

**GLAUCILENE DUARTE CARVALHO**

**USO DE NITROGÊNIO NO CULTIVO DE ARROZ IRRIGADO E SEUS  
EFEITOS NO SOLO, NA PLANTA E NA EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Solo e Água.

Orientador:

**Prof. Dr. Alfredo Borges de Campos**

Co-orientador:

**Dr. Nand Kumar Fageria**

Goiânia, GO – Brasil  
2011

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)**

<b>C331u</b>	<p><b>Carvalho, Glaucilene Duarte.</b> <b>Uso de nitrogênio no cultivo de arroz irrigado e seus efeitos no solo, na planta e na emissão de óxido nitroso [manuscrito] / Glaucilene Duarte Carvalho. - 2011.</b> <b>95 f.: figs, tabs.</b></p> <p><b>Orientador: Prof. Dr. Alfredo Borges de Campos.</b> <b>Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, 2011.</b> <b>Bibliografia.</b></p> <p><b>1. Química do solo. 2. Produção de arroz. 3. Gás de efeito estufa.</b> <b>I. Título.</b></p> <p><b>CDU: 633.18</b></p>
--------------	---


**GLAUCILENE DUARTE CARVALHO**

**USO DE NITROGÊNIO EM ARROZ IRRIGADO E SEUS EFEITOS NA  
PLANTA, NO SOLO E NA EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO**

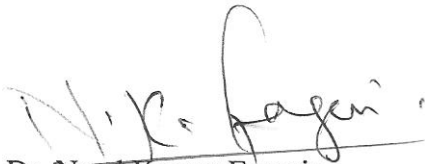
Dissertação DEFENDIDA em 15 de fevereiro de 2011, e APROVADA pela Banca  
Examinadora constituída pelos membros:



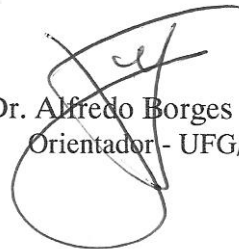
Dra. Beáta Emöke Madari  
Embrapa Arroz e Feijão



Dr. Alberto Baeta dos Santos  
Embrapa Arroz e Feijão



Dr. Nand Kumar Fageria  
Embrapa Arroz e Feijão



Prof. Dr. Alfredo Borges de Campos  
Orientador - UFG/EA

Goiânia, Goiás

Brasil

Aos meus pais, Maria de Fátima e Divino

Dedico

À minha família,  
Aos verdadeiros amigos  
Ofereço

## AGRADECIMENTOS

A DEUS por guiar meus passos e por estar sempre junto a mim.

À minha mãe por estar incondicionalmente ao meu lado e pelo seu exemplo de dignidade e perseverança.

Ao meu pai por sempre me incentivar a lutar pelos meus objetivos.

À minha irmã Glauciane, às minhas lindas sobrinhas Isabella e Sarah e ao meu cunhado Weliton pelo apoio, carinho e alegria sempre me proporcionado.

Ao meu namorado Talles que me acompanhou e me ajudou nessa jornada, me incentivando e aguentando minha impaciência.

Um especial carinho às minhas amigas Jacqueline e Adriana, exemplos de dedicação e de amizade.

Ao meu orientador Prof. Alfredo, sempre orientando e ajudando a conduzir nosso trabalho da melhor forma possível.

Ao meu co-orientador Dr. Fageria pela ajuda e pelos ensinamentos durante o trabalho de mestrado.

À Universidade Federal de Goiás e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela possibilidade de realização do curso de mestrado.

Aos professores da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, em especial ao Prof. Wilson pela ajuda durante a vida acadêmica.

Aos colegas da Embrapa Arroz e Feijão pela colaboração nas coletas de dados e análises do experimento, em especial às pesquisadoras Beáta e Márcia.

À instituição Embrapa Arroz e Feijão por possibilitar a execução do experimento da dissertação e ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo.

Muito obrigada.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>9</b>
<b>RESUMO GERAL.....</b>	<b>12</b>
<b>GENERAL ABSTRACT.....</b>	<b>13</b>
<b>1 INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>14</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>17</b>
2.1 A CULTURA DO ARROZ IRRIGADO.....	17
2.1.1 Aspectos gerais da cultura .....	17
2.1.2 Nutrição mineral e adubação no arroz irrigado.....	17
2.1.3 O arroz irrigado e a adubação nitrogenada.....	18
2.2 SOLOS DE VÁRZEA INUNDADOS.....	20
2.2.1 Caracterização.....	20
2.2.2 Potencialidades.....	21
2.2.3 Transformações físico-químicas em solos inundados.....	21
2.2.3.1 Alterações químicas no solo provocadas pela inundação e a dinâmica do nitrogênio.....	23
2.3 EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO.....	24
2.3.1 O efeito estufa e o aquecimento global.....	25
2.3.2 Emissões de N <sub>2</sub> O em solos agrícolas.....	25
<b>3 METODOLOGIA GERAL.....</b>	<b>29</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	29
3.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	31
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>32</b>
<b>4 TRANSFORMAÇÕES QUÍMICAS NO SOLO E NA SOLUÇÃO DO SOLO DE VÁRZEA INUNDADO SOB CULTIVO DE ARROZ IRRIGADO COM A ADUBAÇÃO NITROGENADA.....</b>	<b>37</b>
RESUMO.....	37
ABSTRACT.....	38
4.1 INTRODUÇÃO.....	38
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	40
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4.3.1 Transformações químicas no solo após inundação.....	42
4.3.2 Transformações químicas na solução do solo com a inundação.....	44
4.4 CONCLUSÕES.....	61
4.5 REFERÊNCIAS.....	61
<b>5 COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE DOIS GENÓTIPOS DE ARROZ IRRIGADO EM SOLO DE VÁRZEA INUNDADO SOB</b>	

	<b>ADUBAÇÃO NITROGENADA.....</b>	<b>64</b>
	RESUMO.....	64
	ABSTRACT.....	64
5.1	INTRODUÇÃO.....	65
5.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	67
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	69
5.4	CONCLUSÕES.....	75
5.5	REFERÊNCIAS.....	76
<b>6</b>	<b>EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO EM SOLO DE VÁRZEA INUNDADO SOB CULTIVO DE ARROZ IRRIGADO COM ADUBAÇÃO NITROGENADA.....</b>	<b>79</b>
	RESUMO.....	79
	ABSTRACT.....	79
6.1	INTRODUÇÃO.....	80
6.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	81
6.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	84
6.4	CONCLUSÕES.....	90
6.5	REFERÊNCIAS.....	90
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>94</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1.</b>	Resultado da análise química e granulométrica do solo em estudo, antes da aplicação dos tratamentos com nitrogênio.....	30
<b>Tabela 4.1.</b>	Valores médios do pH do solo antes e ao final do experimento sob diferentes doses de N.....	42
<b>Tabela 4.2.</b>	Valores médios de Ca ( $\text{mmol dm}^{-3}$ ) no solo antes e ao final do experimento sob diferentes doses de N.....	42
<b>Tabela 4.3.</b>	Valores médios de Mg ( $\text{mmol dm}^{-3}$ ) no solo antes e ao final do experimento sob diferentes doses de N.....	43
<b>Tabela 4.4.</b>	Valores médios de K ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) no solo antes e ao final do experimento sob diferentes doses de N.....	43
<b>Tabela 4.5.</b>	Valores médios de P( $\text{mg dm}^{-3}$ ) no solo antes e ao final do experimento sob diferentes doses de N.....	43
<b>Tabela 4.6.</b>	Quadrado médio e significância estatística dos valores médios dos nutrientes Ca, Mg, K, P, Fe, Mn, $\text{NO}_3^-$ , $\text{NH}_4^+$ e do pH e Eh na solução do solo na cultura do arroz irrigado devido aos tratamentos.....	44
<b>Tabela 4.7.</b>	Variação dos teores médios dos nutrientes Ca, Mg, K, P, Fe, Mn, $\text{NO}_3^-$ e $\text{NH}_4^+$ e do pH e Eh na solução do solo em relação a diferentes dose de nitrogênio,média do período de inundação.....	44
<b>Tabela 4.8.</b>	Variação dos teores médios dos nutrientes Ca, Mg, K, P, Fe, Mn, $\text{NO}_3^-$ e $\text{NH}_4^+$ e do pH e Eh na solução do solo em relação à ausência e presença de plantas de arroz (genótipos BRS Tropical e BRA 051130), média do período de inundação.....	45
<b>Tabela 5.1.</b>	Produtividade ( $\text{g planta}^{-1}$ ) de genótipos de arroz irrigado sob diferentes doses de nitrogênio.....	69
<b>Tabela 5.2.</b>	Massa de 1000 grãos (g) e índice de colheita de grãos (ICG) de genótipos de arroz irrigado, média de 3 doses de nitrogênio.....	70
<b>Tabela 5.3.</b>	Massa seca da parte aérea ( $\text{g planta}^{-1}$ ) e massa seca da raiz ( $\text{g planta}^{-1}$ ) de genótipos de arroz irrigado sob diferentes doses de nitrogênio.....	71
<b>Tabela 5.4.</b>	Contribuição da parte aérea e da raiz na massa seca total (%) em arroz irrigado sob diferentes doses de N.....	72
<b>Tabela 5.5.</b>	Número de panículas por planta, comprimento de panícula e comprimento de raiz de arroz irrigado sob doses de N.....	72



<b>Tabela 5.6.</b>	Espiguetas cheias e vazias por planta, esterilidade de espiguetas de arroz irrigado sob doses de N.....	73
<b>Tabela 5.7.</b>	Número de perfilhos por planta de genótipos de arroz irrigado sob doses de N na fase de maturação fisiológica.....	73
<b>Tabela 5.8.</b>	Altura de plantas (cm) de genótipos de arroz irrigado sob doses de N na fase de maturação fisiológica.....	74
<b>Tabela 5.9.</b>	Coeficientes de correlação entre a produtividade de grãos de arroz irrigado e os componentes de produção em diferentes doses de N...	74
<b>Tabela 6.1.</b>	Emissão total de N <sub>2</sub> O (mg N-N <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> ) acumulada em 133 dias de observações ao longo do ciclo do arroz irrigado sob diferentes doses de N.....	85
<b>Tabela 6.2.</b>	Eficiência agronômica de genótipos de arroz irrigado, média de três doses de nitrogênio.....	85

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.</b>	Zonas hipotéticas de oxidação e redução em solo inundado. Fonte: Fageria et al. (2003b).....	23
<b>Figura 2.2.</b>	Processos de nitrificação e desnitrificação em solos inundados. Fonte: Sousa et al. (2006) adaptado por Sousa et al. (2009).....	24
<b>Figura 2.3.</b>	Principais fontes antrópicas globais de emissões de óxido nitroso (N <sub>2</sub> O) para a atmosfera. Fonte: IPCC (1995) adaptado por Lima (2000).....	26
<b>Figura 2.4.</b>	A nitrificação ocorre em duas etapas (A) e a desnitrificação, em quatro etapas, com reduções sucessivas do N (B). Fonte: adaptado de Fageria et al. (2003b).....	27
<b>Figura 3.1.</b>	Vaso com solo de várzea e com sementes de genótipo de arroz irrigado.....	29
<b>Figura 3.2.</b>	Temperatura do ar e do solo nos dias de amostragem de N <sub>2</sub> O, durante o período da manhã.....	30
<b>Figura 4.1.</b>	Sistema de coleta de solução do solo em vaso, com detalhe da mangueira perfurada.....	41
<b>Figura 4.2.</b>	Valores de pH da solução do solo em dois genótipos de arroz irrigado e uma testemunha, sob diferentes doses de nitrogênio: 0 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo, 150 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo e 300 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo.....	46
<b>Figura 4.3.</b>	Valores de Eh (mV) da solução do solo em dois genótipos de arroz irrigado e uma testemunha, sob diferentes doses de nitrogênio: 0 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo, 150 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo e 300 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo.....	48
<b>Figura 4.4.</b>	Concentração de cálcio (Ca) na solução do solo em dois genótipos e uma testemunha, sob diferentes doses de nitrogênio: 0 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo, 150 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo e 300 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo.....	49
<b>Figura 4.5.</b>	Concentração de magnésio (Mg) na solução do solo em dois genótipos e uma testemunha, sob diferentes doses de nitrogênio: 0 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo, 150 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo e 300 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo.....	50
<b>Figura 4.6.</b>	Concentração de potássio (K) na solução do solo em dois genótipos e uma testemunha, sob diferentes doses de nitrogênio: 0 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo, 150 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo e 300 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo.....	52

<b>Figura 4.7.</b>	Concentração de fósforo (P) na solução do solo em dois genótipos e uma testemunha, sob diferentes doses de nitrogênio: 0 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo, 150 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo e 300 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo.....	54
<b>Figura 4.8.</b>	Concentração de ferro (Fe) na solução do solo em dois genótipos e uma testemunha, sob diferentes doses de nitrogênio: 0 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo, 150 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo e 300 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo.....	56
<b>Figura 4.9.</b>	Concentração de manganês (Mn) na solução do solo em dois genótipos e uma testemunha, sob diferentes doses de nitrogênio: 0 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo, 150 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo e 300 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo.....	57
<b>Figura 4.10.</b>	Concentração de nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) na solução do solo em dois genótipos e uma testemunha, sob diferentes doses de nitrogênio: 0 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo, 150 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo e 300 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo.....	59
<b>Figura 4.11.</b>	Concentração de amônio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) na solução do solo em dois genótipos e uma testemunha, sob diferentes doses de nitrogênio: 0 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo, 150 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo e 300 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo.....	60
<b>Figura 5.1.</b>	Genótipo BRS Tropical (A), genótipo BRA 051130 (B) com diferentes doses de N, sendo da esquerda para a direita: tratamento com 0, 150 e 300 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo.....	71
<b>Figura 5.2.</b>	Altura de plantas (cm) de genótipos de arroz irrigado durante os estádios de desenvolvimento da cultura, em diferentes doses de N: 0 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo, 150 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo e 300 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo.....	75
<b>Figura 6.1.</b>	Material usado na coleta de gás, sendo detalhe da tampa de PVC com a válvula de três vias e frascos lacrados (A), e câmaras fechadas sobre os vasos (B).....	83
<b>Figura 6.2.</b>	Cromatógrafo a gás utilizado para analisar a concentração de óxido nítrico.....	83
<b>Figura 6.3.</b>	Emissões de N-N <sub>2</sub> O (µg m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> ) no solo afetadas por diferentes doses de nitrogênio (0, 150, 300 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo) e sob dois genótipos (G1: BRS Tropical, G2: BRA 051130) e uma testemunha (T).....	87
<b>Figura 6.4.</b>	Teores de nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), amônio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) na solução do solo (mg dm <sup>-3</sup> ) afetados por doses de N (0 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo, 150 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo e 300 mg de N kg <sup>-1</sup> de solo) e sob dois genótipos (G1:	

BRS Tropical, G2: BRA 051130) e uma testemunha  
(T).....

## RESUMO GERAL

CARVALHO, G. D. **Uso de nitrogênio no cultivo de arroz irrigado e seus efeitos no solo, na planta e na emissão de óxido nitroso.** 2011. 95 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solo e Água)- Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.<sup>2</sup>

Em solos inundados inúmeras são as alterações eletroquímicas que ocorrem, dentre os elementos mais influenciados pelas condições de anaerobiose está o nitrogênio. O cultivo de arroz irrigado também determinará alterações no processo, quer pela absorção de nutriente quer por modificações da rizosfera. A adubação nitrogenada pode garantir altas produtividades do arroz, porém, em consequência do uso inadequado do nitrogênio pode-se ter emissões de óxido nitroso, que é um gás de efeito estufa. Nesse contexto, a pesquisa teve o objetivo de determinar os efeitos da adubação nitrogenada em solos de várzeas inundados na química do solo e da solução do solo, na planta e na emissão de óxido nitroso. O experimento foi realizado em vasos na Embrapa Arroz e Feijão. Os tratamentos consistiam de dois genótipos de arroz irrigado (BRS Tropical e BRA 051130) e de três doses de nitrogênio (0, 150 e 300 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo). O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso com parcelas subdivididas. A inundação dos vasos se deu aos quinze dias após o plantio. A coleta de solução se deu 1, 3, 7, 14, 28, 39, 59, 67, 102 dias após a inundação. O sistema de coleta consistiu em uma mangueira de plástico perfurada e fixada nas paredes dos vasos, sendo fechadas nas extremidades. A solução foi succionada por meio de uma seringa e depois realizadas as determinações de Ca, Mg, K, P, Fe, Mn, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, pH e Eh (diretamente nos vasos). Ao término do experimento fez-se a amostragem do solo dos vasos, contemplando todos os tratamentos; sendo realizada análises de Ca, Mg, K, P e pH do solo. Os componentes de produção estudados foram: altura de plantas, número de perfilhos, número de panículas por planta, comprimento de panículas, esterilidade de espiguetas, massa seca de 1000 grãos, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz, produtividade de grãos, comprimento da raiz, índice de colheita de grãos, contribuição da parte aérea na massa seca total, contribuição da raiz na massa seca total. O método de coleta de óxido nitroso foi o de câmara fechada em material de PVC. Realizaram-se coletas ao longo de todo ciclo do arroz e a concentração de N<sub>2</sub>O foi obtida por meio da leitura em cromatógrafo gasoso. Os resultados foram submetidos à análise de variância, sendo as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey. O pH, os teores de Ca, Mg, K e P no solo aumentaram após a implantação do experimento. Os valores de Eh na solução do solo diminuíram com o tempo de inundação e, conseqüentemente o pH aumentou. A concentração de Ca e Mg aumentaram na solução do solo com o tempo de inundação e os teores de K, Mn, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> reduziram ao longo do período. Os genótipos de arroz irrigado apresentaram diferenças em relação a massa seca de 1000 grãos. A massa seca da parte aérea apresentou respostas a adubação nitrogenada, já a altura de plantas apresentou respostas aos genótipos e à dose de N. A emissão total de N<sub>2</sub>O apresentou diferenças quanto ao uso de nitrogênio e em relação aos genótipos de arroz irrigado. Sendo observado que o genótipo BRA 051130 apresentou emissão total significativamente maior em relação ao tratamento sem planta.

*Palavras-chave:* química do solo, produção de arroz, gás de efeito estufa.

---

<sup>2</sup> Orientador: Prof. Dr. Alfredo Borges de Campos. IESA/EA-UFG.  
Co-orientador: Dr. Nand Kumar Fageria. CNPAF-Embrapa.

## GENERAL ABSTRACT

CARVALHO, G. D. **Use of nitrogen in the cultivation of rice and its effects on soil, lant and nitrous oxide emission.** 2011. 95 f. Dissertation (Master in Agronomy: Soil and Water) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011. <sup>1</sup>

In wetland soils are countless electrochemical changes, among the most influenced by anaerobic conditions is nitrogen. The rice crop also determine changes in the process, either by the nutrient uptake or by changes in the rhizosphere. The nitrogen can guarantee high yields of rice, however, due to the inadequate use of nitrogen can have nitrous oxide, which is a greenhouse gas. In this context, the research aimed to determine the effects of nitrogen fertilizer in flooded lowland soils in soil chemistry and soil solution on the plants and the emission of nitrous oxide. The experiment was conducted in pots at Embrapa Rice and Beans. The treatments consisted of two rice genotypes (BRS Tropical and BRA 051130) and three nitrogen (0, 150 and 300 mg N kg<sup>-1</sup> soil). The experimental design was randomized blocks with split plots. The flooding of the vessels took place on the fifteenth day after planting. The collection solution was given 1, 3, 7, 14, 28, 39, 59, 67, 102 days after flooding. The collection system consisted of a perforated plastic pipe and secured in the vessel walls, being closed at the ends. The solution was suctioned through a syringe and then analyzed on Ca, Mg, K, P, Fe, Mn, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, pH and Eh (directly to the pots). After the experiment was made at the soil sampling vessel, comprising all the other treatments being performed analysis of Ca, Mg, K, P and soil pH. The yield components studied were: plant height, tiller number, panicle number per plant, panicle length, spikelet sterility, dry weight of 1000 grains, shoot dry weight, root dry mass, grain yield, root length, grain harvest index, the contribution of the shoot dry weight total contribution of root dry weight total. The method of collection of nitrous oxide was a closed chamber in PVC material. Collections were undertaken throughout the rice cycle and N<sub>2</sub>O concentration was measured by reading in a gas chromatograph. The results were subjected to analysis of variance, treatment means compared by Tukey test. The pH, exchangeable Ca, Mg, K and P in soil increased after the implementation of the experiment. The values of Eh in soil solution decreased with time of flooding and consequently the pH increased. The concentration of Ca and Mg in soil solution increased with time of flooding and the K, Mn, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> declined over the period. The rice genotypes showed differences in dry weight of 1000 grains. The dry weight of shoots showed responses to nitrogen fertilization, since the height of the trees showed responses to genotypes and N levels The total emission of N<sub>2</sub>O showed differences in nitrogen use and for the rice genotypes. We observed that the genotype BRA 051130 showed significantly higher total emission in relation to the treatment without plants.

*Keywords:* soil chemistry, rice production, greenhouse gas.

---

<sup>1</sup> Adviser: Prof. Dr. Alfredo Borges de Campos. IESA/EA-UFG.  
Co-adviser: Dr. Nand Kumar Fageria. CNPAF-Embrapa.

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O arroz no Brasil é cultivado em solos de várzeas e de terras altas sob vários sistemas de cultivo. A cultura do arroz irrigado contribui com cerca de 68% da produção brasileira e ocupa aproximadamente 31% da área cultivada com esse cereal (Fageria et al., 2003a). A produção é originária principalmente das lavouras irrigadas, em várzeas, do Rio Grande do Sul (Azambuja et al., 2004). Grande parte das áreas cultivadas de arroz inundado no país é mecanizada e emprega fertilizantes químicos (Embrapa, 2006a).

O uso de adubos nitrogenados em sistemas agrícolas tem aumentado no intuito de garantir altas produções agrícolas. No cultivo do arroz irrigado isso não é diferente, porém, em consequência do uso ineficiente desse fertilizante, tem-se aumentado a perda de nitrogênio para o ambiente. Essas perdas ocorrem a partir da lixiviação de  $\text{NO}_3^-$ , volatilização de  $\text{NH}_3$ , nitrificação e desnitrificação (Fageria et al., 2003a). A seleção de genótipos com maior eficiência na utilização de nitrogênio (N) é considerada, atualmente, uma das maneiras mais adequadas para diminuir o custo de produção da cultura do arroz e aumentar a produtividade de grãos pela maior resposta a esse nutriente (Fageria & Barbosa Filho, 1994).

