutos e decantando por 30 minutos. 4) Após a amostra ser agitada era coletado uma alíquota de 20 ml para destilação em micro Kjeldahl, conforme Tedesco et al. (1995). As análises para determinação de nitrato não identificaram concentrações deste ânion devido à rápida perda do mesmo em solos alagados por desnitrificação. A Imagem 4 apresenta uma visualização das amostras destiladas para avaliação das concentrações de amônio e nitrato.

IMAGEM 4: A) Amostras destiladas, com concentrações de amônio (esquerda) e nitrato (direita); B) Ponto de viragem após a titulação. Lages, SC.



Fonte: AUTOR (2014)

Aos 98 dias após a semeadura, após a coleta da última amostra de solo, as plantas foram colhidas, cortando-se os colmos rente ao solo para determinação da massa seca de parte aérea e de raiz. Antes da coleta das plantas foram medidas: a área foliar, altura de planta, teor de clorofila da última folha expandida no colmo principal e número de perfilhos por planta.

A altura de plantas foi determinada no colmo principal, sendo medida a distância da base do colmo até a última folha expandida. A área foliar foi determinada através da medição de todas as plantas dos vasos, do comprimento e largura, depois multiplicado pelo fator de correção 0,7 para transformação em metros quadrados. O número de perfilhos foi determinado pela contagem do total de colmos com ao menos uma folha. O teor relativo de clorofila foi determinado através da última folha do colmo principal, sendo medida em três pontos da folha, com aparelho clorofilômetro. Para determinação da massa seca de raiz, as raízes foram lavadas para retirada total do solo. Posteriormente elas foram secas, juntamente com a massa de parte aérea, em estufa á 65°C por 24 horas com sistema de ventilação forçada e posterior pesagem.

Os resultados obtidos no experimento foram submetidos à análise de variância através do teste F, ao nível de significância de 5%. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, à 5% de probabilidade de erro. A estatística de análise de variância do teste F e a comparação de médias do teste Tukey foram feitas através do programa Assitat 7.7 beta.

1.3.2 Experimento 2

O experimento foi desenvolvido a campo, na Estação Experimental da Epagri em Itajaí, SC, durante a safra 2014/15. Os tratamentos foram dispostos num fatorial 2 x 2 x 2. Foram comparadas duas fontes de N: ureia (45% N) e Azal 5® (29% N), fertilizante de liberação gradual de N no solo O efeito de cada fonte foi avaliado em duas doses de nitrogênio em cobertura, equivalentes a 60 e 90 kg de N ha⁻¹; e com duas formas de aplicação: na lama e sobre lâmina de água. As doses de N aplicadas em cobertura foram definidas com base numa expectativa de rendimento de 6.000 e 9.000 kg ha⁻¹ devido a cultivar utilizada apresentar produtividade média de 9.000 kg ha⁻¹ em experimentos regionais. Houve um tratamento testemunha sem aplicação de N. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso. Portanto, o experimento teve 27 parcelas experimentais (9 tratamentos x 3 repetições).

Os tratamentos foram dispostos da seguinte forma: 1) Testemunha sem aplicação de N; 2) Fertilizante de liberação gradual, aplicado sobre a lama e dose de 60 kg N ha⁻¹; 3) Ureia na lama e dose de 60 kg N ha⁻¹; 4) Fertilizante de liberação gradual, aplicado sobre a lama e dose de 90 kg N ha⁻¹; 5) Ureia na lama e dose de 90 kg N ha⁻¹; 6) Fertilizante de liberação gradual, aplicado sobre a lâmina de água e dose de 60 kg N ha⁻¹; 7) Ureia na lâmina de água e dose de 60 kg N ha⁻¹; 8) Fertilizante de liberação gradual, aplicado sobre a lâmina de água e dose de 90 kg N ha⁻¹; 9) Ureia na lâmina de água e dose de 90 kg N ha⁻¹.

Foi utilizada a cultivar SCS 118 Marques por apresentar: produtividade média alta de 9.000 kg ha⁻¹ (em experimentos

regionais); excelente perfilhamento; média resistência a brusone (em condições experimentais de alta pressão) de inóculo e resistente a acamamento (SCHIOCCHET, 2013). A semeadura do experimento foi feita em caixas, no dia 27 de outubro de 2014, utilizando sementes pré-germinadas. Quando as plantas estavam no estádio V2 da escala de Counce et al. (2000), 18 dias após a semeadura em caixas, elas foram transplantadas para a área experimental no dia 13 de novembro de 2014. Após o transplante, os manejos fitossanitários foram feitos conforme as recomendações da Sosbai (2014). As doses de N foram aplicadas em duas coberturas, feitas 30 e 70 dias após a semeadura, quando a cultura estava nos estádios V4 e R0/R1 da escala de Counce et. al. (2000). A dose foi parcelada em 50% para cada aplicação. Nas parcelas em que os fertilizantes foram aplicados na lama, a água foi retirada 24 horas antes da aplicação dos fertilizantes e repostada 24 horas após.

Quando a cultura atingiu o estádio V7 (aproximadamente 15 dias após o início da diferenciação do primórdio floral – DPF), foram colhidas algumas plantas para determinação da massa seca de parte aérea e do teor de N no tecido.

Durante a colheita, foram retiradas duas amostras: na primeira foram colhidas apenas as panículas numa área de 3 x 2 m (6 m²), onde foi determinado o rendimento de grãos. Na segunda foram cortadas todas as plantas rente ao solo numa área de 0,7 x 0,7 m (0,5 m²), para determinação da massa seca da parte aérea, a massa de grãos e os componentes do rendimento (nº de panículas por m², número de grãos por panícula e massa de 1000 grãos). Para tanto se utilizou uma

sub-amostra quarteada de 1/8 da segunda amostra. O teor de N nos grãos foi determinado de acordo com a metodologia proposta por Tedesco et al. (1995), por digestão sulfúrica e destilação por arraste de NH_3 , utilizando o método semi-micro Kjehldahl.

Para determinar a eficiência agrônômica de uso do N dos fertilizantes nitrogenados (EAU) foi utilizada a metodologia descrita por Fageria et al. (2006). Ela foi calculada utilizando a seguinte expressão: $\text{EAU} = (\text{Pr.cf} - \text{Pr.sf}) / \text{QNa}$, em kg kg^{-1} , onde Pr. cf é a produtividade com fertilizante, Pr. sf é a produtividade sem fertilizante e QNa é a quantidade de N aplicado.

Os resultados obtidos no experimento foram submetidos à análise de variância através do teste F, ao nível de significância de 5%. Quando detectadas diferenças entre tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. Tanto a análise de variância quanto a comparação de médias foram feitas através do programa Assitat 7.7 beta.

1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.4.1 Experimento 1

1.4.1.1. Características agrônômicas da cultura

Segundo os resultados da análise de variância, não houve efeito significativo das fontes, doses e modos aplicação do nitrogênio sobre a massa seca de parte aérea, massa seca de raiz, área foliar e número de perfilhos (Tabelas 1 e 2). Foram constatadas diferenças significativas entre tratamentos apenas

para as variáveis estatura de planta e teor de clorofila na última folha expandida do colmo principal no momento da colheita (Tabela 2). As plantas foram mais altas com a aplicação de 200 mg de N kg⁻¹ de solo do que na testemunha, independentemente da forma de aplicação e da fonte de N. Em termos gerais, os tratamentos com aplicação de N apresentaram maior teor de clorofila do que a testemunha.

TABELA 1. Massa seca de parte aérea, massa seca de raízes e área foliar do arroz em função de fontes, doses e modos de aplicação do nitrogênio em cobertura. Lages, 2014/2015. Exp. Casa de Vegetação.

| Tratamento | M.S.P.A (g vaso ⁻¹) | M.S.P.A (g vaso ⁻¹) | Àrea Foliar (m ² vaso ⁻¹) |
|--------------|------------------------------------|------------------------------------|---|
| Test. | 62,9 | 85,2 | 1,3 |
| UR 100 LA | 69,1 | 64,0 | 1,4 |
| UR 200 LA | 71,8 | 157,2 | 1,5 |
| AZ 100 LA | 52,8 | 78,2 | 1,3 |
| AZ 200 LA | 73,0 | 90,0 | 1,4 |
| UR 100 LM | 73,5 | 100,3 | 1,2 |
| UR 200 LM | 77,9 | 134,6 | 1,2 |
| AZ 100 LM | 80,5 | 91,2 | 1,3 |
| AZ 200 LM | 96,1 | 131,8 | 1,3 |
| dms | 43,98 ns* | 111,03 ns* | 0,62 ns* |
| % C.V | 21,3 | 37,43 | 16,59 |

* Test.) Testemunha sem aplicação de N; UR 100 LA) Ureia aplicada sobre lâmina de água e dose de 100 mg N kg⁻¹ solo; UR 200 LA) Ureia aplicada sobre lâmina de água e dose de 200 mg N kg⁻¹ de solo; AZ 100 LA) Azal 5® aplicado sobre lâmina de água e dose de 100 mg N kg⁻¹ solo; AZ 200 LA) Azal 5® aplicado sobre lâmina de água e dose de 200 mg N kg⁻¹ solo; UR 100 LM) Ureia aplicada sobre a lama e dose de 100 mg N kg⁻¹ solo; UR 200 LM) Ureia aplicada sobre a lama e dose de 200 mg N kg⁻¹ solo; AZ 100 LM) Azal 5® aplicado sobre a lama e dose de 100 mg N kg⁻¹ solo; AZ 200 LM) Azal 5® aplicado sobre a lama e dose de 200 mg N kg⁻¹ solo; ns** - Diferenças entre médias não significativas na coluna;

TABELA 2. Altura de plantas, número de perfilhos e teor de clorofila da última folha expandida do arroz em função de fontes, doses e modos de aplicação do nitrogênio em cobertura. Lages, 2014/2015. Exp. Casa de Vegetação.

| Tratamento | Altura Plantas (cm) | Perfilhos (n°) | Teor Relativo de Clorofila |
|-------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| Test. | 65,5 b | 12,9 | 29,8 b |
| UR 100 LA | 73,1 ab | 13,8 | 33,3 ab |
| UR 200 LA | 75,3 a | 13,6 | 37,4 a |
| AZ 100 LA | 73,7 ab | 13,3 | 36,9 a |
| AZ 200 LA | 77,2 a | 15,3 | 38,3 a |
| UR 100 LM | 73,4 ab | 14,2 | 33,2 ab |
| UR 200 LM | 78,3 a | 15,6 | 36,4 a |
| AZ 100 LM | 74,7 ab | 13,0 | 35,5 a |
| AZ 200 LM | 78,4 a | 15,2 | 36,5 a |
| dms | 9,77 ^{1/} | 6,59 ns** | 5,44 ^{1/} |
| % C.V | 4,59 | 16,34 | 5,39 |

* Test.) Testemunha sem aplicação de N; UR 100 LA) Ureia aplicada sobre lâmina de água e dose de 100 mg N kg⁻¹ solo; UR 200 LA) Ureia aplicada sobre lâmina de água e dose de 200 mg N kg⁻¹ de solo; AZ 100 LA) Azal 5® aplicado sobre lâmina de água e dose de 100 mg N kg⁻¹ solo; AZ 200 LA) Azal 5® aplicado sobre lâmina de água e dose de 200 mg N kg⁻¹ solo; UR 100 LM) Ureia aplicada sobre a lama e dose de 100 mg N kg⁻¹ solo; UR 200 LM) Ureia aplicada sobre a lama e dose de 200 mg N kg⁻¹ solo; AZ 100 LM) Azal 5® aplicado sobre a lama e dose de 100 mg N kg⁻¹ solo; AZ 200 LM) Azal 5® aplicado sobre a lama e dose de 200 mg N kg⁻¹ solo;

ns** - Diferenças entre médias não significativas na coluna;

^{1/} Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%;

Uma possível causa da ausência de diferenças significativas entre fontes, doses e modos de aplicação do fertilizante nitrogenado para as variáveis avaliadas foi o acúmulo de nitrogênio proveniente do alagamento antecipado e a formação de amônio proveniente do nitrogênio lábil das bactérias. Outra motivo que pode explicar os resultados obtidos é o nitrogênio presente na água de irrigação. Essas duas condições, mais a matéria orgânica do solo, podem ter fornecido o nitrogênio necessário para atender a demanda das plantas até a fase de emborrachamento, quando as plantas foram colhidas.

De acordo com Almeida (2010), a concentração de nitrogênio na água de irrigação pode chegar a 15 mg L^{-1} de N elementar, sendo que 10 mg L^{-1} são provenientes do N-NO_3^- , e 5 mg L^{-1} provenientes do N-NH_4^+ . Esse nitrogênio provavelmente colaborou com a demanda nitrogenada das plantas, fazendo com que não houvesse diferenças significativas entre os tratamentos para as características agrônômicas das plantas avaliadas no experimento de casa de vegetação.

No cultivo de arroz irrigado, a importância do nitrogênio no solo proveniente da matéria orgânica é evidente. Cerca de 60-80% do nitrogênio absorvido pela cultura é derivado do nitrogênio proveniente da amonificação (BROADBENT, 1979). Apenas 33% do nitrogênio inorgânico aplicado é recuperado pelas plantas de arroz em solos alagados e aproximadamente 60% do nitrogênio para as plantas é proveniente do nitrogênio orgânico (REDDY, 1982).

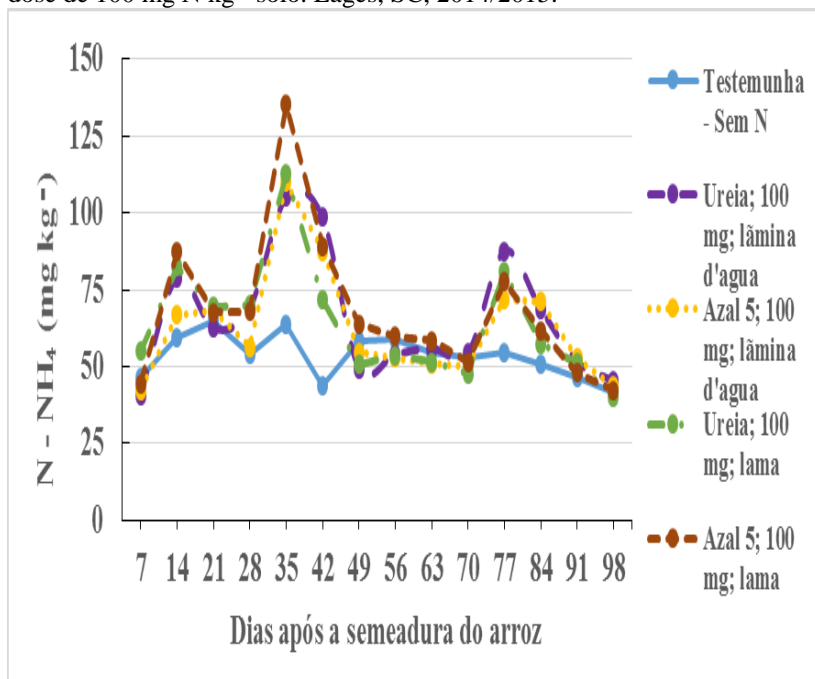
1.4.1.2 Concentrações de N-NO₃⁻ nos solo dos Vasos

As avaliações para quantificação da concentração de nitrato não demonstraram concentrações significativas deste ânion, uma vez que ele é rapidamente perdido por desnitrificação em ambiente alagado (PONNAMPERUMA, 1972; WATANABE & MITSUI, 1979)

1.4.1.3 Concentrações de N-NH₄⁺ no solo dos Vasos sem Plantas

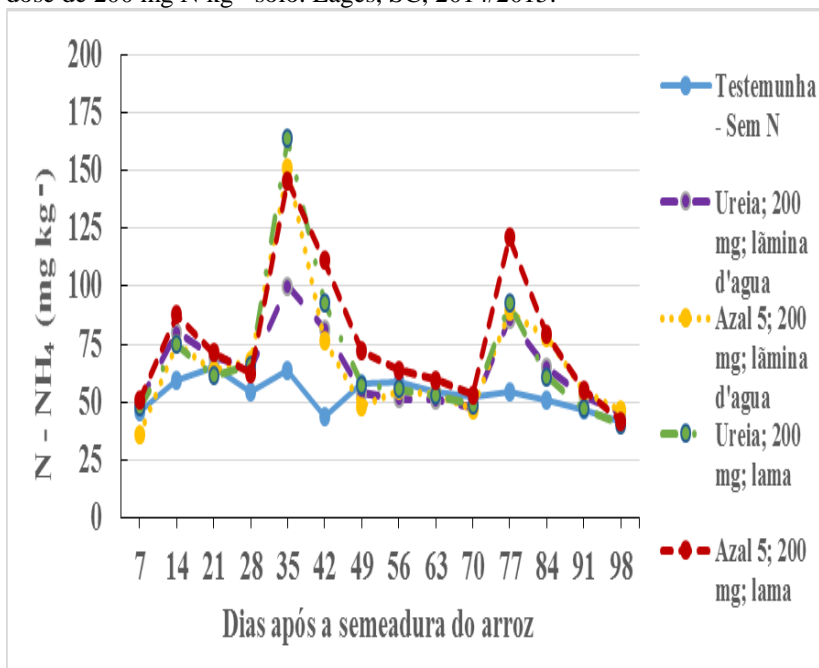
Os valores da análise temporal da concentração de nitrogênio mineral no solo dos vasos sem plantas podem ser observados nos Gráficos 1 e 2 e na Tabela 3.

GRÁFICO 1: Concentração de amônio (N-NH₄) dos vasos sem plantas, comparando ureia e Azal 5® aplicados na lama e em lâmina de água, na dose de 100 mg N kg⁻¹ solo. Lages, SC, 2014/2015.



Fonte: AUTOR (2014)

GRÁFICO 2: Concentração de amônio ($N-NH_4$) dos vasos sem plantas, comparando ureia e Azal 5® aplicados na lama e em lâmina de água, na dose de 200 mg N kg^{-1} solo. Lages, SC, 2014/2015.



Fonte: AUTOR (2014)

Nos primeiros 15 dias após o alagamento, as concentrações de N-NH_4 sofreram uma elevação natural em todos os tratamentos, comportamento também encontrado por Knoblauch et al. (2011), tanto para os vasos com plantas como nos sem plantas. Para Savant & Datta (1982), a rápida elevação das concentrações de N-NH_4^+ após o alagamento do solo é devido à significativa fração de N existente na parede celular dos micro-organismos, chamado de N labil ou de fácil decomposição, que é rapidamente formado no solo após o alagamento.

No tratamento testemunha também se verificou aumento das concentrações de amônio (N-NH_4), o qual apresentava 42 mg de N-NH_4^+ kg^{-1} aos 100 dias após a semeadura.

Após os 15 dias iniciais, esses valores decresceram até o momento da primeira aplicação nitrogenada, feita na quarta semana após a semeadura, após a quarta avaliação (Gráficos 1 e 2; Tabela 3).