Em ambientes inundados, o N é um dos elementos mais influenciados pelas condições de anaerobiose. A dificuldade de se prever a intensidade das transformações que ocorrem com o N, aliado as variações climáticas que controlam a mineralização da matéria orgânica do solo e o crescimento da cultura, tornam os resultados da análise de solo menos sensíveis para estimar a disponibilidade de N às plantas de arroz irrigado (Vahl & Souza, 2004). Assim, em solos inundados inúmeras são as alterações eletroquímicas que ocorrem, há alterações e transformações na disponibilidade de íons na água de drenagem e na solução do solo (Swarowsky et al., 2006).

Entre as alterações observadas nesse ambiente, as mais pronunciadas verificam-se sobre o sistema oxi-redutor, no qual o potencial de oxirredução (Eh) apresenta-se como o indicador mais importante do estado de oxidação ou redução desses

solos, refletindo a posição de equilíbrio dinâmico existente entre os vários sistemas redox (oxigênio, ferro, manganês, nitrogênio, enxofre e carbono) e determinando a direção das reações desses sistemas quando fora do equilíbrio. Associados às alterações do Eh, verificam-se aumentos no pH de solos ácidos devido à sua redução (Ponnamperuma, 1972). Deste modo, alguns íons, macro e micronutrientes, como o potássio, o amônio, o zinco e o cobre aumentam a sua concentração no solo e, conseqüentemente, a sua absorção pelas culturas, podendo, em alguns casos de excesso, atingir níveis de toxidez às culturas, como o arroz irrigado (Camargo et al., 1999).

Além disso, a cultura do arroz irrigado é considerada, possivelmente, como uma importante fonte de emissão de  $N_2O$  (Mosier et al., 1983). Isso ocorre devido às condições anaeróbicas geradas durante o plantio sob inundação que promovem a produção de  $N_2O$ , principalmente, a partir do processo de desnitrificação no solo, contribuindo com o aquecimento global (Fageria et al., 2003b). Segundo Kirk (2004) a emissão é sensível à quantidade de N mineral no sistema, sendo impulsionado principalmente pela adição de fertilizantes nitrogenados.

Nas últimas décadas tem ocorrido aumento significativo da atividade agrícola na região do Cerrado brasileiro, com a conseqüente substituição da vegetação nativa por extensas áreas cultivadas. Essa atuação tem repercussões nos principais ciclos da massa, do carbono e do nitrogênio (Lima, 2002). Em contraposição a essa problemática de aquecimento global e da insustentabilidade agrícola, destaca-se o papel potencial da agricultura em atuar como meio controlador de gases de efeito estufa, contribuindo para a mitigação do forçamento radioativo da atmosfera. Segundo Gomes (2006), pesquisas mostram que as técnicas desenvolvidas atualmente para melhorar a produtividade das culturas e manter sistemas sustentáveis também contribuem para a diminuição ou mitigação desses gases.

Existem vários estudos em nível internacional (IAEA, 1982; Duxbury, 1994; IPCC, 2001; Kirk, 2004) sobre os principais fatores relacionados às características dos solos e sistemas de manejo que controlam os fluxos de gases de efeito estufa e a dinâmica dos nutrientes. Entretanto, os dados e metodologias foram, em sua maioria, adquiridos e desenvolvidos em condições ambientais diferentes das presentes em ambientes inundados do Cerrado. Com isso, tornam-se necessárias adaptações nas metodologias propostas e também estudos que possibilitem a compreensão dessa problemática nesse ambiente.



O objetivo do trabalho foi determinar os efeitos do uso do nitrogênio em solo de várzea inundado na química do solo e da solução do solo, no desenvolvimento da planta e na emissão de óxido nitroso, visando reduzir os impactos ambientais de adubações desajustadas.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 A CULTURA DO ARROZ IRRIGADO**

#### **2.1.1 Aspectos gerais da cultura**

O arroz é considerado como planta semi-aquática, que pode viver tanto em clima tropical como em subtropical, podendo crescer tanto em solos inundados como em solos bem drenados (Fageria, 1984). É uma gramínea anual classificada no grupo de plantas C3. O arroz (*Oryza sativa* L.) é considerado um dos cereais de maior importância social e econômica para o mundo, servindo de alimento para aproximadamente dois terços da população do planeta, pois é considerado um dos alimentos com melhor balanceamento nutricional e, também, por poder ser cultivado em vários tipos de solo e sob vários sistemas de manejo (Azambuja et al., 2004).

Ocupa posição de destaque principalmente na Ásia, onde provavelmente é o local de origem do arroz (CNPAP/Embrapa, 2010). Anualmente cerca de 150 milhões de hectares são plantados com arroz no mundo e a produção atinge em torno de 600 milhões de toneladas, sendo que a produção em sistema irrigado corresponde a 55% da área cultivada e contribui com 75% da produção total (Fairhurst & Dobermann, 2002).

O Brasil é o nono produtor mundial de arroz e o primeiro dentre os países da América Latina, sendo responsável por 88% da produção do Mercosul. E essa produção é originária principalmente das lavouras irrigadas, em várzeas, do Rio Grande do Sul (Azambuja et al., 2004). A produtividade dessa cultura encontra-se bem abaixo de seu potencial ( $16 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), mas em média a produtividade é cerca de  $3,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  (Fageria, 2007).

#### **2.1.2 Nutrição mineral e adubação em arroz irrigado**

A planta de arroz é muito exigente em nutrientes, sendo necessário que eles estejam prontamente disponíveis nos momentos de demanda para não causarem prejuízo a

produção (Fageria et al., 2003b). O fornecimento adequado de nutrientes contribui de forma significativa para o aumento da produtividade e na redução do custo de produção. Nessa situação, a otimização da eficiência nutricional é fundamental para ampliar a produtividade e reduzir o custo. Vários fatores, como clima, solo, planta e suas interações, afetam a absorção e a utilização de nutrientes pelas plantas (Fageria, 1998).

Para a cultura do arroz irrigado, o manejo atual da adubação é estabelecido em função dos resultados da análise de solo associados com o sistema de semeadura e expectativa de rendimento da cultura. Recomenda-se que a adubação com P e K seja realizada na ocasião da semeadura. A adubação nitrogenada também está baseada no sistema de semeadura e expectativa de rendimento de grãos em função do teor de matéria orgânica do solo (MOS) (CQFS, 2004).

A produtividade final da cultura do arroz depende da cultivar utilizada, da quantidade de insumos e das técnicas de manejo empregadas. Para manter a fertilidade de um dado solo no nível adequado necessita-se conhecer não só seus parâmetros de fertilidade do solo bem como a exigência nutricional de uma dada cultura. A exigência nutricional do arroz é determinada por vários fatores, como condições climáticas, tipo de solo, cultivar plantada, produtividade esperada e práticas culturais adotadas (Fageria et al., 1995).

### **2.1.3 O arroz irrigado e a adubação nitrogenada**

De acordo com Raij (1991), o N é o nutriente mineral exigido em maior quantidade pelas culturas e, normalmente proporciona maior resposta em produtividade. Porém, vários fatores afetam o aproveitamento do N pelas plantas. O estudo desses fatores é importante para avaliar o comportamento do N no solo e a relação de eficiência da adubação.

A deficiência de N na cultura em solos de várzeas do Brasil Central é frequentemente observada (Fageria et al., 2003a). Entre as principais razões para a ocorrência dessa deficiência estão as perdas no sistema solo-planta, motivadas por vários processos, como volatilização, lixiviação, desnitrificação, erosão, baixas doses de aplicação, diminuição do teor de matéria orgânica em consequência de cultivos sucessivos e a má utilização de fertilizantes nitrogenados (Craswell & Vlek, 1979).

A disponibilidade de nitrogênio é um dos fatores mais importantes que afetam a produção de arroz (Koyama & App, 1979). O nitrogênio promove um melhor desenvolvimento da planta e é considerado um macronutriente essencial para as plantas, faz parte da molécula de clorofila, citocromo e de todas as enzimas e coenzimas, além de ser elemento constituinte de proteínas e ácidos nucléicos (Malavolta et al., 1997). É também o nutriente que a planta de arroz acumula em maior quantidade, com exceção do potássio (Fageria et al., 2003b).

O nitrogênio é um elemento muito instável no solo e por se encontrar, na sua maior parte, em formas orgânicas, não existem ainda critérios que avaliem satisfatoriamente sua disponibilidade no solo para as plantas (Fageria et al., 1995). Por esta razão, o critério atualmente usado para recomendar adubação nitrogenada baseia-se em curvas de resposta das culturas às várias doses de N. Com base nesses estudos, para a cultura de arroz irrigado recomenda-se 90 a 100 kg N ha<sup>-1</sup>, parcelados em três vezes durante o ciclo (um terço no plantio, um terço aos 40-45 dias após o plantio e o um terço restante no início do primórdio floral, aproximadamente na metade do ciclo da cultivar) (Fageria et al., 1995).

A aplicação de N na fase vegetativa contribui para a formação de perfilhos e, portanto, para o número de panículas, sendo dependente da cultivar utilizada e da população de plantas. Já na fase reprodutiva ocorre a definição de mais dois componentes, número de espiguetas por panícula e massa de grãos (Marzari, 2005). Além disso, o N é o principal nutriente responsável pelo aumento dos componentes da produtividade (Fageria et al., 2003a).

A eficiência de recuperação de N pelo arroz inundado situa-se em torno de 40%, em solo de várzea (Fageria & Baligar, 2001). Isso ocorre devido à rápida transformação do N adicionado via fertilizante e grande perda, principalmente, por volatilização e desnitrificação. Raun & Johnson (1999) utilizando a média de 33% de eficiência de recuperação do N para cereais em geral, calcularam que os 67% de N perdidos resultam em uma perda anual no valor de, aproximadamente, US\$ 15,9 bilhões de fertilizante nitrogenado. Isto sem levar em consideração o custo do dano ambiental provocado pelas perdas do N. Nessa situação, o uso racional da adubação nitrogenada é fundamental, não somente para aumentar a eficiência de recuperação, mas também para aumentar a produtividade das culturas e diminuir o custo de produção e os riscos de poluição ambiental.

Pode-se aumentar a eficiência de recuperação de N com a adoção de práticas de manejo apropriadas, como o uso de dose adequada e aplicação na época apropriada, de acordo com resultados de pesquisa e com a necessidade da cultura (Fageria et al., 2003c). Além disso, o emprego de cultivares eficientes na absorção e utilização de N é uma importante estratégia para aumentar a eficiência de seu uso. Fageria & Barbosa Filho (1994) evidenciam diferenças entre as cultivares de arroz irrigado.

Escolher a cultivar adequada é importante para obter altas produtividades da cultura com melhor aproveitamento dos nutrientes. As cultivares modernas de arroz irrigado são mais eficientes na absorção e utilização do N na produção de grãos em comparação às tradicionais (Fageria et al., 2003a). Segundo esses autores, a capacidade da cultivar em acumular N na fase vegetativa e translocá-lo na fase reprodutiva, nos estádios de floração e enchimento de grãos, é o que determina o número de espiguetas férteis e a massa de grãos. Em média, para cada quilograma de N aplicado são produzidos 23 kg de grãos de arroz. Segundo Fageria & Baligar (2001) a aplicação de N em dose adequada corresponde a 91% do número de panículas por metro quadrado, 75% da esterilidade de espiguetas e por 73% da massa de 1000 grãos.

## 2.2 SOLOS DE VÁRZEA INUNDADOS

### 2.2.1 Caracterização

Solos de várzeas constituem de solos aluviais e/ou hidromórficos, geralmente planos e ricos em matéria orgânica, facilmente irrigáveis, na maioria dos casos até por gravidade, inundados temporariamente ou não, apresentando muitas vezes umidade excessiva, necessitando por isso de drenagem adequada (Rassini et al., 1984). São áreas condicionadas a um regime de excesso de umidade e a processo químico de redução, de alta variabilidade de solos sob vegetação de mata ou campo hidrófilo (Rassini et al., 1984). São zonas úmidas intermediárias entre sistemas de montanha e sistemas aquáticos, tanto em termos de hidrologia quanto em termos da sua biogeoquímica, sendo fontes, sumidouros e transformadores de nutrientes e carbono (Kirk, 2004).

Os solos de várzeas, também conhecidos como solos inundados ou inundados, influenciam significativamente a disponibilidade de nutrientes (De-Campos, 2006) e, em consequência, o desenvolvimento das culturas, principalmente o arroz, que é

frequentemente cultivado nesse tipo de solo. Com isso, dentre os fatores importantes de produção, encontra-se o manejo de fertilizantes (Fageria, 1984). Com a inundação do solo e esgotamento do oxigênio molecular, inicia-se um processo anaeróbio de decomposição dos restos culturais, com formação de substâncias orgânicas que podem ser tóxicas para as plantas, dependendo da sua qualidade e quantidade (Ponnanperuma, 1972).

Segundo Fageria et al. (2003a) e De-Campos et al. (2009), em solos de várzeas, os atributos físicos e químicos sofrem drásticas transformações, que ocorrem como consequência de reações físicas entre o solo e a água, bem como de processos químicos e biológicos provocados pelo excesso de umidade. Os principais solos de várzeas onde se cultiva arroz irrigado no Brasil são classificados, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006b), como: Planossolos, Gleissolos, Vertissolos, Solos Aluviais, Brunizem Hidromórficos, Solos Orgânicos e Neossolos Quartzarênicos.

Fageria et al. (1994), estudando solos de várzeas de alguns Estados brasileiros, encontraram grandes variações das características químicas e granulométricas entre esses solos, sendo que a maioria dos solos analisados apresentaram baixos teores de matéria orgânica e se apresentaram como moderadamente ácidos. De acordo com Ponnanperuma (1972), a alteração dessas características acarreta mudanças no comportamento dos nutrientes, tanto daqueles nativos quanto dos adicionados ao solo, afetando o crescimento e desenvolvimento das plantas e o aproveitamento dos fertilizantes aplicados.

### **2.2.2 Potencialidades**

O potencial das áreas de várzea do Brasil é grande, e sua maioria ainda não foi utilizada. O Brasil possui aproximadamente 33 milhões de hectares de várzeas com topografia e disponibilidade de água propícia à produção de alimentos. Entretanto, apenas 3,7% dessa área são utilizados para a orizicultura (Guimarães et al., 2006).

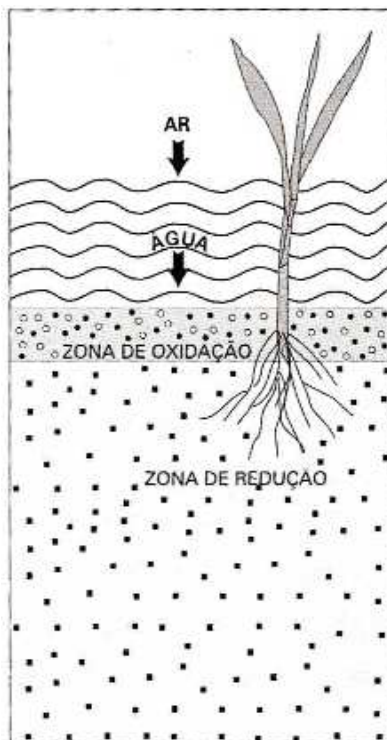
Nas regiões do Cerrado, estima-se uma área de aproximadamente 12 milhões de hectares de várzeas, que podem ser utilizadas para cultivos na entressafra (Rassini et al., 1984). A maior parcela da produção de arroz do país é proveniente do ecossistema várzeas, onde a orizicultura irrigada é responsável por 69% da produção nacional.

### **2.2.3 Transformações físico-químicas em solos inundados**

As propriedades dos solos submersos são, em grande maioria, determinada por processos que controlam os fluxos de transporte de solutos e gases por meio do solo ou por meio de plantas que crescem nestes (Kirk, 2004). As alterações das propriedades físico-químicas que acompanham a inundação do solo são determinadas para o manejo e sustentabilidade desse ambiente (De-Campos, 2006). As mudanças são produzidas por meio de processos de redução biológica resultantes da depleção de oxigênio, com conseqüente diminuição no potencial “redox”. Em termos de nutrição de plantas, verificam-se efeitos benéficos, proporcionados pelas alterações no sistema, tais como aumento na disponibilidade de fósforo, ferro e manganês e efeitos maléficis como a diminuição da disponibilidade de zinco, cobre e aumento excessivo de  $\text{Fe}^{2+}$  e formação de  $\text{H}_2\text{S}$  e ácidos orgânicos (Camargo et al., 1999; De-Campos, 2006).

As inundações provocam mudanças no solo, convertendo a zona onde as raízes se desenvolvem de aeróbica a anaeróbica, extinguindo o oxigênio ou tornando-o limitado. Observa-se na Figura 2.1 as zonas hipotéticas de oxidação e redução em solo inundado. A espessura da camada oxidada é determinada pela velocidade de consumo de oxigênio no solo e pela velocidade de fornecimento de oxigênio presente na água. Se a velocidade de consumo for maior, resultará na formação de camada oxidada muito fina, mais ou menos um milímetro de espessura. Por outro lado, se a taxa de consumo de oxigênio for baixa, resultará em camada mais espessa, até vários centímetros de espessura (Fageria et al., 2003b).

A inundação aumenta a concentração de P em solução do solo e promove o aumento de pH e dos teores de Ca (Ponnamperuma, 1972; De-Campos et al., 2009). O aumento de pH ocorre em decorrência das reações de oxirredução que se processam com consumo de íons  $\text{H}^+$ , ao passo que o aumento dos teores de Ca na solução ocorre pelo deslocamento das formas trocáveis do elemento por  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  e  $\text{Fe}^{2+}$  (Sousa et al., 2002). As alterações químicas do solo inundado, como aumento do pH e das concentrações de Ca e P na solução do solo, provavelmente dificultam a solubilização dos fosfatos naturais, o que pode diminuir a eficiência agrônômica dessas fontes para o arroz em relação à eficiência que poderiam apresentar nos mesmos solos em sequeiro (Gonçalves et al., 2008).



**Figura 2.1.** Zonas hipotéticas de oxidação e redução em solo inundado. Fonte: Fageria et al. (2003b).

Silva et al. (2003), estudando as alterações de nutrientes na solução de solos inundados, em diferentes profundidades, durante o ciclo do arroz, verificaram variação da concentração dos nutrientes na solução do solo, especialmente do potássio (K), com a profundidade de coleta (0-10 cm e 31 cm) e com a presença de plantas. Com a presença de plantas ocorreu redução de todos os elementos estudados, na camada de 0-10 cm, sendo que este efeito na dinâmica dos nutrientes pode estar relacionado com a absorção pelas raízes da planta e a difusão do oxigênio pelos aerênquimas. Dessa forma se chegou à conclusão que os fatores profundidade do solo e presença de plantas de arroz influenciam na disponibilidade dos nutrientes em solos inundados.

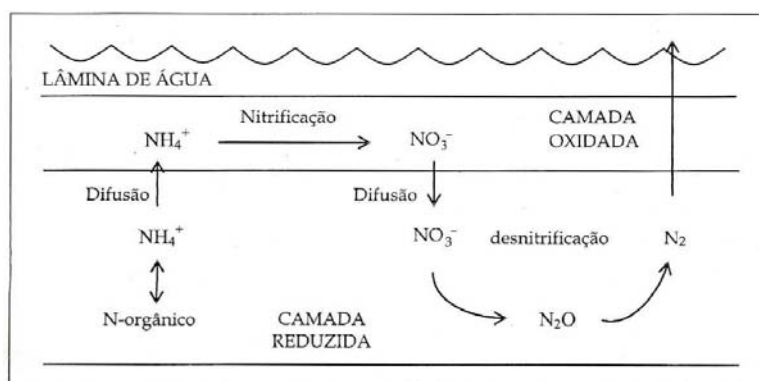
Gonçalves et al. (2008) avaliaram a solubilização dos fosfatos naturais de Arad e de Patos de Minas em dois solos inundados. Observaram que a inundação promoveu aumento nas concentrações de P na solução do Planossolo, proporcional à solubilidade das fontes de P aplicadas. Sendo que o fosfato natural de Arad apresentou maior solubilização que o fosfato natural de Patos de Minas durante a inundação do Planossolo.

### 2.2.3.1 Alterações químicas na solução do solo provocadas pela inundação na dinâmica do nitrogênio



Outro aspecto importante é que a inundação das áreas de várzea desencadeia uma série de mudanças no ciclo do N que fazem com que o seu comportamento nesses solos seja completamente diferente do observado em ambientes bem drenados. A dinâmica dessas transformações é particularmente importante para a cultura do arroz irrigado por inundação (Sousa et al., 2009), uma vez que o solo permanece inundado durante a maior parte do ciclo da cultura.

O metabolismo microbiano em ambiente inundado e redutor provoca alterações no pH e nas reações de redução de nitrato, sulfato e óxidos de ferro e de manganês do solo (De-Campos, 2006), o que desencadeia as demais alterações químicas nesse ambiente. O baixo ajuste entre o teor de MOS e disponibilidade de N para o arroz irrigado deve estar relacionado com as alterações do N em solo inundado. O nitrato é o primeiro composto oxidado do solo a ser reduzido pelos microrganismos anaeróbicos, após o desaparecimento do  $O_2$ , sendo rapidamente reduzido a  $N_2O$  e  $N_2$  voláteis e desaparecendo do solo em poucos dias de inundação, esse processo denomina-se desnitrificação (Figura 2.2).



**Figura 2.2.** Processos de nitrificação e desnitrificação em solos inundados. Fonte: Sousa et al. (2006) adaptado por Sousa et al. (2009).

A velocidade de desnitrificação depende, principalmente, da presença de material orgânico de fácil decomposição, do tipo de microrganismos envolvidos, do pH do solo e da temperatura (Vahl & Sousa, 2004). O processo de perda de N no solo é um dos fatores do baixo aproveitamento dos fertilizantes nitrogenados pela cultura do arroz irrigado, em solos inundados (Sousa et al., 2009). De acordo com Fageria (1984), 40% do N aplicado é absorvido pela planta de arroz, 20% fica no solo e nas raízes e os 40% restantes são perdidos.