Dentre os tratamentos que receberam N, nos vasos sem plantas, não houve diferenças marcantes no comportamento dos produtos, doses e formas de aplicação do N. Após atingir o pico nas avaliações feitas aos 35 e 77 dias, as concentrações diminuíram com o passar do tempo, atingindo de 15 a 21 dias depois valores similares aos das testemunhas sem N. A diminuição acontece devido às perdas do N, devido a volatilização e pela desnitrificação precedida da nitrificação (PATRICK & REDDY, 1978; PONNAMPERUMA, 1972).

Após a primeira aplicação nitrogenada, na quinta semana de avaliações (35 dias após a semeadura), observou-se

diferenças entre os tratamentos, onde os fertilizantes aplicados na lama apresentaram, em geral, maior concentração de N do que aqueles feitos em lâmina de água (Tabela 3).

Na sexta e sétima semanas de avaliações (42 e 49 dias após a semeadura), as concentrações de amônio decresceram, porém, novamente as aplicações feitas sobre a lama, principalmente com a fonte Azal 5®, apresentaram os maiores valores de concentração de N no solo. Na oitava, nona e décima coletas, as concentrações de amônio continuaram a decrescer, devido à perda de N por volatilização e desnitrificação, sem diferença estatística, até o momento da segunda aplicação da cobertura nitrogenada, feita no dia 27 de dezembro (Tabela 3).

Na décima primeira e décima segunda avaliações (77 e 84 dias após a semeadura) observaram-se maiores teores de N com a fonte Azal 5® aplicada na lama, na maior dose de N. Já nas duas últimas avaliações feitas no solo sem plantas, os valores de N mineral decresceram, assim como as diferenças numéricas entre os tratamentos (Gráfico 1 e 2; Tabela 3).

Tabela 3. Valores de concentração do N-NH₄ (mg/kg) mensurados em cada amostragem nos vasos sem plantas ao longo dos 100 dias de análises. Lages, SC, 2014/2015. Exp. Casa de Vegetação.

| Trat. * | 7 | 14 | 21 | 28 | 35 | 42 | 49 | 56 | 63 | 70 | 77 | 84 | 91 | 98 |
|-----------|----------------------|-------|--------------------|--------------------|--------|-------|-------|-------|--------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------------------|
| Test. | 46 | 59 b | 65 | 54 | 63 c | 43 e | 58 bc | 58 ab | 54 | 53 | 54 d | 51 e | 46 b | 42 |
| UR 100 LA | 41 | 78 ab | 63 | 69 | 105 bc | 98 ab | 49 c | 53 ab | 56 | 54 | 87 bc | 68 bc | 51 ab | 45 |
| UR 200 LA | 50 | 80 ab | 70 | 65 | 100 bc | 81 ab | 54 bc | 51 b | 51 | 48 | 85 bc | 65 c | 52 ab | 45 |
| AZ100 LA | 42 | 66 ab | 68 | 56 | 109 bc | 87 bc | 54 bc | 52 b | 51 | 50 | 71 c | 70 ab | 52 ab | 44 |
| AZ200 LA | 36 | 75 ab | 64 | 68 | 151 ab | 76 cd | 48 c | 55 ab | 54 | 47 | 89 b | 78 a | 54 ab | 46 |
| UR 100 LM | 55 | 82 ab | 69 | 70 | 112 ab | 71 d | 50 bc | 53 ab | 51 | 48 | 80 bc | 57 d | 51 ab | 40 |
| UR 200 LM | 48 | 74 ab | 61 | 66 | 163 a | 93 ab | 57 bc | 55 ab | 53 | 49 | 92 b | 61 cd | 47 b | 40 |
| AZ100 LM | 44 | 87 a | 68 | 68 | 135 ab | 89 bc | 63 ab | 59 ab | 58 | 51 | 77 bc | 61 cd | 47 b | 42 |
| AZ200 LM | 51 | 87 a | 72 | 63 | 145 ab | 111 a | 71 a | 64 a | 60 | 53 | 121 a | 79 ab | 55 a | 42 |
| dms | 20,6 ^{ns**} | 27,5 | 14,5 ^{**} | 21,8 ^{**} | 52,5 | 18,6 | 13,7 | 11,0 | 10,3 ^{**} | 7,7 ^{**} | 15,8 | 9,4 | 7,1 | 9,9 ^{**} |
| % C.V | 15,7 | 12,5 | 7,7 | 11,9 | 15,2 | 7,8 | 8,5 | 6,9 | 6,7 | 5,3 | 6,5 | 5,0 | 4,8 | 8,1 |

* Test.) Testemunha sem aplicação de N; UR 100 LA) Ureia aplicada sobre lâmina de água e dose de 100 mg N kg⁻¹ solo; UR 200 LA) Ureia aplicada sobre lâmina de água e dose de 200 mg N kg⁻¹ de solo; AZ 100 LA) Azal 5® aplicado sobre lâmina de água e dose de 100 mg N kg⁻¹ solo; AZ 200 LA) Azal 5® aplicado sobre lâmina de água e dose de 200 mg N kg⁻¹ solo; UR 100 LM) Ureia aplicada sobre a lama e dose de 100 mg N kg⁻¹ solo; UR 200 LM) Ureia aplicada sobre a lama e dose de 200 mg N kg⁻¹ solo; AZ 100 LM) Azal 5® aplicado sobre a lama e dose de 100 mg N kg⁻¹ solo; AZ 200 LM) Azal 5® aplicado sobre a lama e dose de 200 mg N kg⁻¹ solo; ns** - Diferenças entre médias não significativas na coluna;

Fazendo uma análise conjunta do somatório da concentração de nitrogênio amoniacal ao longo do período de 100 dias (Tabela 4), constatou-se que o tratamento com Azal 5® na dose de 200 mg kg⁻¹ aplicado na lama destacou-se dos demais tratamentos com N, que não diferiram entre si e foram superiores a testemunha. Isto pode ser um indicativo de que houve menores perdas por de N neste tratamento, principalmente na comparação com os demais tratamentos em que se aplicou a mesma dose de N por kg de solo.

O nitrogênio do Azal 5® aplicado nos tratamentos com solo drenado pode ter sido carregado em profundidade através da água já que se observou maior conteúdo de amônio no solo neste tratamento. Segundo Vlek et al. (1980), Simpson et al. (1984), Humphreys et al. (1987), Katyal & Gadalla (1990), a aplicação da ureia na água aumenta o conteúdo de N amoniacal sujeito a perdas já que o N fica a poucos centímetros de profundidade no solo e difunde-se tanto para a água, onde pode ser volatilizado, ou para o solo, onde pode ser nitrificado na camada oxidada e posteriormente, desnitrificado.

TABELA 4. Somatório da concentração de N-NH₄ (mg/kg), acumulado no período de 100 dias em vasos sem plantas. Lages, SC, 2014/2015. Exp. Casa de Vegetação.

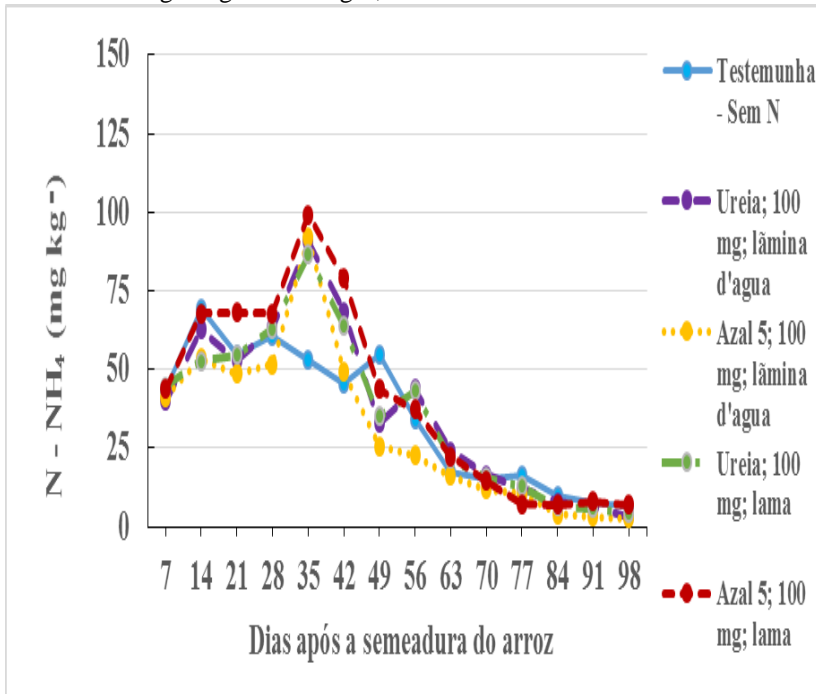
| Tratamento | Aplic. Lãmina | Aplic. Lama ^{1/} |
|---------------------------|----------------------|----------------------------------|
| Testemunha - Sem N | 750 c | 750 c |
| Ureia; 100 mg | 920 b | 894 b |
| Ureia; 200 mg | 900 b | 964 b |
| Azal 5; 100 mg | 879 b | 954 b |
| Azal 5; 200 mg | 944 b | 1075 a |
| dms | 107,57 | |
| % C.V | 4,08 | |

^{1/} Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%;

1.4.1.4. Concentrações de $N-NH_4^+$ em Vasos com Plantas

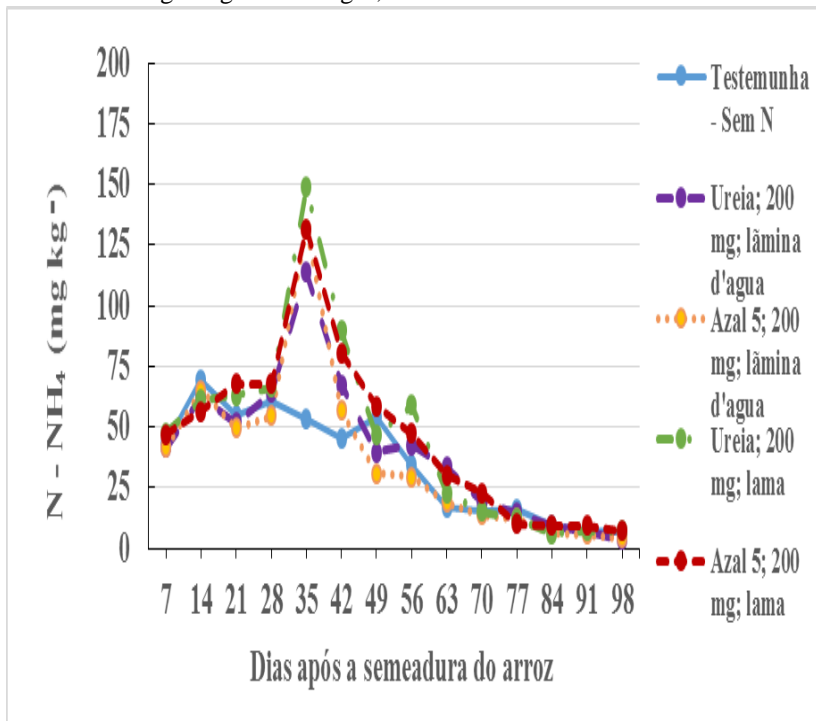
Os valores da análise temporal da concentração de nitrogênio mineral no solo dos vasos com plantas podem ser observados nos Gráficos 3 e 4 e na Tabela 5.

GRÁFICO 3: Concentração de amônio ($N-NH_4$) dos vasos com plantas, comparando ureia e Azal 5® aplicados na lama e em lâmina de água, na dose de 100 mg N kg^{-1} solo. Lages, SC.



Fonte: AUTOR (2014)

GRÁFICO 4: Concentração de amônio (N-NH₄) dos vasos com plantas, comparando ureia e Azal 5® aplicados na lama e em lâmina de água, na dose de 200 mg N kg⁻¹ solo. Lages, SC.



Fonte: AUTOR (2014)

Nos vasos com plantas também se observou nos primeiros 15 dias após o alagamento que as concentrações de N-NH_4 sofreram uma elevação natural em todos os tratamentos, conforme já comentado anteriormente para os vasos sem plantas (Gráficos 3 e 4, Tabela 5).

Após os 15 dias iniciais, os valores do teor de N no solo se estabilizaram até o momento da primeira aplicação nitrogenada, feita na quarta semana após a semeadura do arroz. Nesse caso, o comportamento dos tratamentos com relação a formação de amônio foi idêntico ao ocorrido nos vasos sem plantas, até aproximadamente 30 dias. A partir daí, as plantas intensificaram a absorção de N e os teores diminuíram constantemente até a valores inferiores a 25 mg kg de solo aos 70 dias da semeadura do arroz.

Na sexta e sétima semanas de avaliações (42 e 49 dias após o alagamento), mesmo com o decréscimo nas concentrações de amônio, novamente as aplicações feitas sobre a lama apresentam maiores valores de N-NH_4^+ no solo (Tabela 5).

Na nona, décima e décima primeira avaliações (63, 70 e 77 dias após a semeadura), as concentrações decresceram, mesmo após a segunda cobertura nitrogenada, devido ao alto consumo de N pelas plantas. Nas últimas três semanas de avaliações (84, 91 e 98 dias após a semeadura), as concentrações de amônio continuaram a decrescer. Nas seis últimas coletas, feitas entre 63 e 98 dias após a semeadura, a concentração de N-NH_4^+ no solo do tratamento testemunha não diferiu dos tratamentos em que se aplicou a maior dose de nitrogênio (Tabela 5).

As análises não constataram concentrações significativas de N-NH_4^+ , logo após a segunda cobertura nitrogenada, feita quando o arroz se encontrava em estágio R0/R1 da escala de Counce et al. (2000), correspondente a iniciação da panícula, alcançada aos 72 dias após a semeadura do arroz. Isto possivelmente ocorreu devido a dois fatores: a intensa absorção deste nutriente nesta fase do ciclo da cultura e também pelas diversas formas de perda de nitrogênio. Após a diferenciação do primórdio floral existe grande quantidade de raízes nos vasos, o que aumenta a perda por nitrificação-denitrificação devido ao aumento de oxigênio fornecido ao solo pelos aerênquimas que o transportam até as raízes (PONNAPERUMA, 1977; MIKKELSEN, 1987).

Datta (1995), trabalhando em experimentos quantificando concentrações de amônio no solo em vasos com plantas, encontrou que após um período de 60 dias as concentrações de amônio eram mínimas. Isto diferiu dos resultados obtidos no presente trabalho, aonde as concentrações de amônio não chegaram a zerar, porém ficaram em valores abaixo de 10 mg kg^{-1} de solo nas três últimas coletas realizadas, tanto no tratamento testemunha, quanto nos tratamentos que receberam aplicação de N (Tabela 5).

Tabela 5. Valores de concentração do N-NH₄ (mg/kg) mensurados em cada amostragem em vasos com plantas ao longo dos 100 dias de análises. Lages, SC, 2014/2015. Exp. Casa de Vegetação.

| Trat.* | 7 | 14 | 21 | 28 | 35 | 42 | 49 | 56 | 63 | 70 | 77 | 84 | 91 | 98 |
|-----------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| Test. | 43 | 69 | 54 ab | 61 | 53 d | 45 bc | 54 ab | 34 bc | 17 ab | 15 ab | 16 a | 10 | 7 ab | 6 ab |
| UR 100 LA | 40 | 63 | 52 ab | 63 | 90 c | 68 ab | 32 cd | 43 ab | 24 ab | 16 ab | 12 ab | 8 | 6 ab | 3 bc |
| UR 200 LA | 42 | 63 | 51 b | 64 | 113 bc | 67 ab | 39 bc | 42 ab | 33 a | 19 ab | 14 a | 9 | 7 ab | 3, bc |
| AZ100 LA | 41 | 54 | 48 b | 52 | 91 c | 49 bc | 25 d | 22 c | 16 b | 11 b | 10 ab | 4 | 3 c | 2 c |
| AZ200 LA | 42 | 65 | 49 b | 55 | 131 ab | 56 bc | 30 c | 29 bc | 18 ab | 13 ab | 12 ab | 7 | 5 bc | 4 ab |
| UR 100 LM | 45 | 53 | 54 ab | 42 | 104 c | 63 bc | 35 c | 43 ab | 21 ab | 15 ab | 12 ab | 6 | 5 bc | 4 ab |
| UR 200 LM | 48 | 61 | 63 ab | 66 | 148 a | 89 a | 46 ab | 59 a | 23 ab | 15 ab | 12 ab | 6 | 7 ab | 7 ab |
| AZ100 LM | 44 | 68 | 67 a | 68 | 99 bc | 78 ab | 43 ab | 37 bc | 22 ab | 14 ab | 7 b | 7 | 8 ab | 7 ab |
| AZ200 LM | 47 | 56 | 67 a | 68 | 131 ab | 80 ab | 58 a | 47 ab | 30 ab | 22 a | 10 ab | 9 | 9a | 7 ab |
| dms | 19,7** | 38,5** | 15,6 | 27,7** | 52,5 | 33,6 | 16,1 | 20,6 | 17,5 | 10,1 | 7,1 | 5,7** | 3,8 | 4,1 |
| % C.V | 15,9 | 22,0 | 9,6 | 15,6 | 15,2 | 11,1 | 13,7 | 18,0 | 26,5 | 21,8 | 20,6 | 27,6 | 20,0 | 28,0 |

* Test.) Testemunha sem aplicação de N; UR 100 LA) Ureia aplicada sobre lâmina de água e dose de 100 mg N kg⁻¹ solo; UR 200 LA) Ureia aplicada sobre lâmina de água e dose de 200 mg N kg⁻¹ de solo; AZ 100 LA) Azal 5® aplicado sobre lâmina de água e dose de 100 mg N kg⁻¹ solo; AZ 200 LA) Azal 5® aplicado sobre lâmina de água e dose de 200 mg N kg⁻¹ solo; UR 100 LM) Ureia aplicada sobre a lama e dose de 100 mg N kg⁻¹ solo; UR 200 LM) Ureia aplicada sobre a lama e dose de 200 mg N kg⁻¹ solo; AZ 100 LM) Azal 5® aplicado sobre a lama e dose de 100 mg N kg⁻¹ solo; AZ 200 LM) Azal 5® aplicado sobre a lama e dose de 200 mg N kg⁻¹ solo;

ns** - Diferenças entre médias não significativas na coluna;

A análise do somatório da concentração de N-NH₄ acumulada ao longo do período de 100 dias nos vasos com plantas demonstrou que os maiores valores foram registrados na dose de 200 mg de N kg⁻¹ de solo aplicada na lama, independentemente da fonte de nitrogênio utilizada (Tabela 6). Não houve diferenças significativas entre a ureia e o Azal 5@ no total de N acumulado no solo no período de 100 dias nos vasos com plantas, independentemente da dose e da forma de aplicação. Porém, há indícios que o modo de aplicação do fertilizante nitrogenado na lama disponibiliza maiores concentrações de amônio para as plantas.