### 2.3 EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO

### 2.3.1 O efeito estufa e o aquecimento global

A composição química da atmosfera variou ao longo dos tempos até atingir a composição que hoje conhecemos, sendo formada por nitrogênio, oxigênio, gás carbônico, além de pequenas concentrações de outros gases. A maior parte dos gases existentes, além de deixar passar a luz que vem do Sol, é também transparente às radiações emitidas pela superfície da Terra e pela própria atmosfera. No entanto, alguns gases, entre os quais se destacam o gás carbônico, o metano, o óxido nitroso e o vapor d'água, também transparentes à radiação proveniente do Sol, absorvem as radiações de onda longa que são emitidas pela superfície da Terra e pela própria atmosfera, conhecida como radiação infravermelha. Esses gases que absorvem a radiação infravermelha são conhecidos como gases de efeito estufa (FBDS, 1994).

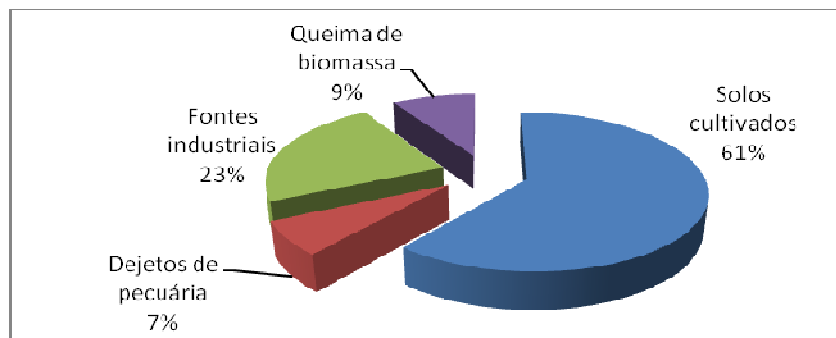
Entretanto, aumentos recentes nas concentrações de gases-traço, ou gases de efeito estufa, na atmosfera, devido à atividade antrópica, em grande parte associada a países mais desenvolvidos, têm causado impacto no balanço de radiação solar do Planeta, tendendo ao aquecimento da superfície da terra (Lima, 2002). Segundo Duxbury (1994), as atividades agrícolas contribuem com cerca de 25%, 65% e 90% do total das emissões antropogênicas de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, respectivamente.

A previsão do impacto do aumento da temperatura em ecossistemas naturais e em agroecossistemas é bastante impreciso. De acordo com IICA (2009) tem-se previsto que a produção de alimentos em todo o mundo pode sofrer um impacto dramático nas próximas décadas por conta das mudanças climáticas provocadas pelo aquecimento global, sendo que o aumento da temperatura pode ameaçar o cultivo de várias plantas agrícolas e pode piorar o já grave problema da fome em partes mais vulneráveis do planeta.

### 2.3.2 Emissões de N<sub>2</sub>O em solos agrícolas

Processos que ocorrem na superfície terrestre é a principal fonte de N<sub>2</sub>O para a atmosfera, assim sendo, mudanças no uso da terra podem modificar os níveis das emissões e influenciar a sua concentração na atmosfera (IPCC, 2001). A emissão de N<sub>2</sub>O provém, principalmente, do uso de fertilizantes nitrogenados, da fixação biológica de nitrogênio, da mineralização da matéria orgânica adicionada, da adição ou depósito de dejetos animais nos solos, da lixiviação de solos e da queima de resíduos agrícolas (Lima, 2002).

De acordo com Embrapa (2002), durante a queima de resíduos agrícolas, o  $N_2O$  é gerado, predominantemente, na fase de combustão com presença de chama e, conforme IPCC (2001), representando em torno de 9% das emissões provenientes de todas as atividades humanas (Figura 2.3).



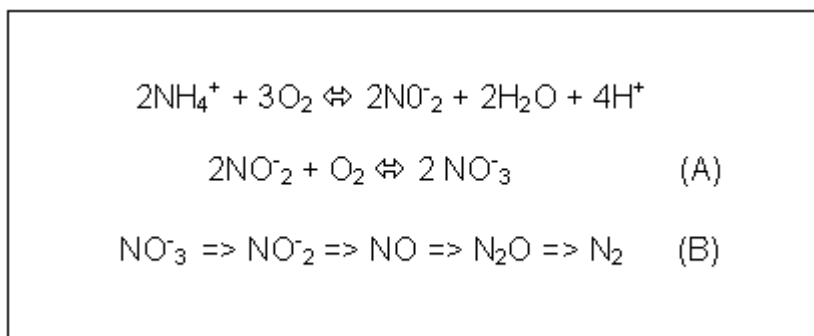
**Figura 2.3.** Principais fontes antrópicas globais de emissões de óxido nitroso ( $N_2O$ ) para a atmosfera. Fonte: IPCC (1995) adaptado por Lima (2000).

A nitrificação e a desnitrificação são processos microbiológicos que ocorrem nos solos e que mais contribuem para as emissões de  $N_2O$  (Cardoso et al., 2001). A nitrificação é o processo de oxidação aeróbica de amônio a nitrito ou nitrato, e a desnitrificação é a redução anaeróbica de nitrato, sendo os principais gases resultantes o  $N_2O$  e o  $N_2$  (Figura 2.4). São processos que funcionam em condições “redox” opostas. Nos solos inundados, o processo de nitrificação quase cessa devido à falta de oxigênio, ocorrendo somente na camada superficial devido à difusão do oxigênio por meio da água. Já o processo de desnitrificação é favorecido em solos saturados, pois as bactérias responsáveis por esse processo são, em sua maioria, facultativas anaeróbicas. Este processo é controlado principalmente pelo teor de matéria orgânica, pH do solo e temperatura (Fageria et al., 2003b).

De acordo com Embrapa (2006c), as principais contribuições, em 1994, foram as referentes aos resíduos agrícolas (34% ou 43,09 Gg  $N_2O$  emitidos) e à fixação biológica (21% ou 26,39 Gg  $N_2O$  emitidos). As emissões de  $N_2O$  a partir do uso de fertilizantes sintéticos foram estimadas em 20,76 Gg  $N_2O$  (17%) e, a partir da aplicação de esterco, em 12,95 Gg  $N_2O$  (10%). As emissões de  $N_2O$  provenientes do cultivo de solos com alto conteúdo orgânico foram estimadas em 22,53 Gg (18%).

No Brasil, em 1990, as emissões totais de  $N_2O$  provenientes de solos agrícolas foram estimadas em 425,66 Gg (Gg =  $10^9$  grama). Em 1994, as emissões totais de  $N_2O$  somaram 475,99 Gg, dos quais 26% corresponderam às emissões diretas de solos

agrícolas; 28% às emissões indiretas de solos agrícolas (deposição atmosférica ou volatilização, lixiviação e escoamento) e 46% às emissões a partir de animais em pastagem. Em relação às emissões diretas de solos agrícolas, a Região Centro-Oeste encontra-se em terceiro lugar com 21,98 Gg em emissões, atrás da Região Sul (45,76 Gg) e Sudeste (34,03 Gg), estando o Estado de Goiás em 11º lugar com taxas de emissão entre 15 e 45 Kg de N<sub>2</sub>O Km<sup>-2</sup> (Embrapa, 2006c).



**Figura 2.4.** A nitrificação ocorre em duas etapas (A) e a desnitrificação, em quatro etapas, com reduções sucessivas do N (B). Fonte: adaptado de Fageria et al. (2003b).

A concentração do N<sub>2</sub>O foi estudada e foi verificado que esta tem aumentado nas últimas décadas e continua a aumentar anualmente a uma taxa de 0,25% (Kaiser et al., 1998). As práticas antropogênicas causaram um aumento na faixa de 1,91 Tg N<sub>2</sub>O a 2,86 Tg N<sub>2</sub>O, sendo que a emissão dos solos é considerada a principal fonte (Duxbury, 1994).

O aumento das adições de fertilizantes nitrogenados sintéticos aos solos agrícolas tem sido indicado como principal responsável pela crescente emissão de N<sub>2</sub>O para a atmosfera. Gonçalves (2002) estudou a emissão de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) numa cultura de feijoeiro comum utilizando dois tipos de fertilizantes: orgânico e inorgânico, além do controle (sem fertilizante). A variação do fluxo medido foi de 1,5-17,6 µg (N<sub>2</sub>O) m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> para a parcela não fertilizada, 3,5-68,8 µg (N<sub>2</sub>O) m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> para a parcela com o lodo de esgoto e entre 3,5 e 78,1 µg (N<sub>2</sub>O) m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> para a parcela do sulfato de amônio. O óxido nitroso emitido representou 0,70 a 1,65% do nitrogênio aplicado ao solo.

Cai et al. (1997) observaram aumentos significativos da emissão de N<sub>2</sub>O em campos de arroz inundado, sob regime intermitente de água, com o aumento da taxa de aplicação de nitrogênio, sobretudo na forma de sulfato de amônio. Esses autores mostram que ciclos alternativos de anaerobiose e aerobiose aumentavam a emissão de N<sub>2</sub>O em relação às condições de anaerobiose ou aerobiose permanentes. Acredita-se que a maior parte da produção de N<sub>2</sub>O é resultado de desnitrificação dos nitratos provenientes de

fertilizantes nitrogenados. As estimativas da produção de  $N_2O$  a partir de campos de arroz vão de 0,01 a 1% do N do fertilizante aplicado (Rennenberg et al., 1992, citado por Denmead, 1995).

A adição de fertilizante amoniacal aos sistemas agrícolas cria uma fonte antrópica de  $N_2O$  derivada da nitrificação. Já as emissões de  $N_2O$  provenientes da desnitrificação são altamente variáveis porque o  $N_2O$  não é o produto terminal da desnitrificação, sendo que as emissões de  $N_2O$  são, em geral, maiores em ambientes úmidos (Duxbury, 1994). Madari et al. (2007), estudando as emissões do solo cultivado com o feijoeiro comum encontraram uma emissão equivalente a  $295 \text{ g N-N}_2\text{O ha}^{-1}$ , na área adubada com  $80 \text{ kg N ha}^{-1}$ , e na área não adubada,  $198 \text{ g N-N}_2\text{O ha}^{-1}$ . Assim,  $97 \text{ g N-N}_2\text{O ha}^{-1}$  foram emitidos oriundo do fertilizante.

O preparo do solo pode ocasionar efeitos significativos nas emissões de  $N_2O$  do solo. Estudos conduzidos em condições de clima temperado e tropical têm apresentado tendências de maiores emissões de  $N_2O$  em solos sob plantio direto (PD) do que em plantio convencional, o que está relacionado à condição de maior compactação do solo não revolvido e que teria reflexo negativo na difusão de  $O_2$ . Em vários estudos, tem sido demonstrada maior emissão de  $N_2O$  a partir de solos sob PD, devido à menor difusão de  $O_2$  decorrente da compactação do solo não e têm ocorrido principalmente nos períodos de chuva mais intensas (Gomes, 2006; Liu et al., 2006; Liu et al., 2007).

Giacomini et al. (2006) estudaram a emissão de óxido nitroso em plantio direto com a aplicação dos dejetos líquidos de suínos e verificaram que não houve aumento da emissão de  $N_2O$  em relação à aplicação dos dejetos em sistema de preparo reduzido do solo. A perda de N pela emissão de  $N_2O$  com a aplicação de dejetos líquidos de suínos em plantio direto e preparo reduzido do solo é pequena, representando menos de 0,30% da quantidade de N total aplicada. O aumento do espaço poroso ocupado por água resulta em maiores emissões de  $N_2O$ .

### 3 METODOLOGIA GERAL

#### 3.2.1 CARACTERIZAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

O estudo foi realizado em experimento em vasos durante o período de outubro de 2009 a março de 2010, em casa de vegetação. Sendo conduzido no Centro Nacional de Pesquisa em Arroz e Feijão- Embrapa- localizado no município de Santo Antônio de Goiás-GO.

No experimento foi utilizado solo da camada de 0-20 cm de profundidade de um Gleissolo (Glei húmico) da Fazenda Alemão no município de Lagoa da Confusão-TO. Em cada vaso utilizou-se 5 kg de solo (Figura 3.1).



**Figura 3.1.** Vaso com solo de várzea e sementes de arroz irrigado.

Os resultados da análise química e granulométrica das amostras de solo, coletadas antes da instalação do experimento, encontram-se na tabela 3.1. As análises química e granulométricas de solo foram realizadas de acordo com Embrapa (1997).

Os tratamentos consistiam dos genótipos de arroz irrigado BRS Tropical, BRA 051130, e uma testemunha, sem planta e de três doses de nitrogênio: 0 mg kg<sup>-1</sup>, 150 mg kg<sup>-1</sup> e 300 mg kg<sup>-1</sup>. O parcelamento do N foi baseado no trabalho de Fageria et al. (2003b) que correspondem a metade do N aplicada no plantio e o restante em cobertura, aos 42 dias após o plantio, na forma de uréia. A adubação base foi de 200 mg kg<sup>-1</sup> de solo de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no plantio, 300 mg kg<sup>-1</sup> de solo de K<sub>2</sub>O, sendo 200 mg kg<sup>-1</sup> no plantio e 100 mg kg<sup>-1</sup> em

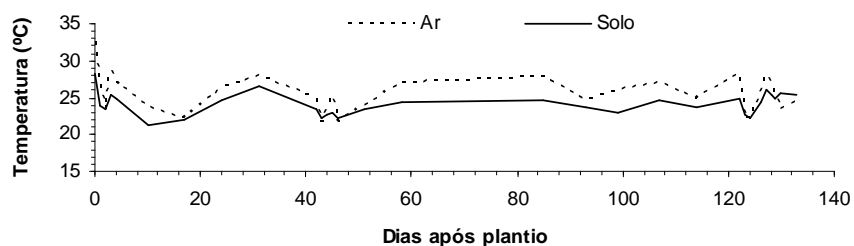
cobertura e de 2 g kg<sup>-1</sup> de solo de calcário tendo-se como fontes o superfosfato triplo, o cloreto de potássio e o calcário dolomítico, respectivamente.

**Tabela 3.1.** Resultado da análise química e granulométrica do solo em estudo, antes da aplicação do nitrogênio.

Propriedades do solo	Valores
pH em água	3,8
Matéria orgânica (g dm <sup>-3</sup> )	24
P (mg dm <sup>-3</sup> )	46,8
K (mg dm <sup>-3</sup> )	48
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,97
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,93
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,0
Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	7,4
Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	1,6
Fe (mg dm <sup>-3</sup> )	380
Mn (mg dm <sup>-3</sup> )	59
B (mg dm <sup>-3</sup> )	1,47
S (mg dm <sup>-3</sup> )	7,9
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	400
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	233
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	367

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e com quatro repetições. As doses de N constituíram a parcela principal, e os genótipos as subparcelas. Deixaram-se quatro plantas por vasos e após 15 dias do plantio os vasos foram inundados com lâmina de água de aproximadamente 3 cm. Após a maturação fisiológica que ocorreu por volta dos 122 dias após o plantio efetuou-se a retirada da lâmina de água dos vasos.

Foram feitas leituras da temperatura do solo e do ar durante todo o período do experimento pela manhã. A temperatura durante o período de avaliação de N<sub>2</sub>O encontra-se na Figura 3.2.



**Figura 3.2.** Temperatura do ar e do solo nos dias de amostragem de N<sub>2</sub>O, durante o período da manhã.

### 3.2.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados foram submetidos a análise de variância ( $P < 0,05$ ), sendo as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).



## REFERÊNCIAS

- AZAMBUJA, I. H. V.; VERNETTI JÚNIOR, F. J.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. Aspectos socioeconômicos da produção do arroz. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES JR., A. M. (Ed.). **Arroz Irrigado no Sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.
- CAI, Z.; XING, G.; YAN, X., XU, H.; TSURUTA, H.; YAGI, K.; MINAMI, K. Methane and nitrous oxide emissions from paddy fields as affected by nitrogen fertilizers and water management. **Plant and Soil**, The Hague, v. 196, n. 1, p. 7-14, 1997.
- CAMARGO, F. A. de O.; SANTOS, G. de A.; ZONTA, E. Alterações eletroquímicas em solos inundados. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 171-180, 1999.
- CARDOSO, A. N.; SAMINÉZ, T. C.; VARGAS, M. A. **Fluxo de gases-traço de efeito estufa na interface solo-atmosfera em solos de cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2001. 23 p. (Embrapa Cerrados, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 17. Novembro, 2001).
- CENTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ARROZ E FEIJAO. **CNPAF/EMBRAPA**. Santo Antonio de Goiás. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br>>. Acesso em: 10 dez. 2010.
- CQFS- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO- RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre, 2004. 400 p.
- CRASWELL, E. T.; VLEK, L. G. Greenhouse evaluation of nitrogen fertilizers for rice. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 43, p. 1184-1188, 1979.
- DE-CAMPOS, A. B. 2006. **Effects of redox on the solution chemistry and aggregate stability of Midwest upland soils**. 2006. 249 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Purdue University, USA, 2006.
- DE-CAMPOS, A.B.; MAMEDOV, A. I.; HUANG, C. Short-term reducing conditions decrease soil aggregation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 73, n. 2, p. 550-559, 2009.
- DENMEAD, O. T. Measuring fluxes of greenhouse gases between rice fields and the atmosphere. In: PENG, S.; INGRAM, K.T.; NEUE, H.U.; et al. (Ed.) **Climate change and rice**. New Delhi: Thomson, 1995. p. 15-29.
- DUXBURY, J. M. The significance of agricultural sources of greenhouse gases. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 38, p. 151-163, 1994.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Meio Ambiente. **Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa:** emissões de gases de efeito estufa na queima de resíduos agrícolas. Ministério da Ciência e Tecnologia, 2002. 105 p. (Relatórios de referência) Disponível em: <[http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0021/21373.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0021/21373.pdf)>. Acesso em: 22 de julho de 2009.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Meio Ambiente. **Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa:** emissões de metano o cultivo de arroz. Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006a. 59 p. (Relatórios de referência) Disponível em: <[http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0008/8807.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8807.pdf)>. Acesso em: 10 de julho de 2009.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2. ed. Brasília: Embrapa Serviço de Produção de Informação, 2006b. 412p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Meio Ambiente. **Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa:** emissões de óxido nitroso provenientes de solos agrícolas. Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006c. 129 p. (Relatórios de referência) Disponível em: <[http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0008/8809.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8809.pdf)>. Acesso em: 22 de julho de 2009.

FAGERIA, N. K. **Adubação e nutrição mineral da cultura de arroz.** Goiânia: Embrapa-CNPAF; Rio de Janeiro: Campus, 1984. 341 p.

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p. 6-16, 1998.

FAGERIA, N. K. Yield physiology of Rice. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 30, p. 843-979, 2007.

FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P. **Deficiências nutricionais na cultura do arroz:** identificação e correção. Brasília: Embrapa-SPI, 1994. 36 p. (Embrapa- CNPAF. Documentos, 42).

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Lowland Rice response to nitrogen fertilization. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 32, n. 9/10, p. 1405-1429, 2001.

FAGERIA, N. F.; BARBOSA FILHO, M. P.; ZIMMERMANN, F. J. P. Caracterização química e granulométrica de solos de várzea de alguns estados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 2, p. 267-274, 1994.

FAGERIA, N. K.; SANTANA, E. P.; CASTRO, E. da M. de ; MORAES, O. P. Resposta diferencial de genótipos de arroz de sequeiro à fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 261-287, 1995.

FAGERIA, N. K.; SLATON, N. A.; BALIGAR, V. C. Nutrient management for improving lowland rice productivity and sustainability. **Advances in Agronomy**, New York, v. 80, n. 2, p. 63-152, 2003a.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B. dos; STONE, L. F. **Manejo da fertilidade do solo para o arroz irrigado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003b. 250 p.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B. dos; STONE, L. F. **Manejo do nitrogênio em arroz irrigado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003c. 4 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnica, 58).

FAIRHURST, T.H.; DOBERMANN, A. Rice in the global food supply. **Better Crops International**, Atlanta, v. 16, Special Supplement, p. 3-6, 2002.

FBDS. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. **Efeito estufa um problema que envolve todas as nações**. Companhia Vale do Rio Doce. 1994. 24 p.

GIACOMINI, S. J.; JANTALIA, C. P.; AITA, C.; URQUIAGA, S. S.; ALVES, B. J. R. Emissão de óxido nitroso com a aplicação de dejetos líquidos de suínos em solo sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 11, p. 1653-1661, 2006

GOMES, J. **Emissão de gases do efeito estufa e mitigação do potencial de aquecimento global por sistemas conservacionistas de manejo do solo**. 2006. 151f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)- Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

GONÇALVES, C. E. A. **Estudo da produção de óxido nitroso em cultivo de feijão (*phaseolus vulgaris*)**. 2002. 89 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial)- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002.

GONCALVES, G. K.; SOUSA, R. O. de; VAHL, L. C.; BORTOLON, L. Solubilização dos fosfatos naturais Patos de Minas e Arad em dois solos inundados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 2157-2164, 2008.

GUIMARÃES, C. M.; SANTOS, A. B.; MAGALHAES JUNIOR, A. M.; STONE, L. F. Sistemas de cultivo. In: SANTOS, A. B. dos; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. de A.. (Org.). **A cultura do arroz no Brasil**. 2 ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. p. 53-96.

IAEA. International Atomic Energy Agency. **Manual on measurement of methane and nitrous oxide emissions from agriculture**. Viena: IAEA, 1982. 91 p. (IAEA, TECDOC, 674).

IICA. **Situação e perspectivas da agricultura brasileira 2008: a experiência da cooperação técnica do IICA**. DF: Brasília: 2009. 192p.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change 2001: the scientific basis**. United Kingdom: Cambridge University, 2001. 881 p.

KAISER, E. A.; KOHRS, K.; KUCKE, M.; SCHNUG, E.; HEINEMEYER, O.; MUNCH, J. C. Nitrous oxide release from arable soil: importance of n-fertilization, crops and temporal variation. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 30, n.12, p. 1553-1563, 1998.

KIRK, G. **The biogeochemistry of submerged soils**. Chichester: Wiley, 2004. 304 p.

KOYAMA, T.; APP, A. Nitrogen balance in flooded rice soils. In: **Nitrogen and Rice**. The International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines, 1979. p. 95-104.

LIMA, M. A. Emissão de gases de efeito estufa. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, Brasília, v. 3, n. 17, p. 38-43, 2000.

LIMA, M. A. de. Agropecuária brasileira e as mudanças climáticas globais: caracterização do problema, oportunidades e desafios. **Caderno de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 19, n. 3, p. 451-472, 2002.

LIU, X. J.; MOSIER, A. R.; HALVORSON, A. D.; ZHANG, F. S. The impact of nitrogen placement and tillage on NO, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> fluxes from a clay loam soil. **Plant and Soil**, The Hague, v. 280, p. 177-188, 2006.

LIU, X. J.; MOSIER, A. R.; HALVORSON, A. D.; REULE, C. A.; ZHANG, F. S. Dinitrogen and N<sub>2</sub>O emissions in arable soils: Effect of tillage, N source and soil moisture. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 39, p. 2362-2370, 2007.

MADARI, B. E.; COSTA, A. R. da; JANTALIA, C. P.; MACHADO, P. L. O. A.; CUNHA, M. B. da; MARTINS, D. R.; SANTOS, J. H. G. dos; ALVES, B. J. R. **Fator de Emissão de Óxido Nítrico (N<sub>2</sub>O) para a Fertilização com N na Cultura do Feijoeiro Comum Irrigado no Cerrado**. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2007. 4 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado Técnico 144. Dezembro, 2007).

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

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

MOSIER, A. R.; PARTON W. J.; HUTCHINSON, G. L. Modelling nitrous oxide evolution from cropped and native soils. **Ecology Bulletin**, Tempe, v. 35, p. 229-241, 1983.

PONNANPERUMA, F. N. The chemistry of submerged soils. **Advances in Agronomy**, New York, v. 24, p. 29-96, 1972.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343p.

RASSINI, J. B.; REIS, A. E. G. dos; MACEDO, J.; LEITE, J. C. **Caracterização de várzeas na região dos cerrados**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1984. 16 p. (Embrapa-CPAC. Boletim de Pesquisa, 22).

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

SILVA, L. S. da; SOUZA, R. O. de; BOHNEN, H. Alterações no teores de nutrientes em dois solos inundados, com e sem plantas de arroz. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 3, p. 487-490, 2003.

SOUSA, R. O.; BOHNEN, H.; MEURER, E. J. Composição da solução de um solo inundado conforme a profundidade e o tempo de inundação, utilizando novo método de coleta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 343-348, 2002.

SOUSA, R. O.; VALH, L. C.; OTERO, X. L. Química de solos inundados. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (eds). **Química e mineralogia do solo**- Parte II Aplicações. SBCS, Viçosa- MG, 2009. Cap. 20, p. 485-528.

SWAROWSKY, A.; RIGHES, A. A.; MARCHEZAN, E.; RHODEN, A. C.; GUBIANI, E. I. Concentração de nutrientes na solução do solo, sob diferentes manejos do arroz irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 344-351, 2006.

VAHL, L. C.; SOUZA, R. O. Aspectos físico-químicos de solos inundados. In: GOMES, A. da S., MAGALHÃES JUNIOR, A. M. de (Org). **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Embrapa, Brasília - DF, 2004. Cap. 4, p. 97-117.

## **4 TRANSFORMAÇÕES QUÍMICAS NO SOLO E NA SOLUÇÃO DO SOLO DE VÁRZEA INUNDADO SOB CULTIVO DE ARROZ IRRIGADO COM ADUBAÇÃO NITROGENADA**

### **RESUMO**

Nos solos inundados o equilíbrio de elementos e compostos e o metabolismo microbiano são alterados, desencadeando uma série de transformações físicas, químicas e biológicas que levam a um novo estado de equilíbrio, com características distintas às de antes da inundação. O trabalho teve o objetivo de avaliar as transformações químicas em solo inundado, de várzea, sob o cultivo de arroz irrigado com o uso de adubação nitrogenada. O sistema empregado para coletar a solução do solo consistiu em uma mangueira de plástico perfurada fixada nas paredes do vaso. A solução foi succionada da mangueira por meio de seringas plásticas de 20 mL. As coletas de solução se deram 1, 3, 7, 14, 28, 39, 59, 67, 102 dias após inundação, totalizando 9 coletas ao longo de todo o ciclo do arroz. Em cada coleta eram retirados aproximadamente 90 ml de solução do solo, sendo que 80 mL para análise de metais e 10 mL para leitura de pH. Nas amostras para análise de metais foram adicionados solução de HCl 1 mol L<sup>-1</sup> e determinados os teores de K (fotômetro de chama), Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu (absorção atômica), P (colorímetro), NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (FIA); estes após filtragem da solução em filtro de 0,45 µm. Já para a leitura de pH a coleta foi feita em frasco de vidro lacrado, após ter sido feito vácuo de 80 KPa com bomba de vácuo manual. As leituras de potencial redox foram efetuadas diretamente nos vasos sob inundação simultaneamente às coletas de solução do solo. Foram utilizados eletrodos específicos, sendo um de leitura de platina e outro de referência. Ao término do experimento fez-se a amostragem do solo dos vasos, contemplando todos os tratamentos; sendo realizada análises de Ca, Mg, K, P e pH do solo. A condição de anaerobiose do estudo promoveu mudanças químicas no solo e na solução do solo, sendo que as transformações mais pronunciadas ocorreram com as mudanças nas condições oxirredutoras. Os efeitos das condições de oxirredução promoveram alterações na interface solo-solução do solo. De forma geral, tanto as doses de nitrogênio quanto a presença ou ausência de plantas afetaram direta ou indiretamente a dinâmica das propriedades químicas do solo sob inundação. O pH e os teores de Ca, Mg e P no solo aumentaram após a implantação dos tratamentos, sendo que também foi observado aumentos na concentração de K nos tratamentos sem plantas quando comparados com os demais. As principais transformações que ocorreram na solução do solo foram a diminuição do potencial de oxirredução e, conseqüente aumento do pH. Alguns nutrientes como cálcio e magnésio aumentaram a concentração em solução com o tempo de inundação até atingirem um pico e posteriormente tiveram suas concentrações reduzidas. O aumento inicial desses nutrientes está relacionado provavelmente a concorrência dos sítios de troca no solo por elementos sensíveis a redução. Já o potássio, manganês, nitrato e amônio tiveram um comportamento diferente, seus teores na solução do solo reduziram ao longo do período de inundação. O teor de ferro na solução do solo teve um aumento durante o período estudado, sendo observado um valor máximo aos 59 dias após a inundação.

*Palavras-chave:* oxirredução, nitrogênio, genótipos de arroz irrigado.

## ABSTRACT

### **CHEMICAL TRANSFORMATIONS IN SOIL AND SOIL SOLUTION UNDER FLOODED LOWLAND RICE WITH NITROGEN FERTILIZATION**

In waterlogged soils the balance of elements and compounds and microbial metabolism are changed, triggering a series of physical, chemical and biological weapons that lead to a new equilibrium state with distinct characteristics as before the flood. The study aimed to evaluate the chemical transformations in flooded soil, floodplain, under irrigated rice cultivation with the use of nitrogen fertilizer. The system used to collect soil solution consisted of a perforated plastic pipe fixed in the vessel walls. The solution was suctioned through the hose 20 mL plastic syringes. The collection solution is given 1, 3, 7, 14, 28, 39, 59, 67, 102 days after flooding, totaling nine collections throughout the rice cycle. In each collection were removed approximately 90 ml of soil solution, and 80 mL for metal analysis and 10 mL for pH reading. The samples for metal analysis were added to a solution of HCl 1 mol L<sup>-1</sup> and determined the K (flame photometer), Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu (atomic absorption), P (colorimeter), NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (FIA) and these after filtering the solution through a membrane filter of 0.45 micrometers. As for the pH reading the collection was made in a sealed glass bottle, after being done with a vacuum of 80 KPa vacuum pump manual. The redox potential readings were taken directly to the pots under flooding both on samples of soil solution. Specific electrodes were used, with a reading of platinum and other reference. After the experiment was made at the soil sampling vessel, comprising all the other treatments being performed analysis of Ca, Mg, K, P and soil pH. The anaerobic condition of the study promoted chemical changes in soil and soil solution, and the most pronounced changes occurring with changing conditions oxirredutoras. The effects of redox conditions promote changes in the interface soil-soil solution. In general, both the nitrogen and the presence or absence of plants directly or indirectly affect the dynamics of soil properties under flooding. Soil pH and exchangeable Ca, Mg and P in soil increased after the implementation of treatments, which was also observed increases in K concentration in the treatments without plants compared to the others. The main transformations that occurred in the soil solution were the decrease of redox potential and consequent increase in pH. Some nutrients such as calcium and magnesium concentration in solution increased with time until reaching a peak flood and subsequently had their low concentrations. The initial increase of nutrients is likely related to competition from exchange sites in soil for sensitive elements of the reduction. Since potassium, manganese, nitrate and ammonium had a different behavior, its content in the soil solution decreased during the flood period. The iron content in the soil solution was increased during the study period and observed a maximum at 59 days after flooding.

*Keywords:* redox, nitrogen, rice genotypes.

## 4.1 INTRODUÇÃO

Nos solos inundados o equilíbrio de elementos e compostos e o metabolismo microbiano são alterados, desencadeando uma série de transformações físicas, químicas e

biológicas que levam a um novo estado de equilíbrio, com características distintas às de antes da inundação (Sousa et al., 2009). Os seus atributos físicos e químicos sofrem drásticas transformações, que ocorrem como consequência de reações físicas entre o solo e a água, bem como de processos químicos e biológicos provocados pelo excesso de umidade (De-Campos et al., 2009).

Essas transformações provocadas pela anaerobiose no solo podem ter efeitos ambientais indesejáveis sobre o solo. Dentre esses efeitos incluem a mobilização de metais e as emissões de gases de efeito estufa resultantes de processos microbianos que interagem com as transformações geoquímicas (Kirk, 2004). Podem ser observados essas alterações do ponto de vista eletroquímico, sendo a alteração mais pronunciada às do sistema oxirredutor, no qual os valores do potencial de oxirredução (Eh) indicam a mudança química de vários elementos, como oxigênio, ferro, manganês, nitrogênio, enxofre e carbono (Camargo et al., 1999).

As reações de oxirredução são uma das principais reações responsáveis pela vida na terra, sendo diretamente relacionados com a ciclagem de muitos elementos essenciais, assim como com a dissolução e precipitação de muitos minerais, alguns dos quais catalisados ou mediados por sistemas biológicos (Sousa et al., 2009). Quando os solos são inundados ocorre o consumo do estoque de oxigênio no solo saturado pela respiração microbiana e o potencial redox (Eh) abaixa indicando presença de ambiente redutor. Com a ausência de oxigênio a respiração passa a ser predominantemente anaeróbica controlada por elementos outros que não o oxigênio. Dessa forma, para proceder com a respiração anaeróbica os microrganismos passam a utilizar outros compostos como receptores de elétrons no processo de respiração e fermentação, tais como  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Mn}_4^+$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  (Ponnanperuma, 1972).

Juntamente às alterações do Eh ocorrem variações no pH do solo, sendo observado um aumento em solos ácidos, por causa do consumo de  $\text{H}^+$ , e em solos alcalinos há uma redução do pH devido a acumulação de  $\text{CO}_2$  (Ponnanperuma, 1972). Em consequência dessas condições ocorrem a liberação de cátions, presentes nos sítios de troca da matriz coloidal, na solução do solo. Dessa forma alguns íons, macro e micronutrientes, como o potássio e o amônio aumentam sua concentração no meio (Camargo, 1992).

As transformações sofridas em solos inundados têm grande importância biológica, pois estas influenciam a distribuição de espécies vegetais. Dentre as culturas agrícolas, a do arroz possui a aplicação mais importante nesse tipo de ambiente. O cultivo



do arroz ocorre em solos saturados e com a presença de lâmina d'água sobre o solo durante a maior parte do ciclo, expulsando o oxigênio e tornando o metabolismo microbiano anaeróbico.

Estudos têm sido feitos avaliando as alterações nos teores de nutrientes na solução dos solos inundados com a presença de plantas de arroz (Silva et al., 2003; Cheng et al., 2006). No entanto, o desempenho dos genótipos nas transformações químicas sofridas na interface solo-solução do solo ainda não se tem visto. É notória a complexidade das transformações químicas ocorridas nos ambientes inundados. Dessa forma, a pesquisa teve o objetivo de avaliar as transformações químicas em solo de várzea inundado, sob o cultivo de arroz irrigado com o uso de adubação nitrogenada.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

A solução precisa ser retirada do solo para que possa ser analisada. A etapa da coleta é a etapa mais crítica, pois a solução não pode ter as características químicas e físicas alteradas durante o processo de coleta. Para solos inundados, existe a necessidade de limitar o contato da solução do solo com o O<sub>2</sub> atmosférico, pois esse modifica o estado de oxirredução dos seus componentes, alterando a sua constituição química (Sousa et al., 2009).

O sistema empregado para coletar a solução do solo consistiu em uma adaptação do utilizado por Vahl (1991). Utilizou-se uma mangueira plástica de 8 mm de diâmetro e de 25 cm de comprimento. Essa mangueira foi fixada nas paredes do vaso, utilizando veda calha para vedação e as extremidades fechadas com o uso de abraçadeiras. Ao longo da mangueira (no interior do vaso) foram feitos furos de aproximadamente 1 mm de diâmetro, sendo que ao longo de toda porção perfurada foi enrolada uma tela de nylon (malha 100) e amarrada com fios de nylon para impedir a entrada de partículas de solo junto com a solução durante a coleta (Figura 4.1). A solução foi succionada da mangueira por meio de seringas plásticas de 20 mL.

A inundação dos vasos se deu aos quinze dias após o plantio, com uma lâmina de aproximadamente 3 cm de altura. As coletas de solução se deram 1, 3, 7, 14, 28, 39, 59, 67, 102 dias após inundação, totalizando 9 coletas ao longo de todo o ciclo do arroz. Em cada coleta eram retirados aproximadamente 90 ml de solução do solo, sendo que 80 mL para análise de metais e 10 mL para leitura de pH. Nas amostras para análise de metais

foram adicionados solução de HCl 1 mol L<sup>-1</sup> e determinados os teores de K (fotômetro de chama), Ca, Mg, Fe, Mn (absorção atômica), P (colorímetro), NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (FIA); esses após filtragem da solução em filtro milipore 0,45 µm. Já para a leitura de pH a coleta foi feita em frasco de vidro lacrado, após ter sido feito vácuo de 80 KPa com bomba de vácuo manual.



**Figura 4.1.** Sistema de coleta de solução do solo em vaso, com detalhe da mangueira perfurada.

Para a leitura de pH, no mesmo dia da coleta, se retirava o lacre dos frascos e imediatamente introduzia nos mesmos o eletrodo de leitura. Já as leituras de potencial redox foram efetuadas diretamente no vaso com solo inundado simultaneamente as coletas de solução do solo. Foram utilizados eletrodos específicos, sendo um de leitura de platina e outro de referência. Sendo esses introduzidos no vaso, enterrados em torno de 4 cm no solo. Aguardava-se em torno de 20 a 30 minutos para que os eletrodos estabilizassem e somente após efetuavam-se as leituras. Os valores de Eh foram corrigidos para o potencial padrão do eletrodo de referência conforme a fórmula (Patrick et al., 1996):

$$Eh = Eh \text{ medido} + 199$$

Ao término do experimento fez-se a amostragem do solo dos vasos, contemplando os tratamentos de adubação nitrogenada e os de presença e ausência de dois genótipos de arroz irrigado. Essas amostras foram secas ao ar e depois peneiradas para posterior análise da terra fina seca ao ar (TFSA). Procedeu-se a análise química no Laboratório de Química de Solos da Embrapa Arroz e Feijão. Os nutrientes analisados foram Ca, Mg, K, P e foi realizada a leitura do pH do solo. A análise química do solo foi realizada de acordo com os procedimentos de Embrapa (1997).

## 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.3.1 Transformações químicas no solo após a inundação

No estudo em questão foram observados efeitos significativos entre doses e genótipos para o pH do solo, sendo verificadas variações de 3,8 a 5,93 (Tabela 4.1). Esse acréscimo de pH após o experimento revela que as condições de inundação ocasionaram mudanças químicas e, conseqüentemente um aumento do pH no solo.

De acordo com Patrick & Reddy (1978) os solos ácidos tem um aumento de pH devido a inundação, sendo que para a maioria dos solos esse valor tende a neutralidade, entre 6,5 a 7,5. Essa mudança é causada pelo consumo de  $H^+$  nas reações de oxidação-redução nos solos inundados (Ponnanperuma, 1972).

Observa-se na Tabela 4.2 que antes da implantação do experimento tinha-se um menor valor para Ca no solo. Isso pode ter sido ocasionado pela disponibilização pela calagem realizada nesse solo. Sendo o mesmo comportamento verificado para o Mg (Tabela 4.3).

**Tabela 4.1.** Valores médios do pH do solo antes e ao final do experimento sob diferentes doses de N.

Genótipos	Antes do Experimento	Ao final do experimento		
		Doses de nitrogênio ( $mg\ kg^{-1}$ )		
		0	150	300
Testemunha	3,80 aB	5,73 aA	5,85 aA	5,93 aA
BRS Tropical	3,80 aB	5,53 bA	5,60 bA	5,55 bA
BRA 051130	3,80 aB	5,53 bA	5,60 bA	5,63 bA

<sup>(1)</sup> Valores seguidos por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e seguidos por letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

**Tabela 4.2.** Valores médios de Ca ( $mmol\ dm^{-3}$ ) no solo antes e ao final do experimento sob diferentes doses de N.

Genótipos	Antes do Experimento	Ao final do experimento		
		Doses de nitrogênio ( $mg\ kg^{-1}$ )		
		0	150	300
Testemunha	29,70 aB	45,50 bA	44,50 bA	44,25 bA
BRS Tropical	29,70 aB	54,75 aA	49,75 abA	54,50 aA
BRA 051130	29,70 aC	50,25 abAB	54,25 aA	41,25 bB

<sup>(1)</sup> Valores seguidos por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e seguidos por letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

**Tabela 4.3.** Valores médios de Mg ( $\text{mmol dm}^{-3}$ ) no solo antes e ao final do experimento sob diferentes doses de N.

Genótipos	Antes do Experimento	Ao final do experimento		
		Doses de nitrogênio ( $\text{mg kg}^{-1}$ )		
		0	150	300
Testemunha	9,30 aB	14,00 abA	14,25 abA	13,50 abA
BRS Tropical	9,30 aB	15,50 aA	14,25 aA	14,75 aA
BRA 051130	9,30 aB	12,75 bA	14,75 bA	11,00 bA

<sup>(1)</sup> Valores seguidos por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e seguidos por letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

A interação entre doses e genótipos para o potássio foi significativa, sendo observado na Tabela 4.4 que o tratamento sem planta de arroz possibilitou maiores valores de K independente da dose de N utilizada. Isso ocorreu porque o K é um dos nutrientes mais requeridos pelo arroz (Fageria et al., 2003).

**Tabela 4.4.** Valores médios de K ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) no solo e ao final do experimento sob diferentes doses de N.

Genótipos	Antes do Experimento	Ao final do experimento		
		Doses de nitrogênio ( $\text{mg kg}^{-1}$ )		
		0	150	300
Testemunha	48,00 aB	195,00 aA	206,75 aA	194,75 aA
BRS Tropical	48,00 aA	50,50 bA	15,00 bA	13,00 bA
BRA 051130	48,00 aA	34,00 bA	16,25 bA	15,00 bA

<sup>(1)</sup> Valores seguidos por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e seguidos por letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

O P apresentou maiores teores no solo após o experimento, sendo que se verificaram teores decrescentes conforme o aumento das doses de N. A concentração de P variou entre 65,13 e 81,13  $\text{mg dm}^{-3}$ , sendo esses valores entre a dose mais alta de N e a testemunha sem aplicação de N (Tabela 4.5).

**Tabela 4.5.** Valores médios de P ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) no solo antes e após a instalação do experimento sob diferentes doses de N.

Genótipos	Antes do Experimento	Ao final do experimento		
		Doses de nitrogênio ( $\text{mg kg}^{-1}$ )		
		0	150	300
Testemunha	46,80 aC	81,13 aA	67,88 aAB	66,00 aB
BRS Tropical	46,80 aC	69,75 aA	71,13 aAB	66,76 aB
BRA 051130	46,80 aC	74,25 aA	70,37 aAB	65,13 aB

<sup>(1)</sup> Valores seguidos por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e seguidos por letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

Em ambientes inundados ocorre o aumento de elementos sensíveis à redução na solução do solo e em consequência pode-se ter o deslocamento de cálcio, magnésio para sítios de troca do solo. Com isso, observa-se nas Figuras 4.4 e 4.5 redução na concentração de Ca e Mg na solução do solo após 14 dias de inundação.

### 4.3.2 Transformações químicas na solução do solo com a inundação

Pela análise de variância (Tabela 4.6) observa-se que o fator dose de nitrogênio não apresentou efeito significativo apenas para o P e o  $\text{NO}_3^-$ , mas quanto ao fator genótipo o pH, Ca, Mg, K, P, Fe, Mn e  $\text{NH}_4^+$  mostraram diferenças.

**Tabela 4.6.** Quadrado médio e significância estatística dos valores médios dos nutrientes Ca, Mg, K, P, Fe, Mn,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  e do pH e Eh na solução do solo na cultura do arroz irrigado devido aos tratamentos.

Causa de Variação	Significância Estatística									
	pH	Eh	Ca	Mg	K	P	Fe	Mn	$\text{NO}_3^-$	$\text{NH}_4^+$
Dose (A)	1,07*	848 <sup>ns</sup>	5,41*	0,46*	31092*	0,14 <sup>ns</sup>	3257*	19,30*	130 <sup>ns</sup>	592*
Genótipo (B)	0,13*	439 <sup>ns</sup>	1,69*	1,48*	273082*	5,19*	12903*	11,88*	514 <sup>ns</sup>	2611*
Época (C)	1,70*	100972*	14,86*	1,13*	431412*	4,05*	72189*	23,53*	17274*	879*
A*B	0,15*	ns	1,18*	0,1 <sup>ns</sup>	7442 <sup>ns</sup>	0,14*	1483 <sup>ns</sup>	2,64 <sup>ns</sup>	268 <sup>ns</sup>	73 <sup>ns</sup>
A*C	0,12*	ns	1,60*	0,08 <sup>ns</sup>	6181 <sup>ns</sup>	0,19*	2327*	3,40 <sup>ns</sup>	82 <sup>ns</sup>	70*
B*C	0,12*	ns	0,84*	0,29*	57050*	0,69*	1482 <sup>ns</sup>	6,91*	265 <sup>ns</sup>	250*
A*B*C	0,03 <sup>ns</sup>	ns	0,18 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	2703 <sup>ns</sup>	0,10*	584 <sup>ns</sup>	1,48 <sup>ns</sup>	144 <sup>ns</sup>	59*

ns: não significativo pelo teste “F” ( $P \leq 0,05$ ), \* significativo pelo teste “F” ( $P \leq 0,05$ ).