Heenan & Bacon, (1989) e Bollich et al., (1996) concluíram que existe superioridade, em parâmetros vegetativos, na nutrição da planta e produção de grãos, da aplicação do N em solo seco na forma de ureia, antes de inundar, comparado com a aplicação pouco depois da inundação, feita na água. Bollich et al. (1993), em estudos comparando aplicações de N feitas em dose única, antes de inundar, com aplicações parceladas, constatou-se produções de grãos superiores ou similares com aplicações únicas antes de inundar a lavoura, comparada com as aplicações fracionadas. Larrosa (2000) verificou que o modo de aplicação do fertilizante nitrogenado em solo drenado, com posterior inundação, proporcionou maior absorção de N quando comparado com aplicação realizada na lâmina de água. Contudo, o rendimento de grãos e os seus componentes não foram afetados pelo modo de aplicação da ureia. Os dados obtidos nos vasos com plantas e os reportados na literatura podem ser um indicativo de que a forma de aplicação do N é

mais relevante do que a fonte de N utilizada. As alternativas para substituição da ureia disponíveis para a cultura do arroz irrigado não tem demonstrado superioridade quanto ao rendimento de grãos da cultura, além de esbarrar no alto custo. Já o modo de aplicação sobre a lama com posterior inundação tem apresentado resultados mais consistentes na redução das perdas de nitrogênio.

TABELA 6. Somatório da concentração de N-NH₄ (mg/kg,) acumulado no período de 100 dias nos vasos com plantas. Lages, SC, 2014/2015. Exp. Casa de Vegetação.

| Tratamento | Aplic. Lâmina | Aplic. Lama 1/ |
|---------------------------|----------------------|-----------------------|
| Testemunha - Sem N | 488 bc | 488 bc |
| Ureia; 100 mg | 525 bc | 510 bc |
| Ureia; 200 mg | 571 ab | 654 a |
| Azal 5; 100 mg | 433 c | 573 ab |
| Azal 5; 200 mg | 521 bc | 647 a |
| dms | 94,33 | |
| % C.V | 6,02 | |

^{1/} Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

1.4.2 Experimento 2

Não houve diferenças significativas entre fontes, doses e formas de aplicação do fertilizante nitrogenado em cobertura sobre o rendimento de grãos, os componentes do rendimento e a eficiência de uso do N (Tabelas 7 e 8). Também não foram registradas diferenças significativas entre os tratamentos com nitrogênio e a testemunha para estas variáveis. A única variável

mensurada no experimento a campo para a qual se constatou diferença significativa entre tratamentos foi a massa seca de parte aérea quando as plantas se encontravam no estágio V7 da escala de Counce et al. (2000), onde o tratamento com aplicação de 90kg ha^{-1} de ureia na lama propiciou maior valor do que a testemunha (Tabela 8).

O rendimento de grãos externado pelas parcelas sem aplicação de N em cobertura foi elevado (7.757 kg ha^{-1}), indicando que houve boa disponibilidade de N às plantas durante o seu ciclo nas parcelas sem aplicação de N. Por outro lado, os tetos produtivos foram inferiores a 9.000 kg em todos os tratamentos em que se aplicou nitrogênio em cobertura. Estas duas características mitigaram as possíveis diferenças entre as fontes, doses e formas de aplicação do fertilizante nitrogenado avaliadas no trabalho.

TABELA 7: Efeito de fontes, modos de aplicação e doses de nitrogênio em cobertura sobre os componentes do rendimento do arroz irrigado. Itajaí, SC, 2014/15. Exp. De Campo.

| Tratamento * | Paniculas por m ² (nº) | Grãos por panícula (nº) | Massa de 1.000 grãos (g) | Esterilidade (%) |
|--------------|-----------------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------|
| Test. | 308 | 116 | 27,6 | 21,1 |
| AZ 60 LM | 316 | 125 | 26,9 | 26,8 |
| UR 60 LM | 324 | 105 | 24,6 | 23,7 |
| AZ 90 LM | 328 | 128 | 24,5 | 25,1 |
| UR 90 LM | 366 | 122 | 25,5 | 22,7 |
| AZ 60 LA | 358 | 133 | 27,1 | 17,8 |
| UR 60 LA | 352 | 125 | 26,3 | 20,4 |
| AZ 90 LA | 354 | 127 | 26,7 | 21 |
| UR 90 LA | 360 | 121 | 26,5 | 20,2 |
| dms | 54,46 ** | 35,44 ** | 6,2 ** | 16,17 ** |
| % C.V | 9,31 | 9,97 | 8,15 | 25,22 |

* Test.) Testemunha sem aplicação de N; AZ 60 LM) Azal 5®, aplicado sobre a lama e dose de 60 kg N/ha; UR 60 LM) Ureia na lama e dose de 60 kg N/ha; AZ 90 LM) Azal 5®, aplicado sobre a lama e dose de 90 kg N/ha; UR 90 LM) Ureia na lama e dose de 90 kg N/ha; AZ 60 LA) Azal 5®, aplicado sobre a lâmina de água e dose de 60 kg N/ha; UR 60 LA) Ureia na lâmina de água e dose de 60 kg N/ha; AZ 90 LA) Azal 5®, aplicado sobre a lâmina de água e dose de 90 kg N/ha; UR 90 LA) Ureia na lâmina de água e dose de 90 kg N/ha.

** - Diferenças entre médias não significativas na coluna;

TABELA 8: Efeito de fontes, modos de aplicação e doses de nitrogênio em cobertura sobre a massa seca de parte aérea, o rendimento de grãos, eficiência de uso do N e teor de N no grão. Itajaí, SC, 2014/15. Exp. De Campo.

| Tratamento * | Massa da parte aérea (g) | Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹) | Eficiência Agronômica de Uso do N (kg kg ⁻¹) | Teor N grão (%) |
|--------------|--------------------------|--|--|-----------------|
| Test. | 442 b | 7.757 | — | 1,21 |
| AZ 60 LM | 555 ab | 7.763 | 0,1 | 1,14 |
| UR 60 LM | 610 ab | 8.324 | 9,5 | 1,14 |
| AZ 90 LM | 592 ab | 7.664 | 0,0 | 1,15 |
| UR 90 LM | 793 a | 8.286 | 5,9 | 1,23 |
| AZ 60 LA | 633 ab | 8.827 | 17,8 | 1,12 |
| UR 60 LA | 624 ab | 8.876 | 18,7 | 1,05 |
| AZ 90 LA | 562 ab | 8.942 | 13,2 | 1,08 |
| UR 90 LA | 607 ab | 8.742 | 10,9 | 1,16 |
| dms | 287,15 ^{1/} | 1.731 ** | 28,04 ** | 0,28 ** |
| % C.V | 16,43 | 7,14 | 116,0 | 8,6 |

* Test.) Testemunha sem aplicação de N; AZ 60 LM) Azal 5®, aplicado sobre a lama e dose de 60 kg N/ha; UR 60 LM) Ureia na lama e dose de 60 kg N/ha; AZ 90 LM) Azal 5®, aplicado sobre a lama e dose de 90 kg N/ha; UR 90 LM) Ureia na lama e dose de 90 kg N/ha; AZ 60 LA) Azal 5®, aplicado sobre a lâmina de água e dose de 60 kg N/ha; UR 60 LA) Ureia na lâmina de água e dose de 60 kg N/ha; AZ 90 LA) Azal 5®, aplicado sobre a lâmina de água e dose de 90 kg N/ha; UR 90 LA) Ureia na lâmina de água e dose de 90 kg N/ha.

** - Diferenças entre médias não significativas na coluna; ^{1/} Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%;

Os valores de eficiência de uso do nitrogênio, que se refere ao quanto foi produzido a mais que a testemunha por quilo de nitrogênio aplicado em cada tratamento, foram inferiores a 20 em todos os tratamentos (Tabela 8). A eficiência de recuperação do N demonstrou ampla variação dos resultados visto que ela é determinada pelos resultados da testemunha e pela quantidade de nitrogênio aplicado. Larrosi (2000) encontrou valores de eficiência próximos a 13 kg de grãos kg⁻¹ de N aplicado. Yoshida (1981) reportaram valores de EAU oscilando entre 15 e 20 kg de grãos kg⁻¹ de N aplicado. Já Mota et al. (2015), trabalhando com quatro fontes de N para a cultura do milho, constaram valores de eficiência agrônômica de uso do N superiores a 30 kg de grãos kg⁻¹ de N aplicado. Os menores valores de EAU registrados neste e em outros trabalhos feitos com arroz irrigado, na comparação com o milho, ressaltam o baixo aproveitamento do fertilizante mineral à produção de grãos.

As concentrações de nitrogênio no grão variaram de 1,05% a 1,23% e não diferiram estatisticamente, independentemente da fonte, dose ou forma de aplicação do nitrogênio (Tabela 8).

Três fatores podem ajudar a explicar os resultados obtidos no experimento de campo. O primeiro está relacionado com o sistema de irrigação utilizado no trabalho. A área foi alagada no início do mês de outubro de 2014, por ocasião do preparo do solo para a formação do lameiro. Por outro lado, as mudas somente foram transplantadas em 13/11/2014, 35 dias após o alagamento, devido aos altos índices pluviométricos ocorridos no período. O alagamento antecipado possivelmente

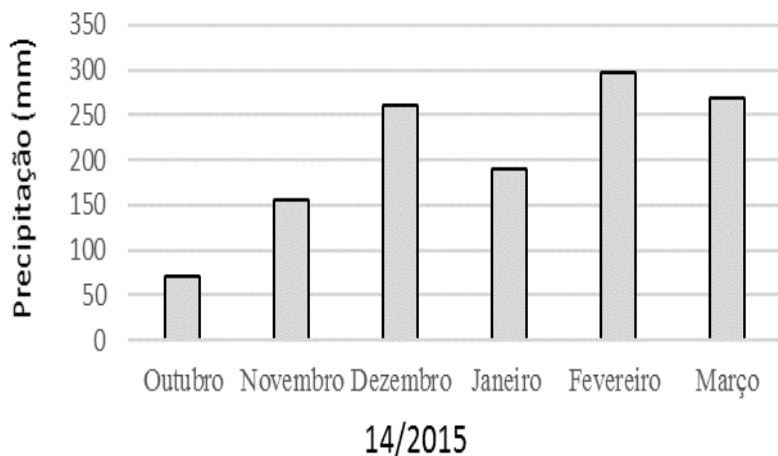
contribuiu para que a matéria orgânica tenha liberado e acumulado amônio para as plantas no início do ciclo, conforme reportado por Knoblauch et al (2012).