**Tabela 4.7.** Variação dos teores médios dos nutrientes Ca, Mg, K, P, Fe, Mn,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  e do pH e Eh na solução do solo em relação a diferentes doses de nitrogênio, média do período de inundação<sup>(1)</sup>.

Propriedades químicas	Doses de nitrogênio ( $\text{mg kg}^{-1}$ )		
	0	150	300
pH (em água)	6,25 C	6,36 B	6,45 A
Eh (mV)	149,43 A	135,22 A	140,35 A
Ca ( $\text{mmol dm}^{-3}$ )	1,37 B	1,64 A	1,20 B
Mg ( $\text{mmol dm}^{-3}$ )	0,83 AB	0,90 A	0,77 B
K ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	139,27 B	145,83 AB	171,38 A
P ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	0,83 A	0,76 A	0,82 A
Fe ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	66,14 A	63,99 AB	55,73 B
Mn ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	3,79 A	3,65 A	3,00 B
$\text{NO}_3^-$ ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	15,21 A	14,15 A	16,35 A
$\text{NH}_4^+$ ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	7,65 C	10,42 B	12,31 A

<sup>(1)</sup> Valores seguidos por letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

Para a maioria das interações entre as fontes de variação não foram encontrados efeitos significativos. Observa-se nas tabelas 4.7 e 4.8 as variações dos nutrientes em relação às doses de N e também a ausência e presença de plantas de arroz irrigado.

**Tabela 4.8.** Variação dos teores médios dos nutrientes Ca, Mg, K, P, Fe, Mn,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  e do pH e Eh na solução do solo em relação a ausência e presença de plantas de arroz (genótipos BRS Tropical e BRA 051130), média do período de inundação <sup>(1)</sup>.

Propriedades químicas	Testemunha (sem planta)	Genótipos	
		BRS Tropical	BRA 051130
pH (em água)	6,36 AB	6,31 B	6,38 A
Eh (mV)	135,74 A	141,77 A	147,49 A
Ca ( $\text{mmol dm}^{-3}$ )	1,53 A	1,41 AB	1,28 B
Mg ( $\text{mmol dm}^{-3}$ )	0,96 A	0,82 B	0,73 B
K ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	210,22 A	122,93 B	123,33 B
P ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	1,05 A	0,67 B	0,68 B
Fe ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	73,11 A	61,47 B	51,27 C
Mn ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	3,84 A	3,43 AB	3,18 B
$\text{NO}_3^-$ ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	12,89 A	15,62 A	17,20 A
$\text{NH}_4^+$ ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	15,81 A	7,31 B	7,27 B

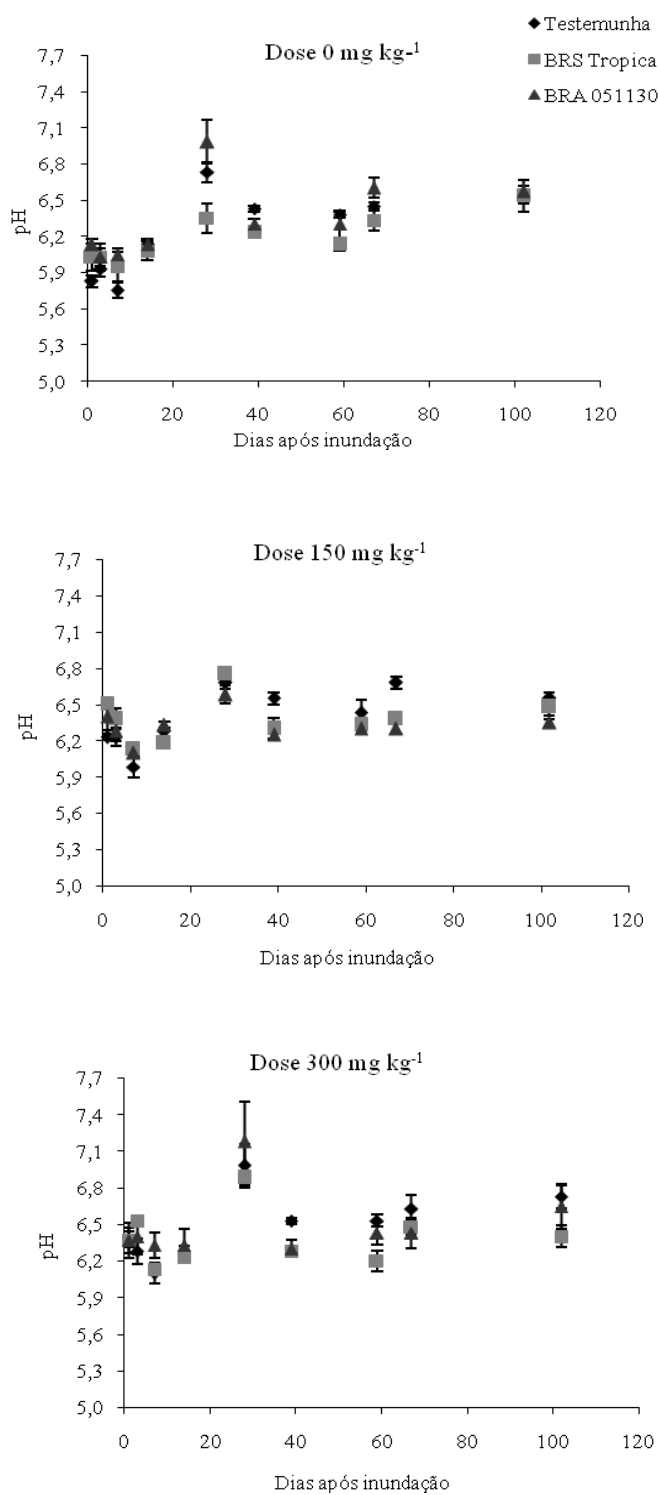
<sup>(1)</sup> Valores seguidos por letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

## pH

Segundo Ponnanperuma (1972), quando um solo ácido é inundado o seu pH aumenta nos primeiros dias e depois estabiliza-se em torno do pH neutro; poucas semanas mais tarde. Essa tendência foi observada nesse trabalho (Figura 4.2), pois o pH da solução do solo tendeu a neutralidade em todos os tratamentos. O mesmo ocorreu no trabalho de De-Campos (2006), o autor estudou solos cultivados e não cultivados dos Estados Unidos onde observou aumento do pH com o tempo de inundação. Os valores de pH do presente trabalho oscilaram em média 1,03 unidades durante o período de inundação, atingindo valor máximo aos 28 dias de inundação (Figura 4.2). Esse aumento inicial observado no pH da solução do solo é consequência do consumo de íons  $\text{H}^+$  nas reações de redução. Já a estabilização do mesmo acontece devido ao equilíbrio químico entre diferentes compostos.

Aos 39 dias após o inundação foi observada uma estabilização dos valores de pH em solução. Quanto a aplicação de nitrogênio as doses utilizadas apresentaram diferenças entre si e em relação ao tratamento sem N, sendo verificado valores superiores

de pH (6,45) na dose de 300 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo (Figura 4.3 e Tabela 4.7). Em relação aos genótipos, também foi observado diferenças significativas, tendo encontrado valor médio de pH maior para o genótipo BRA 051130 (Figura 4.2 e Tabela 4.8).



**Figura 4.2.** Valores de pH da solução do solo em dois genótipos de arroz irrigado e uma testemunha, sob diferentes doses de nitrogênio: 0 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo, 150 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo e 300 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo.

## **Eh**

O potencial de oxirredução determina a intensidade de oxidação e redução no solo e na solução do solo. Potencial positivo acima de 400 mV indica condições oxidadas, já o potencial abaixo desse valor indica condições reduzidas (Patrick & Jugsujinda, 1992). Para o estudo em questão foi observado na Figura 4.3 valores de Eh na faixa de 0 a 400 mV, que de acordo com Patrick & Mahapatra (1968) são considerados ambientes reduzidos a moderadamente reduzidos.

A faixa de Eh encontrada nesta pesquisa (em média entre 325,09 e 39,71 mV) indica que ocorreram transformações importantes como a redução do  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{N}_2$  e  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{Mn}^{4+}$  a  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  a  $\text{Fe}^{2+}$  durante o período de inundação. Já que as reações químicas de redox envolvendo esses compostos acontecem geralmente nessas faixas de Eh (Ponnanperuma, 1977; Tian-Yen, 1985).

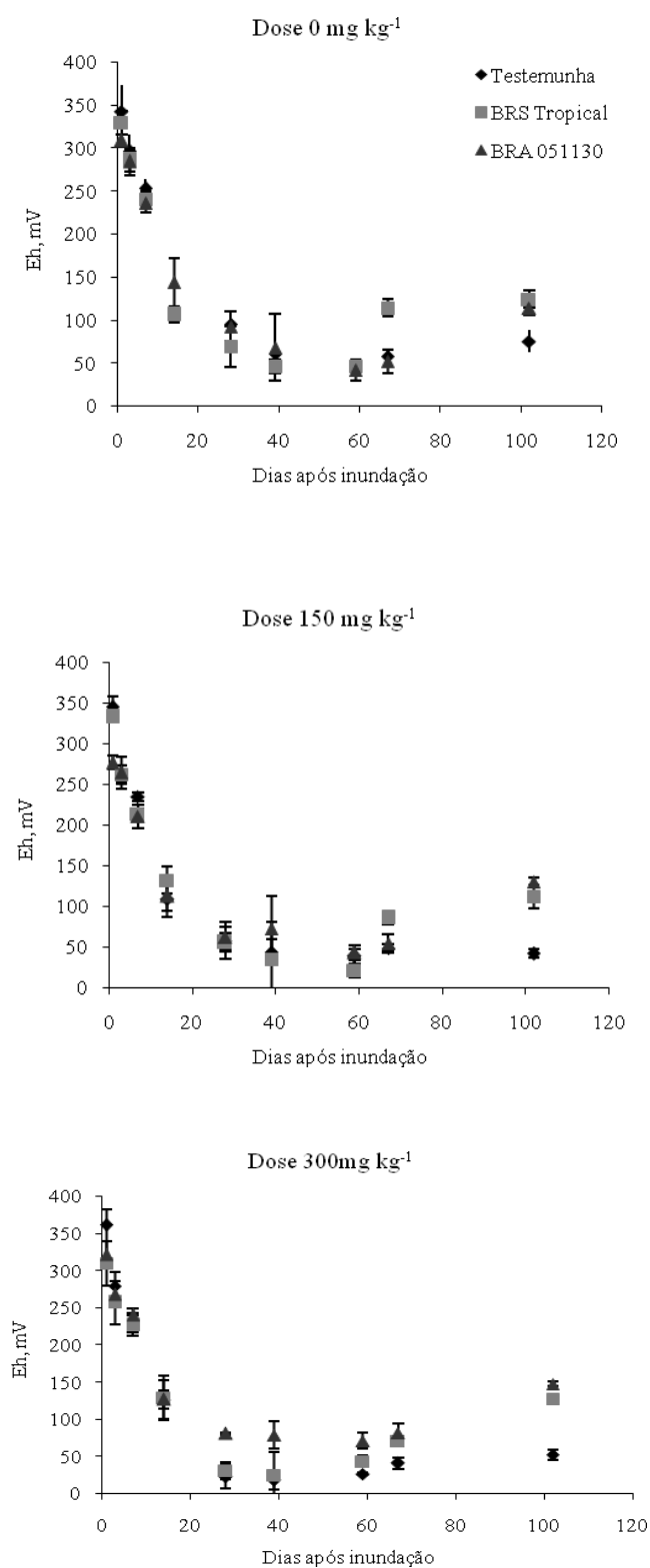
Houve uma queda do potencial de oxirredução na solução do solo com o tempo de inundação, atingindo um valor mínimo de 18,08 mV aos 39 dias de inundação, na testemunha sob dose de 300 mg de  $\text{N kg}^{-1}$  de solo. Após esse período o Eh apresentou um ligeiro aumento, sendo observados para as dosagens valores correspondentes a 44,71; 34,18 e 47,04 mV para a dose 0, 150 e 300 mg de  $\text{N kg}^{-1}$  de solo, respectivamente (Figura 4.3).

De-Campos (2006) estudando o potencial de oxirredução na solução de solo saturado, observou uma queda acentuada nos valores de Eh nos solos não cultivados a partir do primeiro dia de incubação anaeróbia, sendo de 397 para -74 mV.

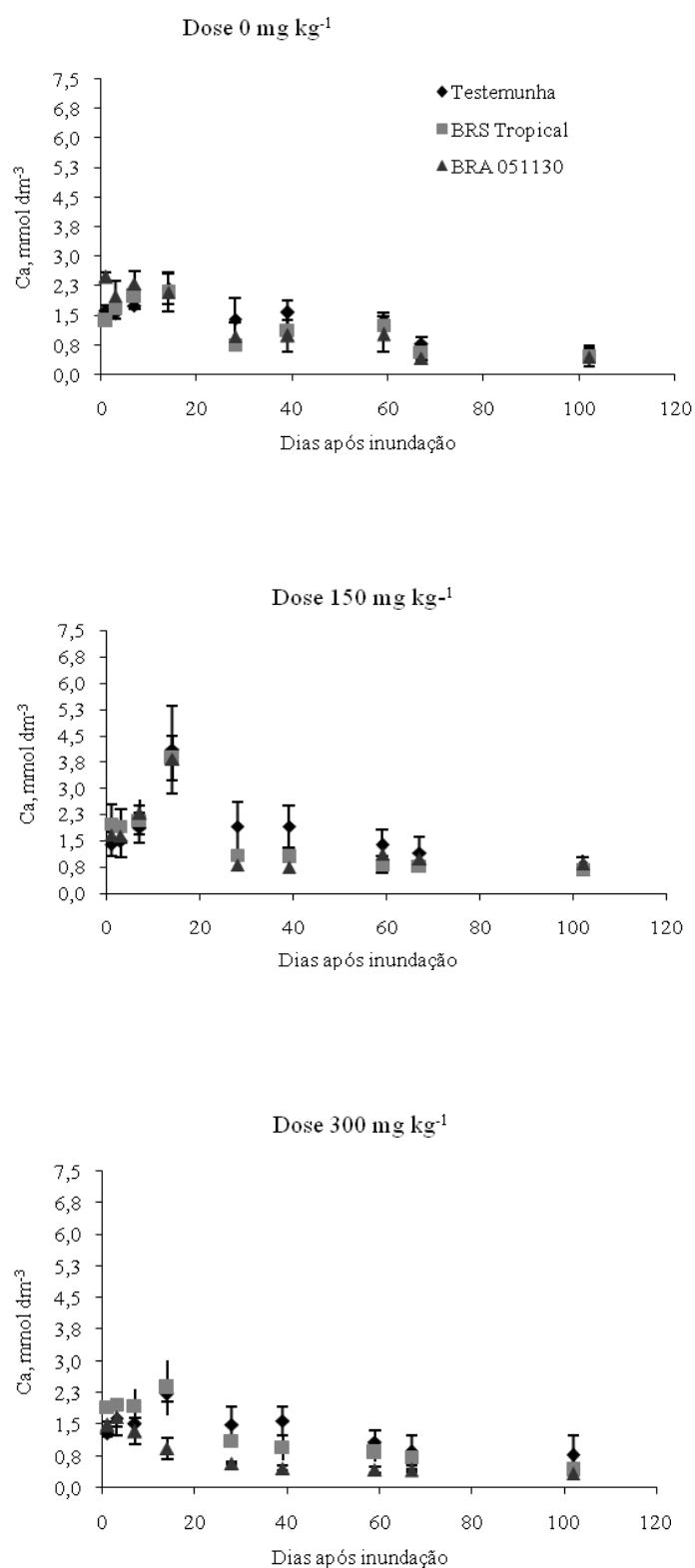
## **Cálcio e Magnésio**

A concentração de Ca e Mg na solução do solo aumentou atingindo valores máximos aos 7-14 dias de inundação, a partir daí se observou uma redução nos teores até a estabilidade dos mesmos. O magnésio atingiu teores menores comparados ao cálcio, mas apresentou um comportamento de estabilização semelhante ao cálcio após 67 dias de inundação (Figuras 4.4, 4.5). A variação nos teores de Ca e Mg durante o inundação também foi observada por Sousa et al. (2002) estudando a composição da solução de um Planossolo inundado conforme o tempo de inundação, que encontrou um pico aos 35 dias de inundação. Já Silva & Ranno (2005) verificaram um valor de Ca na solução de um Gleissolo, proveniente de áreas de produção de arroz no Rio Grande do Sul, máximo aos 28 dias de inundação.

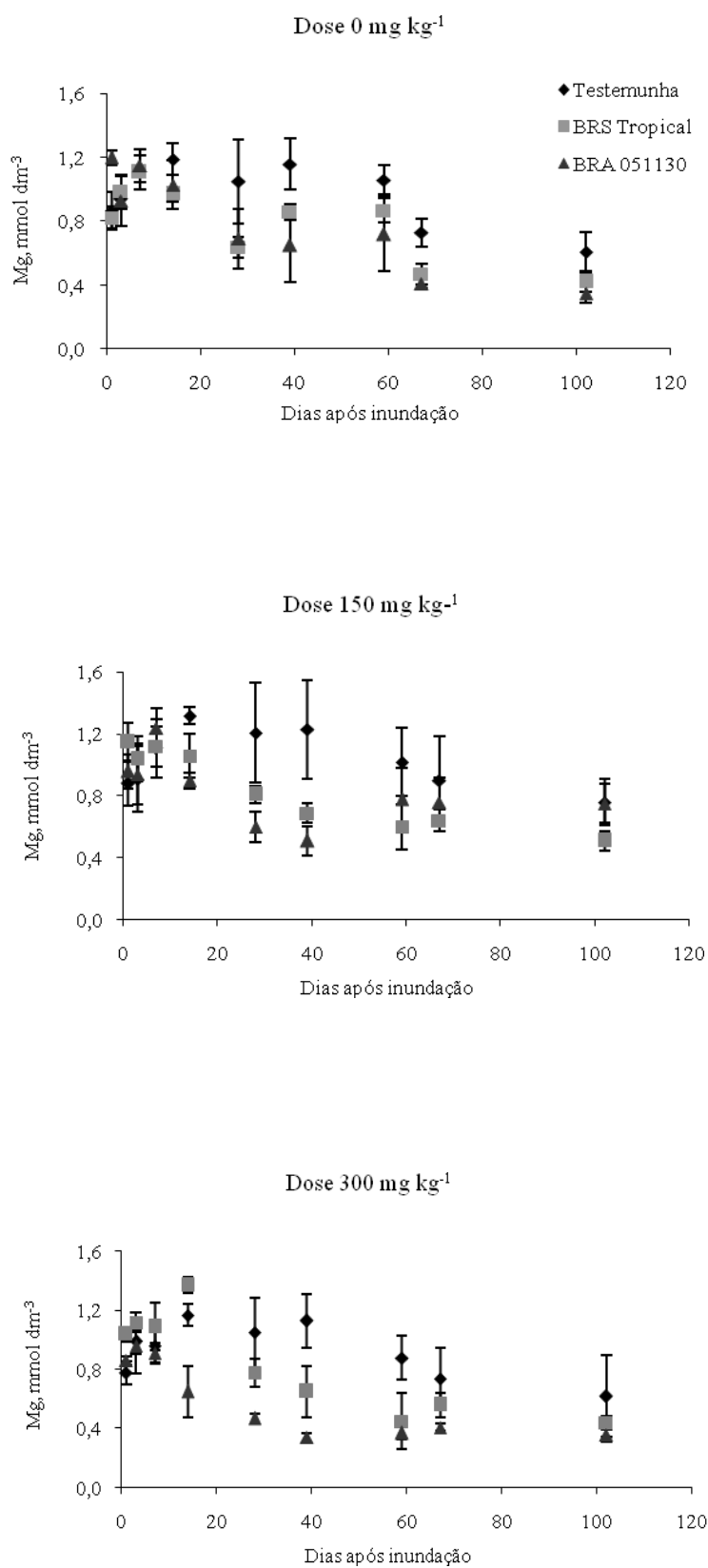




**Figura 4.3.** Valores de Eh (mV) da solução do solo em dois genótipos de arroz irrigado e uma testemunha, sob diferentes doses de nitrogênio: 0 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo, 150 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo e 300 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo.



**Figura 4.4.** Concentração de cálcio (Ca) na solução do solo em dois genótipos e uma testemunha, sob diferentes doses de nitrogênio: 0 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo, 150 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo e 300 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo.



**Figura 4.5.** Concentração de magnésio (Mg) na solução do solo em dois genótipos e uma testemunha, sob diferentes doses de nitrogênio: 0 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo, 150 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo e 300 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo.

A concentração de Ca na solução do solo variou com o tempo de inundação, sendo observadas diferenças significativas entre doses de N e o tempo de inundação (Tabelas 4.6, 4.7 e Figura 4.4). O teor de Ca foi maior na dose 150 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo, apresentando valor médio de 1,64 mmol dm<sup>-3</sup> (Tabela 4.7 e Figura 4.4).

Aos 14 dias após o inundação foram observados os maiores valores de Ca em todos os tratamentos estudados, tendo concentração média de 2,64 mol dm<sup>-3</sup> sendo que após esse período houve um decréscimo e uma tendência a estabilização dos teores (Figura 4.4).

Os teores de Mg na solução do solo foram distintos ao longo do período estudado e variaram com o genótipo e com o tempo de inundação (Tabelas 4.6, 4.8 e Figura 4.5). A concentração sofreu um decréscimo após os 14 dias de inundação sendo decrescentes até o final do período. Observa-se na Tabela 4.8 e na Figura 4.5 que no tratamento sem planta a concentração de Mg na solução do solo mostrou-se significativamente superior aos tratamentos com planta de arroz apresentando um valor médio de 0,96 mmol dm<sup>-3</sup> de Mg.

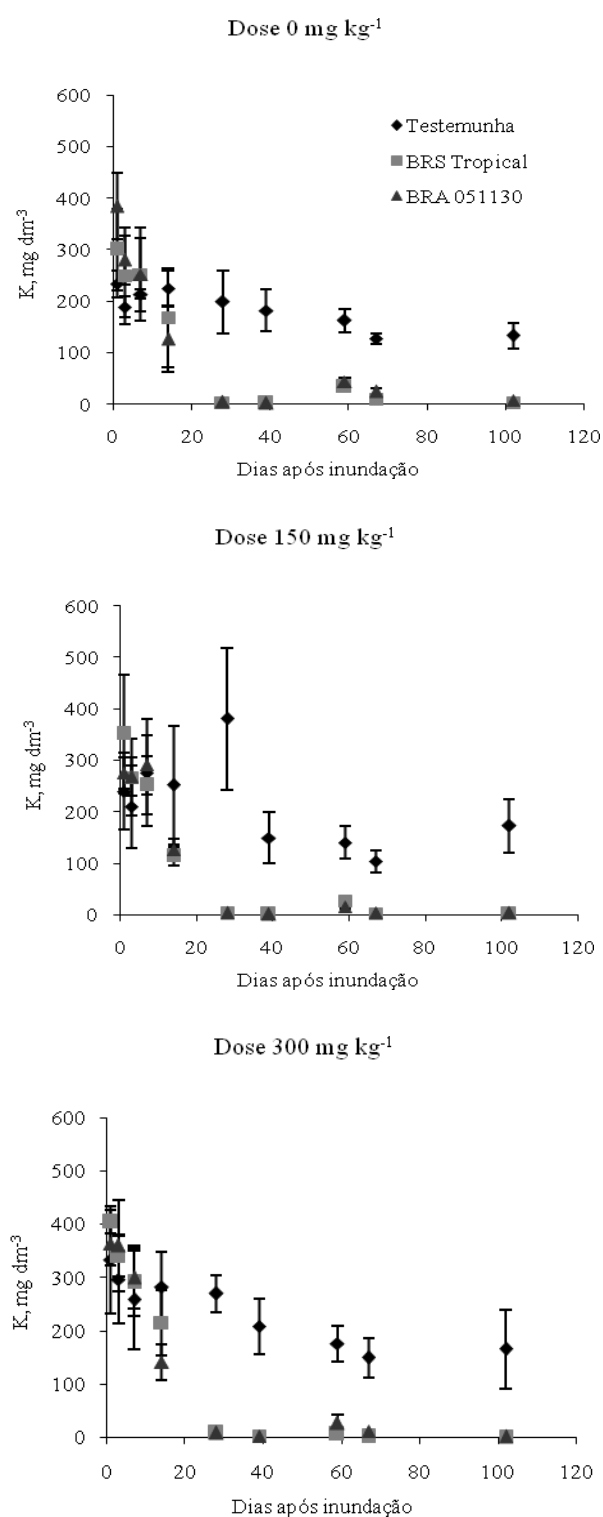
Os resultados encontrados corroboram com os verificados em Silva et al.(2003) verificaram valores máximos de Ca e Mg na solução de um gleissolo (profundidade 0-10 cm) aos 19 dias de inundação, e, após estes tenderam a estabilização. De-Campos (2006) observou incremento na concentração de Ca e Mg na solução do solo com o tempo de saturação.

### **Potássio**

O teor de K na solução do solo nos tratamentos sob adubação nitrogenada apresentou um decréscimo ao longo do período estudado até atingir valores relativamente estáveis após os 39 dias de inundação, com exceção da observação aos 59 dias de inundação devida ao fornecimento de K em cobertura (Figura 4.6). No trabalho de Sousa et al. (2002) verificou-se valores muito baixos de K, sendo que esses variaram com o tempo de inundação, porém essas oscilações foram consideradas normais.

Para o K, houve variação com diferenças significativas em relação aos tratamentos com e sem planta de arroz. Observou-se maiores teores de K na solução do solo para o tratamento sem plantas, sendo o valor médio encontrado de 210,22 mg dm<sup>-3</sup> (Tabela 4.8 e Figura 4.6). Já em relação ao tempo de inundação verificou-se que não houve diferenças significativas entre os primeiros sete dias de inundação, sendo que aos 14 dias esses teores sofreram um decréscimo significativo. Após os 28 dias de inundação os teores

reduziram (Figura 4.6). A dose mais elevada de nitrogênio promoveu concentração de K em solução superior em relação ao tratamento sem N (Tabela 4.8).



**Figura 4.6.** Concentração de potássio (K) na solução do solo em dois genótipos e uma testemunha, sob diferentes doses de nitrogênio: 0 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo, 150 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo e 300 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo.

Silva et al. (2003) observaram variações nos teores de K com a presença de plantas de arroz, sendo que esses tiveram suas concentrações reduzidas na presença das mesmas. Os autores avaliaram duas profundidades de coleta, de 0-10 cm e de 31 cm, sendo que nessa última foi obtido maiores concentrações de K na solução do solo.

### **Fósforo**

Os teores médios de P na solução do solo tiveram aumento significativo durante o período estudado, sendo o valor máximo médio encontrado aos 102 dias de inundação (Figura 4.7). O aumento da concentração de P em solução se deve à liberação do P nas posições de troca das argilas e óxidos hidratados de Fe e Al e também à redução do  $\text{Fe}^{3+}$  para o  $\text{Fe}^{2+}$ , com conseqüente liberação do P ligado quimicamente a esse óxido ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) (Fageria, 1984).

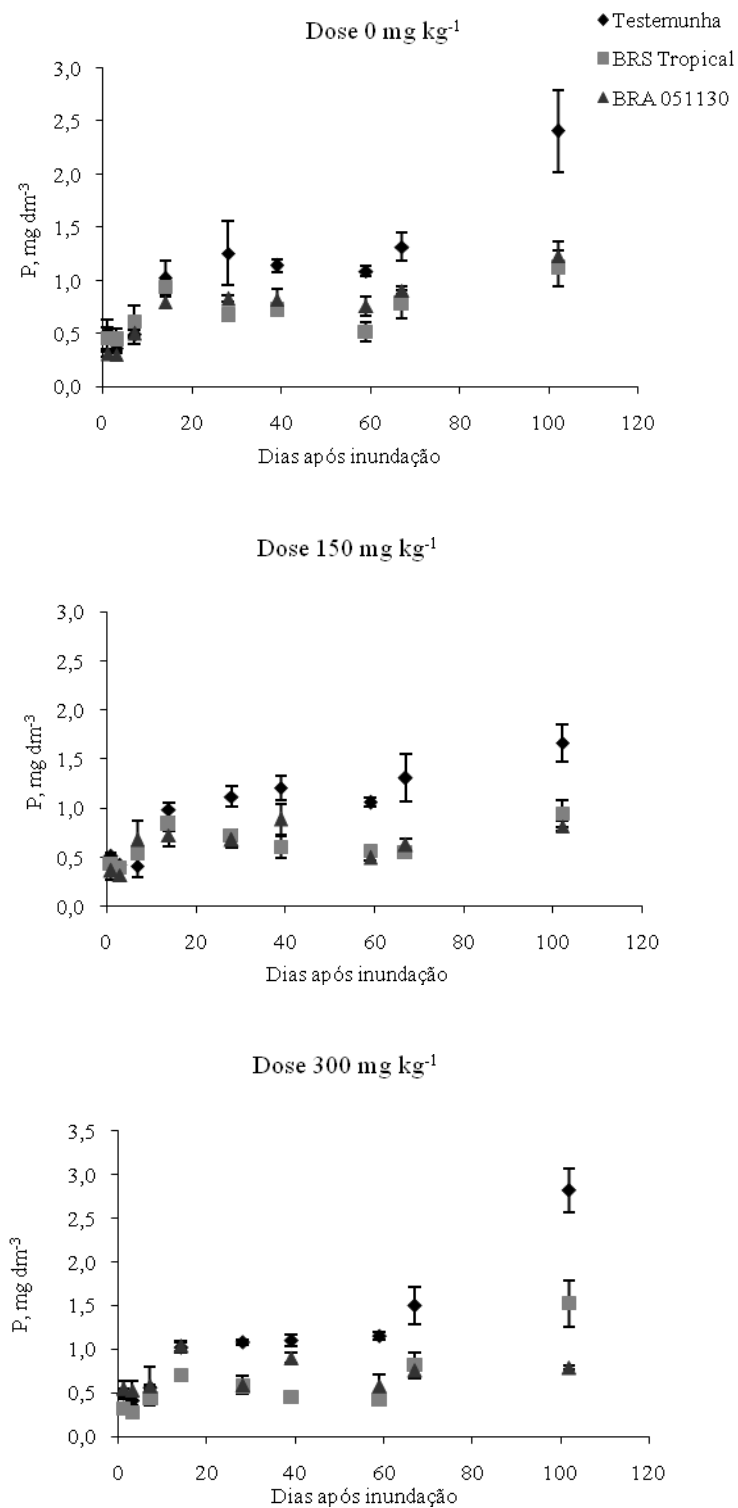
A concentração de P aumentou ao longo do período estudado, sendo mais expressivo após os 14 dias de inundação (Figura 4.7). Houve diferenças significativas para tempo de inundação e entre presença e ausência de plantas de arroz (Tabela 4.6). Os maiores teores foram encontrados nos tratamentos sem a presença de plantas, tendo obtido valor médio de  $1,05 \text{ mg dm}^{-3}$  de P (Tabela 4.8 e Figura 4.7).

Entre os sete primeiros dias após o inundação não foram encontradas diferenças significativas em relação aos teores de P na solução do solo, sendo observados valores na faixa de  $0,38$  a  $0,68 \text{ mg dm}^{-3}$ . Foi verificado aos 102 dias de inundação o maior valor de P, sendo este significativamente maior que os demais, tendo um valor médio de  $1,48 \text{ mg dm}^{-3}$  (Figura 4.7). De-Campos (2006), estudando solos de algumas regiões dos Estados Unidos observou aumento na concentração de P na solução do solo durante o período de inundação. Para os solos não cultivados encontrou-se valores médios em torno de  $0,05 \text{ mmol L}^{-1}$  de P na solução do solo, já os solos cultivados apresentaram ao final do período de inundação valores menores, cerca de  $0,025 \text{ mmol L}^{-1}$ .

### **Ferro e Manganês**

Observam-se na Figura 4.8 que os teores de Fe atingiram um pico aos 59 dias no tratamento sem N, já nos tratamentos sob adubação nitrogenada os maiores teores foram observados entre 28 e 39 dias de inundação. Os teores de Mn (Figura 4.9) aumentaram até atingir valores máximos médios aos 14 dias de inundação, alcançando um valor médio de

4,91 mg dm<sup>-3</sup>. Após, esse período houve um decréscimo da concentração desses nutrientes na solução do solo.



**Figura 4.7.** Concentração de fósforo (P) na solução do solo em dois genótipos e uma testemunha, sob diferentes doses de nitrogênio: 0 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo mg de N kg<sup>-1</sup> de solo, 150 e 300 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo.

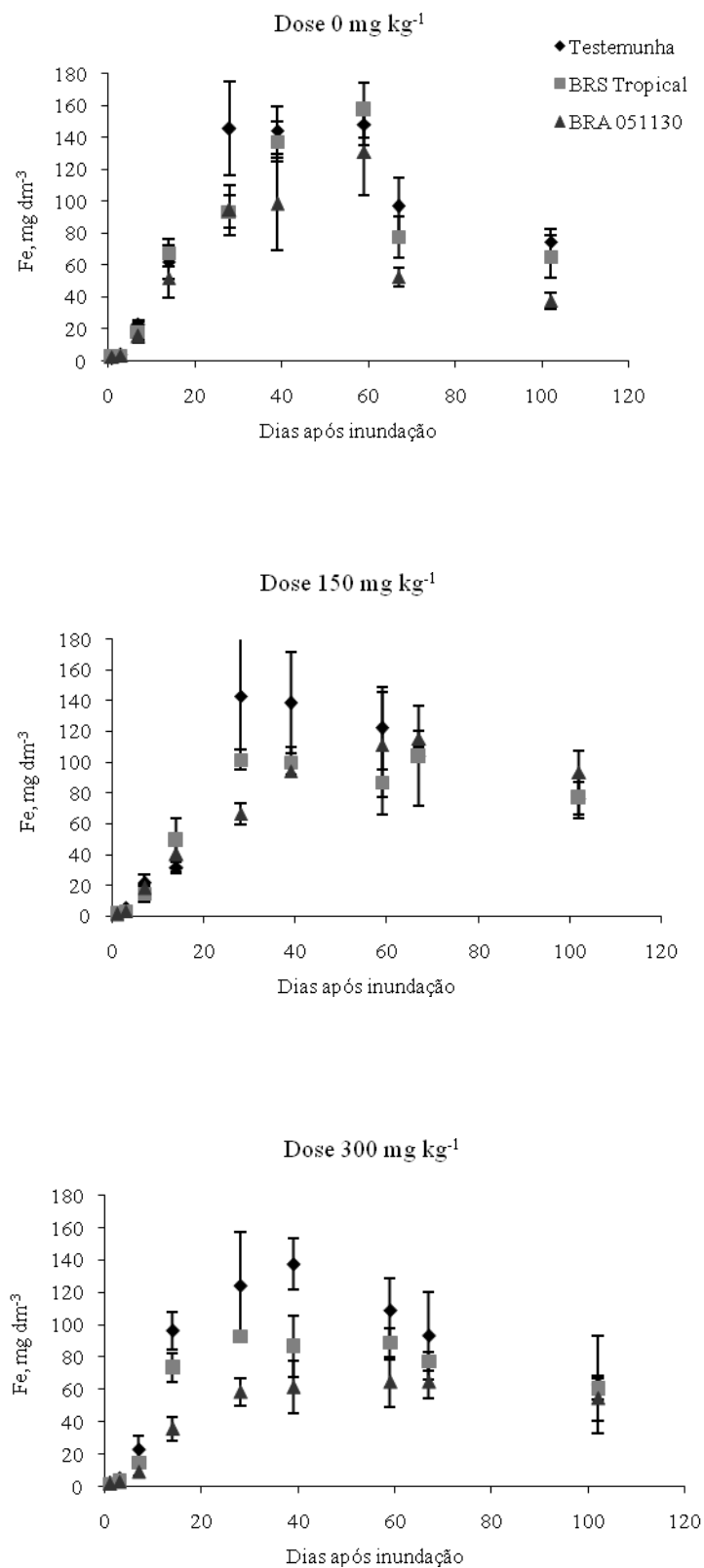
No trabalho de Silva & Ranno (2005) também foi observado aumento nos teores de Fe durante a inundação, em Planossolo e em Gleissolo, na ausência de planta, até atingir um pico aos 22 dias de inundação. Sousa et al. (2002) observaram aumento nas concentrações de Mn e Fe na solução do solo durante o inundação até atingirem um pico aos 35 dias, diminuindo gradativamente para valores que se mantiveram estáveis. De acordo com Ponnampertuma (1972) esse aumento é explicado pela redução dos óxidos mangânicos e férricos e à posterior redução é decorrente do aumento do pH que diminui a solubilidade desses minerais.

Foram observadas diferenças significativas ao longo do período de inundação e quanto a ausência ou presença de plantas de arroz (Tabela 4.6). Nos primeiros 7 dias de inundação não houve diferenças quanto a concentração desse nutriente na solução do solo (Figura 4.8). Os solos com a presença de plantas possuem um comportamento diferenciado, sendo que na presente pesquisa os teores de Fe e Mn na solução do solo foram maiores nos tratamentos sem plantas. Com a presença de plantas de arroz tem-se a formação de uma região diferenciada no solo conhecida por rizosfera, onde várias mudanças químicas ocorrem em virtude da interação das raízes das plantas e o solo. Essas alterações influenciam significativamente a solubilidade dos nutrientes e sua absorção pelas plantas (Fageria et al., 2009).

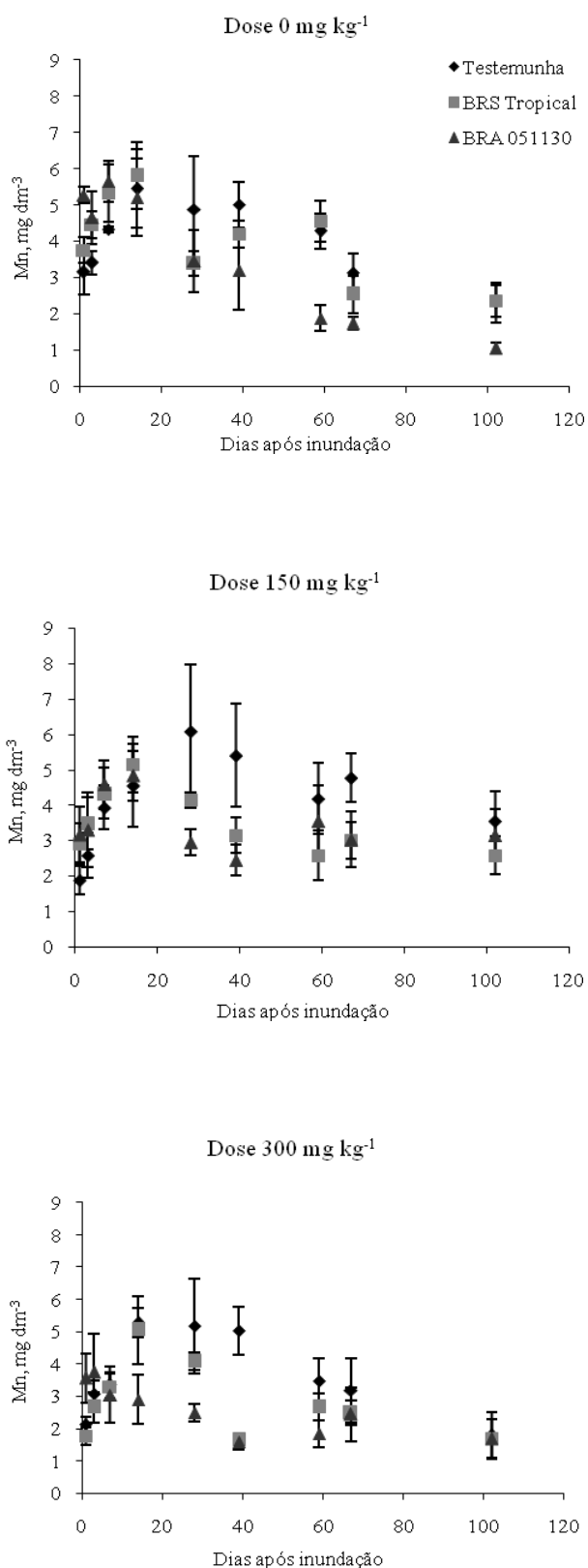
As reações de Fe e Mn nos processos de redução são consideradas as mais importantes, devido a maior concentração desses nos solos inundados (Fageria et al., 2002). Dessa forma, provavelmente esses elementos foram absorvidos pelas plantas. Na figura 4.16 observa-se que na dose de 300 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo e os tratamentos com plantas mostraram-se diferenças quanto a concentração de Fe na solução do solo (Tabela 4.8). Para essa dose de nitrogênio o tratamento com o genótipo BRS Tropical apresentou teor médio de Fe em solução do solo superior ao BRA 051130, sendo esse de 55,30 mg dm<sup>-3</sup>.

Em relação ao Mn, foi observado aumento significativo dos teores na solução do solo com o tempo de inundação (Tabela 4.6 e Figura 4.9). Observa-se diferença nos teores de Mn na ausência de plantas de arroz e na presença do genótipo BRA 051130, apresentando uma diferença média significativa de 0,66 mg dm<sup>-3</sup> (Tabela 4.8 e Figura 4.9). A dose de N também apresentou diferenças, sendo que a dose de 300 mg dm<sup>-3</sup> mostrou-se significativamente menor comparada aos demais tratamentos com N (Tabela 4.7 e Figura 4.9).





**Figura 4.8.** Concentração de ferro (Fe) na solução do solo em dois genótipos e uma testemunha, sob diferentes doses de nitrogênio: 0 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo, 150 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo e 300 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo.



**Figura 4.9.** Concentração de manganês (Mn) na solução do solo em dois genótipos e uma testemunha, sob diferentes doses de nitrogênio: 0 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo, 150 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo e 300 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo.

Quanto ao tempo de inundação os maiores valores foram observados entre os 7 e os 28 dias de inundação, atingindo teores médios na faixa de  $4,07 \text{ mg dm}^{-3}$  a  $4,91 \text{ mg dm}^{-3}$ . Dessa forma, percebe-se que houve um acréscimo da concentração de Mn na solução do solo até os 28 dias, decrescendo após 59 dias de inundação até o final do período de observação, tendo obtido teores de  $3,22 \text{ mg dm}^{-3}$  a  $2,24 \text{ mg dm}^{-3}$  (Figura 4.9).

De-Campos (2006) observou aumento na concentração de Fe e Mn na solução do solo com o tempo de incubação, sendo as maiores mudanças verificadas nos solos não cultivados após três dias de saturação.

### **Nitrato e Amônio**

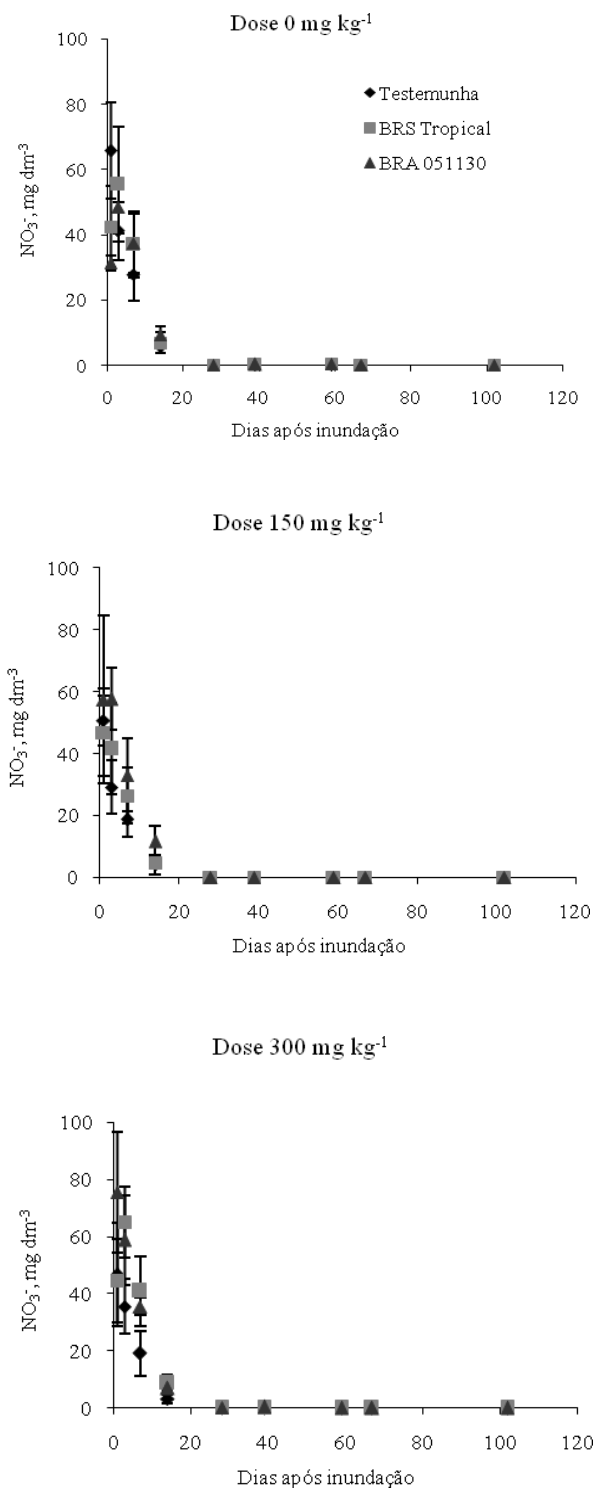
A concentração de  $\text{NO}_3^-$  na solução do solo abaixou com o tempo de inundação, sendo esse abaixamento significativo a partir dos sete dias de inundação (Figura 4.10). Além da absorção pelas plantas de arroz, o nitrogênio é removido de um solo inundado por desnitrificação, lixiviação de nitrato e amônia, volatilização de amônia (Patrick & Mahapatra, 1968).