O segundo fator foi a ocorrência de altos índices pluviométricos durante todo o período experimental, registrados no município de Itajaí.

Entre novembro de 2014, quando as mudas foram transplantadas, e março de 2015, quando o ensaio foi colhido, foram registrados 1124 mm de chuva na estação experimental da Epagri em Itajaí (Gráfico 5), sendo que a média anual para o município é de 1596 mm. A elevada precipitação pluviométrica possivelmente fez com que o nitrogênio proveniente das chuvas contribuísse para atender a demanda nitrogenada das plantas.

A elevada precipitação pluviométrica é um dos fatores que podem explicar a ausência de diferença entre os tratamentos para quase todas as variáveis analisadas. A precipitação de N na atmosfera pode ocorrer de forma combinada, como amônia e formas orgânicas em resíduos finamente subdivididos. As chuvas carregam para o solo o NH_3 , o NO_3^- e outras formas existentes na atmosfera, principalmente em áreas industriais (FORNARO, 2006).

GRÁFICO 5: Precipitação (mm) ocorrida durante a estação de crescimento do arroz no município de Itajaí, SC, 2014/15.



FONTE: EPAGRI (2015)

Outro fator climático que está relacionado com a precipitação é a radiação solar. As nuvens de precipitação deixam os dias encobertos, bloqueando parte da luz e diminuindo a radiação solar.

Segundo as recomendações técnicas da SOSBAI (2014) para a cultura do arroz irrigado no sul do Brasil, em anos previstos para serem chuvosos deve-se usar menores doses de nitrogênio em cobertura, em relação à dose recomendada, pois os níveis de produtividade não serão tão altos. A menor disponibilidade de radiação solar, em função do maior número de dias chuvosos ou encobertos, favorece o aumento na incidência de doenças e diminui a resposta da cultura a adubação nitrogenada de cobertura.

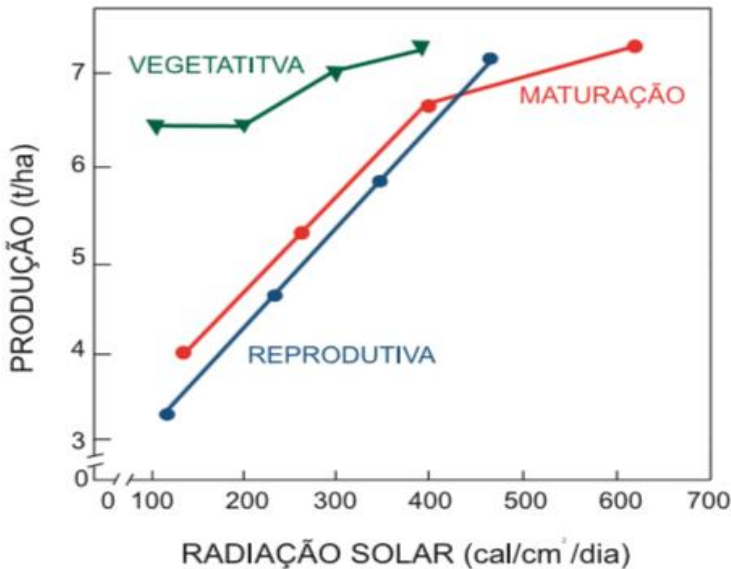
A necessidade de radiação solar difere de um estágio de crescimento do arroz para outro. Nos estádios iniciais de desenvolvimento vegetativo, a planta de arroz necessita de pouca radiação solar. A partir da diferenciação do primórdio floral, a necessidade de radiação solar aumenta progressivamente. Assim, o rendimento de grãos é afetado quando o sombreamento ocorre durante as fases reprodutivas e de maturação pela redução, do número de espiguetas e da massa de grãos (YOSHIDA & PARAO, 1976).

O efeito da disponibilidade de radiação solar nas distintas fases fenológicas sobre o rendimento de grãos pode ser visualizado no Gráfico 6. Os maiores incrementos na produtividade, para níveis crescentes de radiação solar, são obtidos durante as fases reprodutiva e de maturação. Já a fase vegetativa apresenta uma baixa resposta à radiação solar. Assim, produtividades em torno de 5.000 kg ha⁻¹ podem ser alcançadas com níveis de radiação solar de aproximadamente 300 cal cm⁻² dia⁻¹ durante a fase reprodutiva. Durante a fase de maturação, produtividades ligeiramente superiores podem ser alcançadas com níveis semelhantes de radiação solar. Com base nesses resultados, Yoshida (1981) sugeriu que a radiação solar exerce um papel mais destacado, quando se buscam produtividades superiores a 5.000 kg ha⁻¹. Deve-se destacar que nos níveis de produtividade obtidos atualmente, os quais superam 7.000 kg ha⁻¹, é provável que a redução da disponibilidade de radiação observada no ano agrícola 2014/2015 em Itajaí tenha restringido as produtividades e a resposta à fertilização nitrogenada de forma mais marcante do

que nos trabalhos reportados por Yoshida & Parao (1976) e Yoshida (1981).

Uma das medidas para melhorar o aproveitamento da radiação solar é definir a época de semeadura mais apropriada para cada cultivar, para que as fases críticas entre diferenciação da panícula e floração coincidam com os meses de maior disponibilidade de radiação solar, que são dezembro e janeiro (SOSBAI, 2014). Isto normalmente ocorre quando o arroz é semeado no início da primavera, entre meados de setembro e meados de outubro. Esta prática cultural não pode ser adotada neste experimento, onde as plantas somente puderam ser transplantadas em meados de novembro de 2014.

GRÁFICO 6. Efeito da radiação solar nas diferentes fases de crescimento do arroz, sobre sua produtividade. Los Banos, 1976.



FONTE: YOSHIDA & PARAO (1976)

O terceiro fator está ligado à incidência de doenças, principalmente do fungo *Ustilaginoidea virens*, causador do falso carvão (Imagem 5). Segundo Nunes (2010), a doença causa pequenos danos econômicos na produção de grãos, sendo que o principal problema está relacionado com a qualidade da aparência dos grãos e das sementes e que tem um efeito direto sobre a produtividade e a qualidade das sementes. Essa doença, apesar de ter um histórico de pouca importância econômica, está emergente em todos os países do mundo que cultivam arroz, causando consideráveis danos à cultura.

O falso carvão é observado nos grãos, como uma forma de massa arredondada de coloração verde-olivácea e aspecto pulverulento, com tamanho variável de 4-10 mm de diâmetro. Pode também se manifestar como uma massa de tamanho reduzido contida pelas glumelas. O tipo de sintoma depende da época de infecção dos grãos ter ocorrido mais cedo ou mais tarde. Assim, quando a infecção atinge o ovário nos estádios iniciais de desenvolvimento, este é destruído e torna-se gradativamente uma massa estromática crescente, inicialmente lanuginosa, posteriormente amarelo-alaranjada ou amarelo-esverdeada e, finalmente, verde-olivácea, de formato globoso e aspecto pulverulento. Quando a infecção é tardia, a massa estromática não se desenvolve tanto. Pode, porém, substituir o grão, ficando contida pelas glumelas ou recobrimdo as mesmas (BEDENDO, 1997).

O patógeno sobrevive em restos de cultura, sendo disseminado pelo vento e pela água. As sementes também podem veicular estruturas fúngicas. A infecção pode ocorrer desde os primeiros estádios de desenvolvimento da planta e as

hifas são geralmente encontradas nas regiões de crescimento dos perfilhos. A infecção da panícula pode ocorrer durante um curto período que precede a emissão da mesma, ou seja, ainda no estágio de emborrachamento da planta. Quando a infecção ocorre nos estádios iniciais do florescimento, a panícula exibe massas de esporos de cor verde, que representam o sintoma típico da doença. Na infecção tardia (estádio de grão maduro), os esporos acumulam-se nas glumas, incham, separam a pálea da lema e, finalmente, todo o grão é substituído e recoberto pelo fungo. Os esporos presentes nas plantas infectadas são novamente dispersados pela água e pelo vento. A presença de umidade alta (98%), chuvas contínuas durante a emissão das panículas, temperaturas altas (28°C), solos de elevada fertilidade e excesso de adubação nitrogenada favorecem a ocorrência da doença (BEDENDO, 1997).

A ocorrência de patógenos foi favorecida pelos altos índices pluviométricos, pela elevada umidade relativa do ar e pela baixa disponibilidade de radiação solar. As semeaduras feitas nas épocas mais tardias geram maior ataque da doença. As maiores severidades do fungo ocorrem quando as épocas de semeadura coincidem com as condições de alta precipitação pluviométrica, alta umidade relativa do ar, nebulosidade e temperatura média diária do ar em torno de 25°C durante os estádios de desenvolvimento de emissão de panícula e floração (NUNES et al., 2010).

As condições em que o ensaio de campo foi conduzido em Itajaí na safra 2014/2015 explicam a alta incidência do fungo, já que a semeadura foi feita tardiamente devido aos

altos índices pluviométricos, que impossibilitaram a semeadura na época recomendada.

IMAGEM 5: Doença do Falso-carvão na cultura do arroz irrigado, ocasionado pelo fungo *Ustilaginoidea virens*



FONTE: CORTE (2012)

1.5 CONCLUSÕES

1.5.1 Experimento 1

As fontes, doses e formas de aplicação dos fertilizantes testados não interferem significativamente nas características agronômicas do arroz irrigado cultivado em casa de vegetação.