A concentração de nitrato e sua mobilidade no perfil do solo são altamente dependentes do tempo de saturação, da umidade do solo, e do estado redox do solo. Os resultados encontrados na presente pesquisa corroboram como verificados em De-Campos (2006) que encontrou uma diminuição na concentração de nitrato na solução do solo após sete dias de saturação. Sendo que o autor atribuiu que essa redução provavelmente foi causada pelas condições mais redutoras. Yu et al. (2007) estudando processos biogeoquímicos em solos da China observaram o esgotamento de  $\text{NO}_3^-$  em solução quando o solo atingiu condições fortemente redutoras.

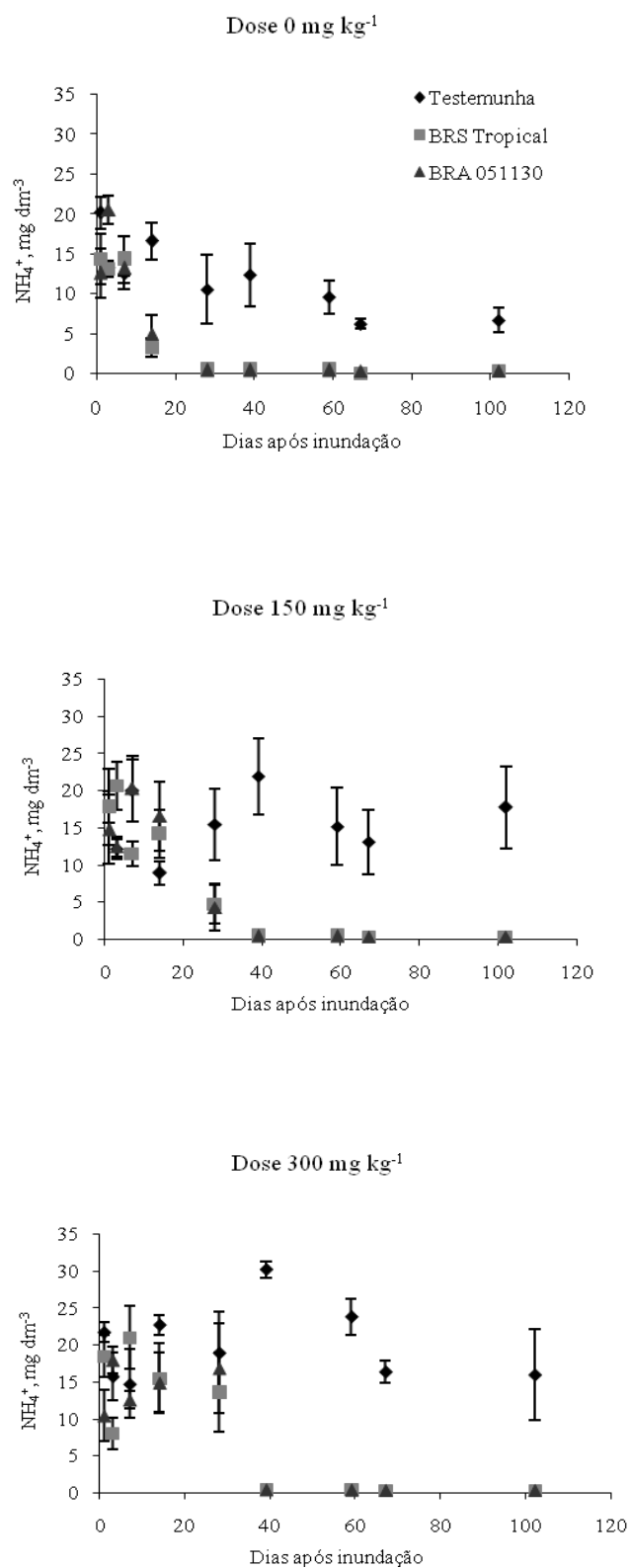
A adubação de cobertura com nitrogênio não apresentou efeito na concentração de nitrato na solução do solo (Figura 4.10). Isso ocorreu provavelmente por causa da condição de anaerobiose bem estabelecida no período, aos 28 dias após o inundação, que de acordo com Silva et al. (2008) o nitrato pode ser um dos compostos inorgânicos utilizados como receptores de elétrons durante a respiração anaeróbica em solos inundados.

Os teores de  $\text{NH}_4^+$  apresentaram variação significativa com as doses de N, com a presença e ausência de planta de arroz e com o tempo de inundação (Tabela 4.6). Em relação a dose de N, os maiores valores foram encontrados na dose mais alta ( $300 \text{ mg de N kg}^{-1}$  de solo), apresentando teor médio de  $12,31 \text{ mg dm}^{-3}$ . Sendo seguido pela dose de  $150$

mg de N kg<sup>-1</sup> de solo com 10,42 mg dm<sup>-3</sup> e depois os tratamentos sem N que apresentaram as menores concentrações de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (7,65 mg dm<sup>-3</sup>) (Tabela 4.8 e Figura 4.11).



**Figura 4.10.** Concentração de nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) na solução do solo em dois genótipos e uma testemunha, sob diferentes doses de nitrogênio: 0 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo, 150 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo e 300 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo.



**Figura 4.11.** Concentração de amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) na solução do solo em dois genótipos e uma testemunha, sob diferentes doses de nitrogênio: 0 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo, 150 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo e 300 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo.

Os tratamentos sem planta apresentaram maiores teores de  $\text{NH}_4^+$  na solução do solo quando comparados aos com planta (Tabela 4.8 e Figura 4.11).

Observa-se na Figura 4.11 que nos tratamentos com aplicação de N obtiveram um pico aos 14-28 dias após a inundação, sendo esse relacionado a realização da adubação nitrogenada de cobertura.

#### 4.4 CONCLUSÕES

A condição de anaerobiose do estudo promoveu mudanças químicas no solo e na solução do solo, sendo que as transformações mais pronunciadas ocorreram em condições redutoras. Os efeitos das condições de oxirredução promoveram alterações na interface solo-solução do solo. De forma geral, tanto as doses de nitrogênio quanto a presença ou ausência de plantas afetaram direta ou indiretamente a dinâmica das propriedades químicas do solo sob inundação.

O pH e os teores de Ca, Mg e P no solo aumentaram após a implantação dos tratamentos, sendo que também foi observado aumento na concentração de K nos tratamentos sem plantas quando comparados com os demais. Os teores de P diminuíram com o aumento das doses de nitrogênio.

As principais transformações que ocorreram na solução do solo foram a redução do potencial de oxirredução e, conseqüente aumento do pH. Alguns nutrientes, como cálcio e magnésio aumentaram a concentração em solução com o tempo de inundação até atingirem um pico e posteriormente diminuíram suas concentrações. O aumento inicial na concentração desses nutrientes está relacionado provavelmente com a concorrência dos sítios de troca no solo por elementos sensíveis a redução. Já o potássio, manganês, nitrato e amônio tiveram um comportamento diferente, seus teores na solução do solo reduziram ao longo do período de inundação. As concentrações de ferro tiveram um aumento durante o período estudado, sendo observado um valor máximo aos 59 dias após a inundação.

#### 4.5 REFERÊNCIAS

CAMARGO, F. A. O. **Caracterização da ação fitotóxica de ácidos orgânicos voláteis sobre a cultura do arroz**. 1992. 126 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Curso de

Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1992.

CAMARGO, F. A. de O.; SANTOS, G. de A.; ZONTA, E. Alterações eletroquímicas em solos inundados. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 171-180. 1999.

CHENG, W.; YAGI, K.; SAKAI, H.; KOBAYASHI, K. Effects of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations on CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emission from rice soil: an experiment in controlled-environment chambers. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 77, p. 351-373. 2006.

DE-CAMPOS, A.B. 2006. **Effects of redox on the solution chemistry and aggregate stability of Midwest upland soils**. 2006. 249 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Purdue University, USA, 2006.

DE-CAMPOS, A.B.; MAMEDOV, A. I.; HUANG, C. Short-term reducing conditions decrease soil aggregation. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 73, n. 2, p. 550-559. 2009.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212 p.

FAGERIA, N. K. **Adubação e nutrição mineral da cultura de arroz**. Goiânia: Embrapa-CNPAF; Rio de Janeiro: Campus, 1984. 341 p.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; CLARK, R. B. Micronutrients in crop production. **Advances in Agronomy**, New York, v. 77, p. 185-268. 2002.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B. dos & STONE, L. F. **Manejo da fertilidade do solo para o arroz irrigado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 250 p.

FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P.; MOREIRA, A.; GUIMARÃES, C. M. Foliar fertilization of crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 32, p. 1044-1064, 2009.

KIRK, G. **The biogeochemistry of submerged soils**. Chichester: Wiley, 2004. 304 p.

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

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

PATRICK, W. H.; JUGGSUJINDA, A. Sequential reduction and oxidation of inorganic nitrogen, manganese, and iron in flooded soil. **Soil Science in Soil of America Journal**, Madison, v. 56, p. 1071-1073. 1992.

PATRICK, W. H.; GRAMBELL, R. P.; FAULKNER, S. P. Redox measurements of soils. In SPARKS, D. L. (Ed.) **Methods of soil analysis**. Part 3. Chemical methods. SSSA Book Se. 5. SSSA, Madison, WI. p. 1255-1274. 1996

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

PONNANPERUMA, F. N. **Screening rice for tolerance to mineral stress**. Los Baños: IRRI, 1977. 21p.

SILVA, L. S.; SOUSA, R. O.; POCOJESKI, E. Dinâmica da matéria orgânica em ambientes inundados. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. Cap. 27, p. 525-544.

SILVA, L. S. da; SOUZA, R. O. de; BOHNEN, H. Alterações no teores de nutrientes em dois solos inundados, com e sem plantas de arroz. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 3, p. 487-490. 2003.

SILVA, L. S.; RANNO, S. K. Calagem em solos de várzea e a disponibilidade de nutrientes na solução do solo após o alagamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 5, p. 1054-1061. 2005.

SOUSA, R. O.; BOHNEN, H.; MEURER, E. J. Composição da solução de um solo inundado conforme a profundidade e o tempo de inundação, utilizando novo método de coleta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 343-348. 2002.

SOUSA, R. O.; VALH, L.C. & OTERO, X. L. Química de solos inundados. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Ed.). **Química e mineralogia do solo- Parte II Aplicações**. Viçosa: SBCS, 2009. Cap. 20, p. 485-528.

TIAN-YEN, Y. Soil and plants. In: TIAN-YEN, Y.(ed), **Physical chemistry of paddy soils**. Berlin: Spriger-Verlag, 1985. p. 197-214.

VAHL, L. C. **Toxidez de ferro em genótipos de arroz irrigado por inundação**. 1991. 173 f. Tese (Doutorado em Agronomia)- Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.

YU, K.; BÖHME, F.; RINKLEBE, J.; NEUE, H. U.; DELAUNE, R. D. Major biogeochemical process in soils-a microcosm incubation from reducing to oxidizing conditions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 71, n.4, p.1406-1417. 2007.



## **5 COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE DOIS GENÓTIPOS DE ARROZ IRRIGADO EM SOLO DE VÁRZEA INUNDADO SOB ADUBAÇÃO NITROGENADA**

### **RESUMO**

A cultura do arroz está presente principalmente nos países em desenvolvimento, além de ser um alimento básico para mais de 50% da população do mundo. O rendimento de grãos das culturas é função do potencial genético do cultivar utilizado e das condições ambientais durante o cultivo, onde se inclui suprimento de nutrientes pelo solo. O trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o efeito de três doses de nitrogênio em dois genótipos de arroz irrigado, em solo de várzea. Os componentes de produção estudados foram: altura de plantas, número de perfilhos, número de panículas por planta, comprimento de panículas, número de espiguetas cheias, número de espiguetas vazias, esterilidade de espiguetas, massa seca de 1000 grãos, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz, comprimento de raiz, comprimento específico de raiz, produtividade de grãos, índice de colheita, contribuição da parte aérea na massa seca total, contribuição da raiz na massa seca total. Para a altura de plantas foram feitas observações em cada estágio fenológico onde se media a altura do solo até a folha bandeira. Já para número de perfilhos, trabalhou-se com a contagem destes no estágio de maturação fisiológica. A contagem do número de panículas se deu no estágio de maturação fisiológica e consistiu na contagem de todas as panículas por vaso, após mediu-se o comprimento das panículas e posteriormente procedeu-se a contagem do número de espiguetas cheias e vazias de cada tratamento. Os grãos foram destacados das panículas e pesados para a determinação da produção de grãos. Separou-se também 1000 grãos de cada parcela para determinar a massa de 1000 grãos. As plantas foram coletadas ao atingirem o estágio de maturação fisiológica. Foi determinado o comprimento das raízes. As raízes e a parte aérea foram levadas à estufa a 70 °C por 24 horas para determinação da massa seca. Foram calculados a esterilidade de espiguetas, o índice de colheita de grãos, o comprimento específico da raiz e a eficiência agronômica. Os genótipos de arroz irrigado não apresentaram diferenças significativas na produtividade de grãos. Foram observadas diferenças apenas em alguns componentes de produção, como na massa de 1000 grãos que diferiu entre os genótipos. A massa seca da parte aérea mostrou diferenças entre as doses de N. Quanto à altura de plantas, verificou-se resposta à aplicação de N e também diferenças entre genótipos.

*Palavras-chave:* produção de grãos, massa seca, eficiência agronômica.

### **ABSTRACT**

## **YIELD COMPONENTS OF TWO RICE GENOTYPES IN FLOODED LOWLAND SOIL UNDER NITROGEN**

Rice cultivation is found mainly in developing countries, besides being a staple food for more than 50% of the population of the world grain yield of crops is a function of the genetic potential of cultivar and environmental conditions during cultivation, where This includes supply of nutrients by soil. The work was to evaluate the effect of three doses of nitrogen in two rice genotypes in flooded soil. The yield components studied were: plant height, tiller number, panicle number per plant, panicle length, filled grains, grain number empty, spikelet sterility, dry weight of 1000 grains, dry shoot mass, root dry weight, root length, specific root length, grain yield, harvest index, contribution of the shoot dry weight total dry matter, root of the contribution of total dry matter. For plant height observations were made at each developmental stage where they measured the height from the ground up to flag leaf. As for Tiller, he worked with the counting of the stage of maturation. Counting the number of panicles occurred at the stage of physiological maturity and was to count all the panicles per pot, after he measured the length of panicles and then proceed to count full and empty grains for each treatment. The grains of the panicles were detached and weighed to determine the yield. Also broke up in 1000 grains of each plot to determine the mass of 1000 grains. The plants were harvested when they reach physiological maturity stage. It made the reading of the length of roots and both roots and shoots were dried at 70 C for 24 hours for determination of their dry weight. With these data were calculated spikelet sterility, harvest index of grain, specific root length and agronomic efficiency. The rice genotypes under study showed no significant differences in grain yield. Differences were observed only in some components of production as on the 1000 grains, in which differences were found between genotypes, the dry mass of shoots showed differences between N rates and how to plant height, there was response to N application and also differences between genotypes.

*Keywords:* grain yield, dry weight, agronomic efficiency

### 5.1 INTRODUÇÃO

A cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) está presente principalmente nos países em desenvolvimento, além de ser um alimento básico para mais de 50% da população do mundo (Fageria et al., 2003a). Segundo estimativas, até 2050, a produção mundial deverá ser dobrada para atender a demanda da população (Guimarães et al., 2006). O Brasil é o nono produtor mundial, sendo sua produção realizada de duas maneiras, cultivo em várzea (irrigado por inundação) e em terras altas (sequeiro). A produção média do Brasil estimada para a safra de 2009/2010 foi em torno de 11, 5 milhões de toneladas (Anuário Brasileiro do Arroz, 2010).

No cultivo de arroz irrigado, as condições ambientais são mais favoráveis para o crescimento da planta e a aplicação de fertilizantes pode garantir alta produtividade

(Fageria et al., 1997). Entretanto, a ocorrência de alguns fatores, como clima desfavorável, manejo inadequado da fertilidade e da irrigação, deficiências no controle de pragas e doenças, pode ser limitante para obtenção de uma maior produtividade da cultura. Entre estes, a fertilidade de solo se destaca como determinante da produção.

Observa-se que o rendimento de grãos das culturas é função do potencial genético da cultivar utilizada e das condições ambientais durante o cultivo, onde se inclui suprimento de nutrientes pelo solo (Fageria & Stone, 2004). Logo, a produtividade de grãos é característica controlada por um grande número de genes, sendo, portanto herança quantitativa. Isto ocorre porque a produtividade de grãos depende da interação de vários componentes de rendimento, os quais são controlados por fatores genéticos da planta e pelo ambiente (Yoshida, 1981).

Quanto à fertilidade, o nitrogênio é o nutriente que se destaca para a cultura do arroz irrigado, sendo requerido em grande quantidade para uma boa produção (Fageria et al., 2009). O arroz aumenta significativamente a produção com o uso eficiente do nitrogênio. O desenvolvimento dos componentes do rendimento de grãos pode ser afetado pela nutrição, entre outros fatores. É influenciado pelo nitrogênio, devido às múltiplas funções desse nutriente na planta (Fageria & Barbosa Filho, 1982), já que é um elemento constituinte de vários compostos orgânicos, como proteínas e ácidos nucleicos. É um nutriente responsável pelo aumento do número de panículas, o número e a massa de grãos (Fageria et al., 1997).

Os fertilizantes nitrogenados podem poluir o meio ambiente, se não forem utilizados na dose adequada e aplicados de modo correto. Uma das preocupações é a possibilidade de lixiviação de nitrato nos solos de várzea, podendo causar poluição na água subterrânea, devido a alta mobilidade do composto no solo. Por isso, o N tem sido estudado intensamente com o propósito de maximizar a eficiência de seu uso. Para tanto, tem-se buscado reduzir sua perda no solo e melhorar sua absorção pelas plantas (Bredemeier & Mundstock, 2000).

A eficiência de recuperação do N pela cultura do arroz irrigado situa-se entre 32 e 49% nos solos de várzea do Brasil Central, dependendo da dose de aplicação (Fageria et al., 2003b). Porém, a utilização de doses, época de aplicação e parcelamento, de acordo com a necessidade da planta de arroz, pode aumentar significativamente a eficiência do uso dos fertilizantes nitrogenados. Pois, quando se aplica toda a dose no plantio do arroz

irrigado, o N pode ser parcialmente perdido por lixiviação, devido à inundação (Fageria et al., 2003b).

No arroz irrigado, a resposta à adubação nitrogenada é influenciada pelas variações na temperatura e na radiação solar incidentes durante as fases vegetativa e reprodutiva da cultura. Assim, em anos com maiores temperaturas e radiação solar, ou seja, com mais energia fotossintética, as respostas do rendimento de grãos à adubação nitrogenada são maiores (Barbosa Filho, 1987). Genótipos de uma mesma espécie podem ter comportamentos distintos para várias características, como no caso de exigências nutricionais e tolerâncias a estresses (Fageria & Barbosa Filho, 1982). Dessa forma, a seleção de genótipos com maior eficiência na utilização de nitrogênio é considerada, atualmente, uma das maneiras mais adequadas para diminuir o custo de produção da cultura do arroz, aumentar a produtividade da cultura e reduzir possíveis impactos ambientais (Fageria & Barbosa Filho, 1982).

Essa pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de avaliar o efeito de três doses de nitrogênio em dois genótipos de arroz irrigado, em solo de várzea.

## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os componentes de produção estudados foram: altura de plantas, número de perfilhos, número de panículas por planta, comprimento de panículas, número de espiguetas cheias e vazias, esterilidade de espiguetas, massa de 1000 grãos, massa seca parte aérea, massa seca raiz, comprimento de raiz, produtividade de grãos, índice de colheita, contribuição da parte aérea e das raízes na massa seca total.

Ao longo de todo o ciclo do arroz foram feitas várias leituras de componentes de produção, sendo considerados os diferentes estádios da planta: germinação, início do perfilhamento, perfilhamento ativo, diferenciação de primórdio floral, emborrachamento, floração e maturação fisiológica.

A altura de plantas foi um dos componentes estudados, sendo feitas observações em cada estágio fenológico: desde o início do perfilhamento até a maturação fisiológica. Consistiu em medir a altura do solo até a folha bandeira, em três repetições por vaso e posteriormente trabalhava-se com as médias. Já para número de perfilhos, trabalhou-se com a contagem desses no estágio de maturação fisiológica.

A contagem do número de panículas se deu no estágio de maturação fisiológica e consistiu na contagem de todas as panículas por vaso, posteriormente divididas pelo número de plantas por vaso. Após foi determinado o comprimento das panículas e posteriormente, procedeu-se a contagem de espiguetas cheias e vazias, em cada tratamento, os grãos foram destacados das panículas e pesados para a determinação da produção de grãos. Separou-se também 1000 grãos de cada parcela para determinar a massa de 1000 grãos.

As plantas foram coletadas ao atingirem o estágio de maturação fisiológica. As raízes foram retiradas dos vasos e lavadas e, só então, foi feita a leitura do comprimento das raízes. Sendo que tanto a parte aérea quanto as raízes foram levadas à estufa a 70 °C por 24 horas. Sendo pesadas posteriormente para determinar a massa seca.