A ureia e o Azal 5 não diferem quanto a concentração de N. Não houve diferenças consistentes entre as duas fontes de N amoniacal presente no solo tanto nos vasos com plantas e sem plantas ao longo do período de 98 dias de avaliação.

De uma maneira geral, houve na maior parte das coletas maior teor de N mineral no solo quando os fertilizantes foram aplicados na lama do que em lâmina de água.

1.5.2 Experimento 2

As doses, formas e fontes de nitrogênio aplicadas em cobertura não interferem no rendimento de grãos, nos componentes do rendimento e na eficiência de uso do N do arroz irrigado cultivado no sistema pré-germinado.

A utilização da fonte de N de liberação lenta AZAL 5® não propicia vantagens significativas no rendimento de grãos e na eficiência de uso do N, em relação à ureia, independentemente da dose e do modo de aplicação.

1.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho foi conduzido com base na hipótese de que a fonte de liberação lenta AZAL 5®, combinada com a aplicação do fertilizante na lama, são estratégias que podem reduzir as perdas do fertilizante nitrogenado por volatilização e desnitrificação, aumentando a eficiência de uso do N e o rendimento de grãos.

Estas hipóteses não foram confirmadas no presente trabalho, já que as plantas de arroz foram mais influenciadas pelas condições ambientais do que pelas estratégias de manejo traçadas para aumentar a eficiência de uso do nitrogênio. As condições ambientais na safra 2014/15 afetaram diretamente os fatores testados no experimento de campo, levando em consideração os altos índices pluviométricos e, como consequência, a baixa radiação solar, a incidência do fungo do falso carvão e o acúmulo de nitrogênio devido ao alagamento antecipado.

Tendo em vista a ineficiência das fontes alternativas de nitrogênio para a adubação nitrogenada na cultura do arroz irrigado e o seu alto custo, é pouco provável que a ureia venha a ser substituída por outros fertilizantes de liberação lenta e controlada em curto prazo. No entanto, a aplicação do fertilizante na lama pode ser uma alternativa interessante para melhorar a eficiência de uso do nitrogênio do arroz irrigado cultivado no sistema pré-germinado, independentemente da fonte utilizada.

2. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas, BA. Embrapa Mandioca e Fruticultura. 2010. 234 p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/26783/1/livro-qualidade-agua.pdf>
Acesso em: 05 janeiro 2016.

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

BARBOSA FILHO, M. P. **Nutrição e adubação do arroz: sequeiro e irrigado**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 129p. (Boletim técnico, 9).

BEDENDO, I. P. Doenças do Arroz. ESALQ-USP, Piracicaba, SP. **In: Manual de Fitopatologia. Doenças de plantas cultivadas**. vol 2. Ed. Agronômica Ceres Ltda. São Paulo, SP. 1997. p. 98-100.

BILLARD, V. Two Biostimulants Derived from Algae or Humic Acid Induce Similar Responses in the Mineral Content and Gene Expression of Winter Oilseed Rape (*Brassica napus* L.). **Journal of plant growth regulation**. p. 305-316, 2014.

http://icore.unicaen.fr/servlet/com.univ.collaboratif.utils.LectureFichier?ID_FICHIER=1339426816968

Acesso em: 25 de novembro 2015.

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

BROADBENT, F. E. **Nitrogen and Rice**. Int. Rice Res. Inst. (IRRI), Los Banos, Philippines. p. 105-118, 1979.

CAMPELLO JUNIOR, J. O. **Avaliação da capacidade de extração de água do solo pelo arroz de sequeiro (*Oryza sativa* L.) sob diferentes doses de nitrogênio.** 1985. 127p. Tese (Doutorado)-Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Piracicaba, 1985.

CANTARELLA, H.; DUARTE, A.P. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: GALVÃO, J.C.C.; MIRANDA, G.V. **Tecnologias de produção do milho.** Viçosa: UFV, 2004. p.139-182.

CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. **O uso de inibidor de uréase para aumentar a eficiência da ureia.** I Simpósio sobre Informações Recentes para Otimização da Produção Agrícola. INPI, Piracicaba, SP. 2006. 19 p.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFSRS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.** 10 ed. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul, 1995. 224p.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFSRS/SC. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.** 3 ed. Passo Fundo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: Grãos, safra 2012/2013.** Brasília: CONAB, 2013. 29 p.

COUNCE, P. A. et al. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 4, p. 436-443, 2000.

CRUZ, M. et al. **Identificación de fuentes de tolerancia al frío en arroz y producción de líneas mejoradas.** In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 8. 2013, Santa Maria, RS. **Anais.** Santa Maria, RS: Pallotti, 2013. v 1. p. 97 – 99.

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

EBERHARDT, D. S.; SCHIOCCHET, M. A. (Org). **Recomendações para a produção de arroz irrigado em Santa Catarina (sistema pré-germinado).** Florianopolis, SC: Epagri, 2011. 83 p.

FAGERIA, N. K.; SLATON, N. A; BALIGAR, V. C. Nutrient management for improving lowland rice productivity and sustainability. **Advances in Agronomy**, v. 80, 2003. 152 p.

FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. **Manejo e fertilidade de solos em plantio direto.** Guarapuava – PR: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2006. 218 p.

FORNARO, A. Águas de chuva: conceitos e breve histórico. Há chuva ácida no Brasil?. **Revista USP**, São Paulo, SP, n.70, junho/Agosto, 2006.

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J.L. **Manual da cultura do arroz**. Jaboticabal: FUNEP, 1993. 221 p.

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., MUIRHEAD, W. A., MELHUIISH, 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, 1987.

HUSAIN, S. M.; SHARMA, U. C. Response of rice to nitrogen fertilizer in acidic soil of Nagaland. **Journal Agricola Science**, v. 61, p. 662-664, 1991.

IRGA – Instituto Rio Grandense do Arroz. Arroz Irrigado: **Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil**. Porto Alegre, RS: Irga, 2001. 128 p.

JORGE, J. A. **Solo: manejo e adubação**. 2º Ed. São Paulo: Nobel, 1983. 307 p.

ISHERWOOD, K. F. **Mineral fertilizer use** and the environment. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2003. p. 63.

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.

KNOBLAUCH, R. et al. Dinâmica do nitrogênio em solo alagado decorrente da aplicação de ureia e cama de aves na presença e na ausência de plantas de arroz. **Agropecuária Catarinense**, v. 26, p. 79-84, 2013.

KNOBLAUCH, R. **Dinâmica do nitrogênio em solos alagados destinados ao cultivo de arroz irrigado**. Tese. (Doutorado em Manejo de Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages: UDESC. 2011.

KNOBLAUCH, R. et al. **Dinâmica do nitrogênio em solos alagados e rendimento do arroz em decorrência da aplicação de fertilizantes nitrogenados minerais e cama de aves**. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 2011, Balneário Camboriú, SC. **Anais**. Itajaí, SC: Epagri, 2011. 2 v. p. 207 – 210.

KNOBLAUCH, R. et al. Volatilização de amônia em solos alagados influenciada pela forma de aplicação de ureia. **Revista Brasileira de Ciência dos Solo**, v. 36, 2012. p. 813-822.

LARROSA, R. F. M. **Eficiência da aplicação de nitrogênio no perfilhamento do arroz em três manejos de irrigação**. Tese (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. UFSM. 2000.

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.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 569 p.

MARIANO, E; COSTA, H. T; CORRALES, R. A. F. **Ureia: Novas tecnologias para fertilizantes nitrogenados**. Piracicaba: 2011. 32 p.

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.

MARSCHALEK, R. et al. **Avaliação de linhagens e cultivares de arroz irrigado em região de elevada altitude e**

baixa temperatura média, no Alto Vale do Itajaí. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 7. 2011, Balneário Camboriú, SC. **Anais.** Itajaí, SC: Epagri, 2011. 1 v. p. 183 – 186.

MARSCHALEK, R. et al. **Seleção de genótipos de arroz irrigado adaptados à região de elevada altitude, sujeita a baixas temperaturas.** In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 8. 2013, Santa Maria, RS. **Anais.** Santa Maria, RS: Pallotti, 2013. 1 v. p. 181-184.

MARTHA JÚNIOR G. et al. Perda de amônia por volatilização em pastagem de capim tanzânia adubada com ureia no verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 6, 2004. p. 240-247.

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.

MONTERO, F. Urea incorporada al suelo en Perú. **Arroz en las Américas**, Cali, v. 14, n. 2, p. 2-3, 1993.

MOTA, M. R.; SANGOI, L. Fontes estabilizadas de nitrogênio como alternativa para aumentar o rendimento de grãos e a eficiência de uso do nitrogênio pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 512-522, 2015.

NEVES, P. de C. F. **Melhoramento Genético do Arroz: Exploração da Heterose no Desenvolvimento de Cultivares.** Piracicaba: USP, 2010. p. 16-21.

NUNES, C. D. M.; STEINMETZ, S.; SEVERO, A. C. **Avaliação da severidade do falso-carvão, *Ustilaginoidea virens* (Cooke.) Takah, em cultivares de arroz irrigado de diferentes ciclos biológicos e épocas de semeadura.** Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. n° 131. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. 2010. 19 p.

PATRICK, W. H. Jr; REDDY, C. N. Chemical changes in rice soils. In: **Soils and Rice.** International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Philippines, 1978. p. 361-379.

PONNAMPERUMA, F. N. The chemistry of submerged soils. **Advances Agronomy.** v. 24, p. 29-96, 1972.

PONNAMPERUMA, F. N. Physicochemical properties of submerged soils in relation to fertility. Manilla: International Rice research Institute (IRRI Research Series Papers, 5). 1977, 32 p.

REDDY, K. R., PATRICK, W. H. Jr., PHILLIPS, R. E. Evaluation of selected processes controlling nitrogen loss in a flooded soil. **Soil Science Society of America Journal,** Madison, v. 44, n. 6, p. 1241-1246, 1980.

RODRIGUES, R. B; KIEHL, J. C. Volatilização de amônia após emprego de ureia em diferentes doses e modos de aplicação. **Revista Brasileira de Ciência dos Solo**, Campinas, v. 10, n.1, 1986. p. 37-43.

ROGERI, D. A. **Suprimento e perdas de nitrogênio no solo decorrentes da adição de cama de aves. Dissertação.** (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages: UDESC. 2010. 94 p.

SANGOI, L.; ERNANI, P. R.; LECH, V. A.; RAMPAZZO, C. Volatilização de N- NH₃ em decorrência da forma de aplicação de ureia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 4, 2003. p. 687-692.

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

SCIVIATTARO, W. B. et al. **Dinâmica do nitrogênio em sistema de produção de arroz irrigado.** In: I Congresso da Cadeia Produtiva de Arroz Irrigado & VII Reunião Nacional de Pesquisa de Arroz – RENAPA. Florianópolis, **Anais**. Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 543-546.

SCIVIATTARO, W. B. et al. **Uso do inibidor de uréase NBPT na cultura do Arroz Irrigado.** Embrapa, 2005. Disponível em:

<http://www.cnpaf.embrapa.br/publicacao/seriedocumentos>.

Acesso em: 20 maio 2014.

SCHIOCCHET, M. A. et al. **SCS 118 Marques; A nova cultivar de arroz para Santa Catarina**. Epagri, 2013.

Disponível em;

<http://www.cbai2013.com.br/cdonline/docs/trab-1320-71.pdf>.

Acesso em 04 março 2016.

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.

SOSBAI. **Arroz Irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil**. Santa Maria, RS: SOSBAI, 2014. 189 p.

TAIZ, L.; ZIEGER, E. **Fisiologia Vegetal: Nutrição Mineral**, cap. 5. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 24 p.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise do solo, plantas e outros materiais**. 2 ed. Porto Alegre: Departamento de Solos. Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1995. 174 p.

Timac Agro Ltda. **Sulfammo Meta: a evolução dos nitrogenados**. Folhetim informativo. Porto alegre, RS: Timac Agro. 2014.

ULLOA, A. M. C.; LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K. **Utilização do nitrogênio fertilizante por dois híbridos de milho.** Campinas: Fundação Cargill, 1982. 66p.

VARGAS, V. P. **Manejo da adubação nitrogenada na recuperação de estresses em milho.** Dissertação. (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages: UDESC. 2010. 145 p.

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

YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science.** Los Baños: IRRI, 1981. 269p.

YOSHIDA, S.; PARAO, F.T. Climatic influence on yield and yield components of low-land rice in the tropics. In: irri (ed.). **Climate & Rice.** Los Banõs, 1976. p. 471-494.

WATANABE, T. & MITSUI, S. **Denitrification loss of fertilizer nitrogen in paddy soils its recognition and impact.** International rice research institute. Research paper series, 37. 1979.

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

ANEXO

ANEXO A – Escala fenológica para a cultura do arroz proposta por Counce et al. (2000).

Estádios de desenvolvimento de plântula.

S0 – semente seca de arroz.

S1 – emergência do coleóptilo ou radícula.

S2 – emergência do coleóptilo e radícula.

S3 – emergência do perfilo do coleóptilo.

Estádios de desenvolvimento vegetativo

V1 – Colar formado na 1ª folha do colmo principal.

V2 – Colar formado na 2ª folha do colmo principal.

V3 – Colar formado na 3ª folha do colmo principal.

V4 – Colar formado na 4ª folha do colmo principal.

V5 – Colar formado na 5ª folha do colmo principal.

V6 – Colar formado na 6ª folha do colmo principal.

V7 – Colar formado na 7ª folha do colmo principal.

V8 – Colar formado na 8ª folha do colmo principal.

V9 (VF-4) – Colar formado na 9ª folha do colmo principal, faltando 4 folhas para o surgimento da folha bandeira.

V10 (VF-3) – Colar formado na 10ª folha do colmo principal, faltando 3 folhas para o surgimento da folha bandeira.

V11 (VF-2) - Colar formado na 11ª folha do colmo principal, faltando 2 folhas para o surgimento da folha bandeira.

V12 (VF-1) - Colar formado na 12ª folha do colmo principal, faltando 2 folhas para o surgimento da folha bandeira.

V13 (VF) – Colar formado na folha bandeira.

Estádios de desenvolvimento reprodutivo.

R0 – Iniciação da panícula.

R1 – Diferenciação da panícula.

R2 – Formação do colar na folha bandeira.

R3 – Exserção da panícula.

R4 – Antese.

R5 – Elongação do grão.

R6 – Expansão do grão.

R7 – Ao menos um grão da panícula apresenta casca com coloração típica da cultivar.

R8 – Maturidade de um grão isolado.

R9 – Maturidade completa da panícula.

ANEXO B – Análise de Variância e valores do teste F.
 Quadro 1) Rendimento de grãos.

| FV | GL | SQ | QM | F |
|--|-----------|-----------------------|--------------|-----------|
| Blocos | 2 | 1022399.42464 | 511199.71232 | 1.4388 ns |
| Trat. | 8 | 6530776.81763 | 816347.10220 | 2.2977 ns |
| Resíduo | 16 | 5684659.03872 | 355291.18992 | |
| Total | 26 | 13237835.28099 | | |
| ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$) | | | | |
| * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$) | | | | |
| ns não significativo ($p \geq .05$) | | | | |
| GL | GLR | F-crit | F | p |
| 2 | 16 | 3.6337 | 1.4388 | 0.2663 |
| 8 | 16 | 2.5911 | 2.2977 | 0.0746 |

Quadro 2) Esterilidade.

| FV | GL | SQ | QM | F |
|--|-----------|------------------|----------|-----------|
| Blocos | 2 | 5.83744 | 2.91872 | 0.0940 ns |
| Trat. | 8 | 184.11887 | 23.01486 | 0.7415 ns |
| Resíduo | 16 | 496.63174 | 31.03948 | |
| Total | 26 | 686.58805 | | |
| ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$) | | | | |
| * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$) | | | | |
| ns não significativo ($p \geq .05$) | | | | |
| GL | GLR | F-crit | F | p |
| 2 | 16 | 0.0254 | 0.094 | 0.9108 |
| 8 | 16 | 0.2455 | 0.7415 | 0.6556 |

Quadro 3) Número de panículas por metro quadrado.

| FV | GL | SQ | QM | F | |
|--|-----|------------|-----------|--------|----|
| Blocos | 2 | 554.66667 | 277.33333 | 1.0832 | ns |
| Trat. | 8 | 2639.33333 | 329.91667 | 1.2885 | ns |
| Resíduo | 16 | 4096.66667 | 256.04167 | | |
| Total | 26 | 7290.66667 | | | |
| ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$) | | | | | |
| * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$) | | | | | |
| ns não significativo ($p \geq .05$) | | | | | |
| GL | GLR | F-crit | F | p | |
| 2 | 16 | 3.6337 | 1.0832 | 0.3621 | |
| 8 | 16 | 2.5911 | 1.2885 | 0.3159 | |

Quadro 4) Massa de 1.000 grãos.

| FV | GL | SQ | QM | F | |
|--|-----|-----------|---------|--------|----|
| Blocos | 2 | 5.79081 | 2.89540 | 0.6351 | ns |
| Trat. | 8 | 28.51748 | 3.56468 | 0.7819 | ns |
| Resíduo | 16 | 72.94087 | 4.55880 | | |
| Total | 26 | 107.24915 | | | |
| ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$) | | | | | |
| * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$) | | | | | |
| ns não significativo ($p \geq .05$) | | | | | |
| GL | GLR | F-crit | F | p | |
| 2 | 16 | 0.0254 | 0.6351 | 0.5427 | |
| 8 | 16 | 0.2455 | 0.7819 | 0.625 | |

Quadro 5) Massa de parte aérea.

| FV | GL | SQ | QM | F |
|--|-----|--------------|-------------|-----------|
| Blocos | 2 | 2388.07407 | 1194.03704 | 0.1221 ns |
| Trat. | 8 | 203427.85185 | 25428.48148 | 2.6007 * |
| Resíduo | 16 | 156437.92593 | 9777.37037 | |
| Total | 26 | 362253.85185 | | |
| ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$) | | | | |
| * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$) | | | | |
| ns não significativo ($p \geq .05$) | | | | |
| GL | GLR | F-crit | F | p |
| 2 | 16 | 0.0254 | 0.1221 | 0.8859 |
| 8 | 16 | 2.5911 | 2.6007 | 0.0493 |

Quadro 6) Teor de N no grão.

| FV | GL | SQ | QM | F |
|--|-----|---------|---------|-----------|
| Blocos | 2 | 0.03117 | 0.01559 | 1.6126 ns |
| Trat. | 8 | 0.08055 | 0.01007 | 1.0417 ns |
| Resíduo | 16 | 0.15466 | 0.00967 | |
| Total | 26 | 0.26638 | | |
| ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$) | | | | |
| * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$) | | | | |
| ns não significativo ($p \geq .05$) | | | | |
| GL | GLR | F-crit | F | p |
| 2 | 16 | 3.6337 | 1.6126 | 0.2301 |
| 8 | 16 | 2.5911 | 1.0417 | 0.4466 |