A esterilidade das espiguetas foi determinada pela seguinte fórmula (Fageria, 2007):

$$ES(\%) = \frac{n^{\circ}EV}{TE} * 100$$

em que,

ES: Esterilidade de espiguetas

EV: espiguetas vazias

TE: total de espiguetas

O Índice de Colheita de Grãos consiste na relação da produtividade de grãos com a produtividade total de massa seca da parte aérea (Fageria, 2007):

$$ICG = \frac{PG}{PTMSPA}$$

em que,

ICG: Índice de colheita de grãos

PG: Produtividade de grãos

PTMSPA: Produtividade total de massa seca da parte aérea

A eficiência de utilização de nitrogênio foi calculada de acordo com Fageria & Barbosa Filho (1982). Segundo Fageria (1998) a eficiência agrônômica é uma forma de avaliar o uso do nitrogênio, sendo considerada a produção econômica (grãos, no caso do arroz) por unidade de nutriente aplicado.

$$EA(\text{mg} \cdot \text{mg}^{-1}) = \frac{PG_{cf} - PG_{sf}}{QN}$$

em que,

PG<sub>cf</sub>: produção de grãos com fertilizante

PG<sub>sf</sub>: produção de grãos sem fertilizante

QN: quantidade de nutriente aplicado

### 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verifica-se que os genótipos não apresentaram diferenças significativas na produtividade de grãos (Tabela 5.1). Fageria et al. (2009), trabalhando com cinco genótipos de arroz irrigado e com duas doses de N, observaram influencia significativa dos genótipos e das doses sobre a produtividade de grãos. Em trabalho de Fageria & Barbosa Filho (2001) observou-se que a massa seca da raiz, a produção de grãos, número de panículas, número de grãos por panícula, massa de 1000 grãos e a esterilidade de espiguetas foram afetadas significativamente pelos genótipos e também pelas doses de N.

A interação entre doses e genótipos foi significativa para a produtividade de grãos. Nota-se na Tabela 5.2 que o genótipo BRA 051130 obteve rendimento de grãos máximo com a dose 150 mg de N kg<sup>-1</sup> e depois diminui com o aumento da dosagem de N. O genótipo BRS Tropical apresentou diferença significativa para o rendimento de grãos, tendo resposta a aplicação da dose de 300 mg de N kg<sup>-1</sup> (Tabela 5.2). Fageria et al. (2007) observaram respostas significativas da produtividade de arroz à aplicação de N, em dois anos de experimento. O mesmo ocorreu no trabalho de Mariot et al. (2003), em que os autores verificaram um aumento no rendimento de grãos com o aumento do nível de N.

**Tabela 5.1.** Produtividade (g planta<sup>-1</sup>) de genótipos de arroz irrigado sob diferentes doses de nitrogênio<sup>(1)</sup>.

Genótipos	Doses de nitrogênio (mg kg <sup>-1</sup> )			EA (mg mg <sup>-1</sup> )
	0	150	300	
BRS Tropical	10,36 aB	11,51 aB	17,44 aA	15,59
BRA 051130	10,40 aA	13,05 aA	12,19 bA	11,79
Média	10,38	12,28	15,17	13,69

<sup>(1)</sup> Valores seguidos por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e seguidos por letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

Fageria & Baligar (2001) observaram aumento na produção de grãos com a adubação nitrogenada e encontraram diferenças significativas ( $P < 0,01$ ) quadráticas nos três anos de experimentação. A eficiência agrônômica (EA) encontrada no estudo situou-se abaixo de valores médios obtidos em outros trabalhos com genótipos de arroz irrigado, como no de Freitas et al. (2001), que encontraram um valor médio de  $25 \text{ mg mg}^{-1}$  (Tabela 5.2).

A massa de 1000 grãos foi influenciada somente pelos genótipos e variou de 22,44 a 25,33 g (Tabela 5.2). Essa tendência também foi observada em trabalho conduzido por Fageria et al. (2007). Os resultados obtidos corroboram com os de Freitas et al. (2001, 2007) e Andrade et al. (1992) que não observaram efeito de N sobre a massa de 1000 grãos. Observa-se na Tabela 5.2 que o índice de colheita de grãos médio encontrado foi de 0,34. Sendo que, segundo Fageria et al. (2006), este situa-se em torno de 0,3 em cultivares tradicionais e em torno de 0,5 em cultivares modernas. Fageria & Barbosa Filho (2001) observaram um valor variando de 0,33 a 0,43 para o índice de colheita de grãos entre os genótipos estudados.

**Tabela 5.2.** Massa de 1000 grãos (g) e índice de colheita de grãos (ICG) de genótipos de arroz irrigado, média de 3 doses de nitrogênio<sup>(1)</sup>.

Genótipo	Massa de 1000 grãos (g)	ICG
BRS Tropical	24,82 a	0,32 a
BRA 051130	23,03 b	0,35 a
Média	23,93	0,34

<sup>(1)</sup> Valores seguidos por letras iguais, na mesma coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

A distribuição dos fotoassimilados na raiz, parte aérea e grãos é determinada geneticamente, mas também pode variar com as condições ambientais (Fageria, 2009). A massa seca da parte aérea foi afetada tanto pelos genótipos quanto pela adubação nitrogenada, tendo em média um aumento de cerca de 40,8% com o uso de nitrogênio (Tabela 5.3). O genótipo BRS Tropical mostrou-se superior ao BRA 051130 em relação a massa seca da parte aérea (Tabela 5.3 e Figura 5.1).

Holzchuh et al. (2009) também observaram diferenças entre os genótipos quanto à produção de massa seca da parte aérea. Observou-se na Tabela 5.3 que a massa seca da raiz no tratamento sem N apresentou o valor médio de  $5,05 \text{ g planta}^{-1}$ , já no tratamento com maior dose de N ( $300 \text{ mg kg}^{-1}$ ) o valor médio foi de 4,06. Dessa forma, verifica-se no presente estudo uma tendência de redução da massa seca da raiz com o

aumento da dose de N, sendo que o contrário foi observado no trabalho de Fageria & Baligar (2001). Esses autores observaram um incremento de 125% na massa seca da raiz no tratamento com N ( $304 \text{ mg kg}^{-1}$ ) quando comparado ao tratamento controle.

**Tabela 5.3.** Massa seca da parte aérea ( $\text{g planta}^{-1}$ ) e massa seca da raiz ( $\text{g planta}^{-1}$ ) de genótipos de arroz irrigado sob diferentes doses de nitrogênio<sup>(1)</sup>.

Genótipo	MS Parte Aérea			MS Raiz		
	Doses de nitrogênio ( $\text{mg kg}^{-1}$ )			Doses de nitrogênio ( $\text{mg kg}^{-1}$ )		
	0	150	300	0	150	300
BRS Tropical	15,87 aB	25,53 aA	29,45 aA	5,79 aA	3,99 aA	4,14 aA
BRA 051130	13,25 bB	20,40 bA	22,90 bA	4,30 aA	4,63 aA	3,98 aA
Média	14,56	22,97	26,18	5,05	4,31	4,06

<sup>(1)</sup> Valores seguidos por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e seguidos por letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.



(A)

(B)

**Figura 5.1.** Genótipo BRS Tropical (A), genótipo BRA 051130 (B) com diferentes doses de N, sendo da esquerda para a direita: tratamento com  $0 \text{ mg de N kg}^{-1}$  de solo,  $150 \text{ mg de N kg}^{-1}$  de solo e  $300 \text{ mg de N kg}^{-1}$  de solo.

Observa-se na Tabela 5.4 que as doses de N influenciaram na contribuição da parte aérea na massa seca total, sendo que a dose de  $300 \text{ mg de N kg}^{-1}$  de solo mostrou-se significativamente maior em relação ao tratamento sem N. Normalmente em espécies anuais cerca de 10% a 20% da biomassa consiste em raiz (Zobel, 1986). Na presente pesquisa encontrou-se um valor médio de 23,12%, 15,91% e 13,77% da contribuição da raiz na massa seca total para os tratamentos sem N, com  $150 \text{ mg de N kg}^{-1}$  de solo e  $300 \text{ mg de N kg}^{-1}$  de solo, respectivamente (Tabela 5.4).



**Tabela 5.4.** Contribuição da parte aérea e da raiz na massa seca total (%) em arroz irrigado sob diferentes doses de N.

Doses de nitrogênio (mg kg <sup>-1</sup> )	Contribuição da parte aérea na MST*	Contribuição da raiz na MST*
0	75,63 b	23,12 a
150	84,09 ab	15,91 a
300	86,23 a	13,77 a
Média	81,98	17,60

<sup>(1)</sup> Valores seguidos por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey. \*MST: Massa seca total.

Os resultados da presente pesquisa corroboram com os resultados encontrados por Fageria & Baligar (2005) que observaram em média uma contribuição de 22% da raiz na massa seca total de grãos para o tratamento sem N e de 14% para o tratamento com dose de 300 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo. Essa redução na massa seca da raiz com adubação nitrogenada provavelmente está relacionada ao incremento de grãos e de massa seca da parte aérea (Fageria & Moreira, 2011).

Segundo Fageria & Baligar (1999), o número de panículas é o componente que mais contribui para a produtividade de grãos, sendo que no trabalho desses autores esse correspondeu a 87% da variação da produtividade. Observa-se na tabela 5.6 que o número de panículas por planta apresentou respostas a aplicação de N, sendo possível notar que a testemunha (sem N) mostrou valor inferior aos tratamentos com N. Freitas et al. (2001) encontraram respostas significativas ao N para essa característica. Já Freitas et al. (2007) não observaram respostas ao N, mas encontraram diferenças entre os genótipos estudados.

Os genótipos de arroz irrigado não apresentaram diferenças significativas para o comprimento de panículas e nem tiveram efeito da aplicação de N, sendo que a média encontrada foi de 21,50 cm (Tabela 5.5). O contrário foi observado por Fageria & Baligar (2001), pois os autores encontraram efeito significativo do nitrogênio para o comprimento de panículas e também para número de panículas e massa de 1000 grãos.

**Tabela 5.5.** Número de panículas por planta, comprimento de panícula e comprimento de raiz de arroz irrigado sob doses de N.

Doses de nitrogênio (mg kg <sup>-1</sup> )	Nº Panículas (por planta)	Comprimento de panícula (cm)	Comprimento de raiz (cm)
0	5,44 b	20,02 a	25,00 a
150	7,06 a	22,06 a	22,88 b
300	8,22 a	22,43 a	21,13 b
Média	6,91	21,50	23,00

<sup>(1)</sup> Valores seguidos por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

O crescimento da raiz é afetado pelo nível de nutriente presente no ambiente de crescimento (Fageria, 1984). Observa-se na Tabela 5.5 que o tratamento sem N apresentou maior comprimento relativo de raiz. Dogar (1976), citado por Fageria (1984), estudando o efeito de diferentes níveis de N no crescimento radicular encontraram que com o aumento da concentração de N na solução nutritiva diminuía o crescimento relativo do sistema radicular. O uso de fertilizantes nitrogenados pode aumentar o comprimento de raiz e da área específica da raiz e reduzir a massa seca da raiz (Costa et al., 2002).

Não foram observadas diferenças significativas entre as doses de N e nem quanto aos genótipos na esterilidade de espiguetas (Tabela 5.6), sendo o contrário observado por Freitas et al. (2001). Esses autores encontraram um valor superior de fertilidade já que o valor médio de esterilidade encontrado pelos mesmos foi de 16%, já no estudo em questão a média foi de 25,8%. Fageria & Baligar (2001) encontraram efeito do N sobre a esterilidade de espiguetas, sendo que essa diminuiu com a aplicação de nitrogênio.

Houve diferenças significativas do número de perfilhos em relação a dose de N, sendo observado na Tabela 5.7 que a dose de 300 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo possibilitou um maior número de perfilhos comparados as demais. Os resultados obtidos corroboram com os de Fageria & Baligar (2001) que observaram resposta do perfilhamento à aplicação de N tendo um aumento significativo no número de perfilhos.

**Tabela 5.6.** Espiguetas cheias e vazias por planta, esterilidade de espiguetas de arroz irrigado sob doses de N.

Doses de nitrogênio (mg kg <sup>-1</sup> )	Espiguetas Cheias (por planta)	Espiguetas Vazias (por planta)	Esterilidade (%)
0	425,54 b	124,97 a	36,61 a
150	511,44 ab	130,31 a	19,45 a
300	639,38 a	145,56 a	21,34 a

<sup>(1)</sup> Valores seguidos por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

**Tabela 5.7.** Número de perfilhos por planta de genótipos de arroz irrigado sob doses de N na fase de maturação fisiológica.

Genótipo	Doses de nitrogênio (mg kg <sup>-1</sup> )		
	0	150	300
BRS Tropical	25,00 aC	31,75 aB	37,25 aA
BRA 051130	21,00 aC	30,50 aB	35,00 aA
Média	23,00	31,13	36,13

<sup>(1)</sup> Valores seguidos por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e por letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si a 1% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

Observa-se na Tabela 5.8 que houve respostas à aplicação de N sobre a altura de plantas, sendo que a dose 300 mostrou-se superior, porém não diferiu significativamente da dose 150 mg kg<sup>-1</sup>. O genótipo BRS Tropical apresentou maior altura de plantas quando comparado com o genótipo BRA 051130 (Tabela 5.8 e Figura 5.2). Freitas et al. (2007) trabalharam com aplicação de N em genótipos de arroz irrigado e não encontraram respostas à aplicação de N na característica de altura de plantas, mas quanto aos genótipos estes mostraram variabilidade para tal característica.

**Tabela 5.8.** Altura de plantas (cm) de genótipos de arroz irrigado sob doses de N na fase de maturação fisiológica.

Genótipo	Doses de nitrogênio (mg kg <sup>-1</sup> )		
	0	150	300
BRS Tropical	94,87 aB	98,63 aAB	100,75 aA
BRA 051130	87,13 bB	90,13 bAB	89,50 bA
Média	91,00	94,38	95,13

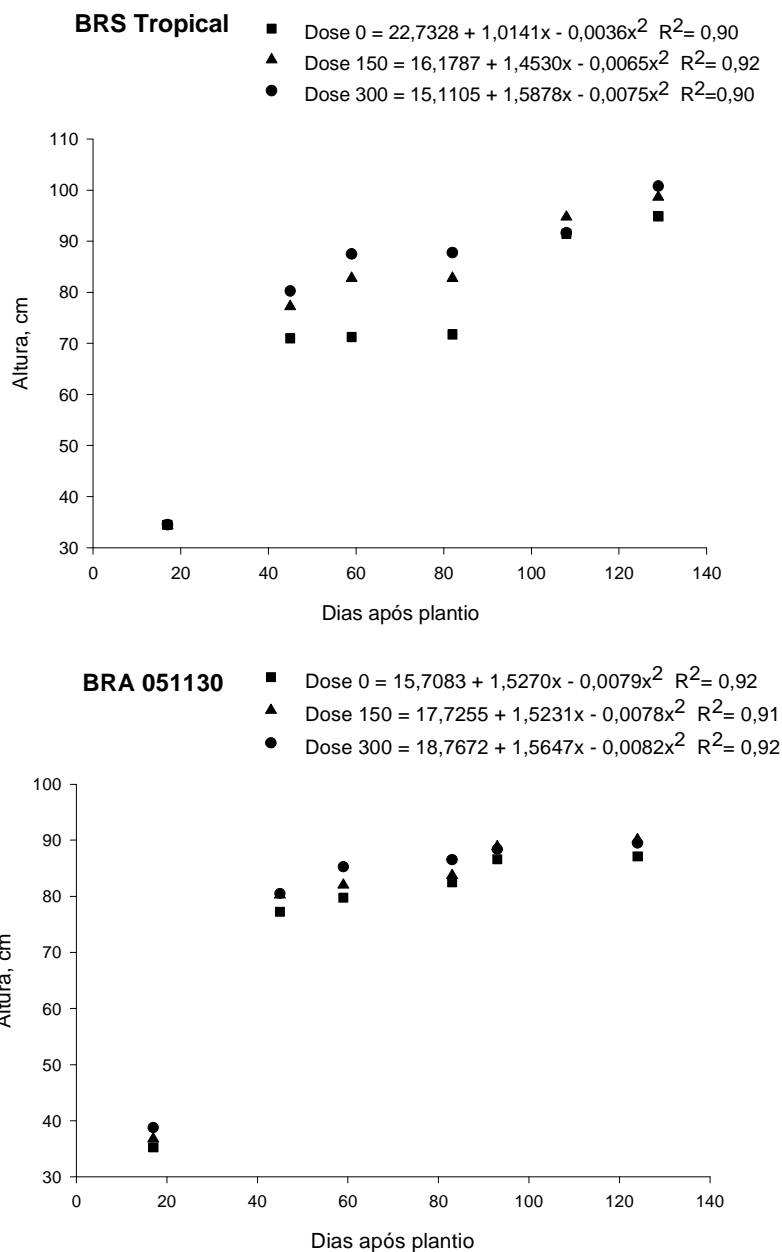
<sup>(1)</sup> Valores seguidos por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e por letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

Os coeficientes de correlação entre produtividades de grãos e os componentes de produção estudados encontram-se na Tabela 5.9, nota-se que foram poucas correlações significativas, sendo que na dose de 150 mg kg<sup>-1</sup> nenhuma foi constatada. Para a dose de 300 mg kg<sup>-1</sup> observou-se que a massa de 1000 grãos, número de espiguetas cheias e vazias, altura de plantas e o índice de colheita de grãos se correlacionaram positivamente com a produtividade de grãos.

**Tabela 5.9.** Coeficientes de correlação entre a produtividade de grãos de arroz irrigado e os componentes de produção em diferentes doses de N<sup>(1)</sup>.

Componentes de produção	0 mg kg <sup>-1</sup>	150 mg kg <sup>-1</sup>	300 mg kg <sup>-1</sup>
Massa de 1000 grãos	0,20 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>	0,80*
Nº de espiguetas cheias	-0,31 <sup>ns</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>	0,73*
Nº de espiguetas vazias	0,77*	0,29 <sup>ns</sup>	0,89*
Nº panículas por planta	0,31 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>
Comprimento de panícula	0,22 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>
Comprimento de raiz	-0,11 <sup>ns</sup>	-0,10 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>
Massa seca da parte aérea	0,34 <sup>ns</sup>	-0,40 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>
Massa seca da raiz	0,71*	-0,47 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>
Nº de perfilhos	0,16 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	-0,16 <sup>ns</sup>
Altura de plantas	0,26 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,83*
Índice de colheita de grãos	-0,07 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	0,69*
Esterilidade de espiguetas	-0,56 <sup>ns</sup>	-0,36 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>

<sup>(1)</sup> ns: não significativo pelo teste “F” (P ≤ 0,05), \* significativo pelo teste “F” (P ≤ 0,05).



**Figura 5.2.** Altura de plantas (cm) de genótipos de arroz irrigado durante os estádios de desenvolvimento da cultura, em diferentes doses de N: 0, 150 e 300 mg de N  $\text{kg}^{-1}$  de solo.

#### 5.4 CONCLUSÕES

Os genótipos de arroz irrigado em estudo não apresentaram diferenças significativas na produtividade de grãos em razão das doses de N. Sendo observadas diferenças apenas em alguns componentes de produção, como na massa de 1000 grãos, em que se encontraram diferenças entre os genótipos, a massa seca da parte aérea mostrou

diferenças entre as doses de N e quanto à altura de plantas, verificou-se resposta à aplicação de N e também diferenças entre genótipos.

## 5.5 REFERÊNCIAS

ANDRADE, W. E. B.; AMORIM NETO, S.; FERNANDES, G.M.B.; OLIVEIRA, H.de F. Épocas de aplicação de nitrogênio em cultivares de arroz irrigado na Região Norte Fluminense. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 45, p. 14-17, 1992.

ANUÁRIO BRASILEIRO DO ARROZ. Santa Cruz do Sul: Grupo Gazeta de Comunicações, 2010. 130 p.

BARBOSA FILHO, M. P. **Nutrição e adubação do arroz (sequeiro e irrigado)**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 120p. (Boletim Técnico, 9).

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

COSTA, C.; DWYER, L. M.; ZHOU, X.; DUTILLEUL, P.; HAMEL, C.; REID, L. M.; SMITH, D. L. Root morphology of contrasting maize genotypes. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, p. 96-101, 2002.

FAGERIA, N. K. **Adubação e nutrição mineral da cultura de arroz**. Rio de Janeiro: Campus; Goiânia: Embrapa, 1984. 341p.

FAGERIA, N. K. Otimização da Eficiência Nutricional Na Produção das Culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p. 6-16, 1998.

FAGERIA, N. K. Yield physiology of Rice. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 30, p. 843-979, 2007.

FAGERIA, N. K. **The use of nutrients in crop plants**. CRC Press, Boca Raton, FL. 2009. 448p.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Growth and nutrient concentrations of common bean, lowland Rice, corn, soybean, and wheat at different soil pH on an Inceptisol. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 22, p. 1495-1507, 1999.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Lowland Rice response to nitrogen fertilization. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 32, p. 1405-1429, 2001.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advances in Agronomy**, New York, v. 88, p. 97-185, 2005.

FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P. Avaliação preliminar de cultivares de arroz irrigado para maior eficiência de utilização de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 12, p. 1709-1712, 1982.

FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P. Nitrogen use efficiency in lowland rice genotypes. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 32, p. 2079-2089, 2001.

FAGERIA, N. K.; MOREIRA, A. The role of mineral nutrition on root growth of crop plants. **Advances in Agronomy**, New York, v. 110, p. 251-331, 2011.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. Produtividade de feijão no sistema plantio direto com aplicação de calcário e zinco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.1, p. 73-78, 2004.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B.; LINS, I. D. G.; CAMARGO, S. L. Characterization of fertility and particle size of várzea soils of Mato Grosso e Mato Grosso do Sul states of Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 28, p. 37-47, 1997.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B. dos. **Manejo da fertilidade do solo para o arroz irrigado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003a. 250p.

FAGERIA, N. K.; SLATON, N. A.; BALIGAR, V. C. Nutrient management for improving lowland rice productivity and sustainability. **Advances in Agronomy**, New York, v. 80, n. 2, p. 63-152, 2003b.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; CLARK, R. B. **Physiology of crop production**. New York: The Haworth Press. 2006.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B.; CUTRIM, V.A. Produtividade de arroz irrigado e eficiência de uso do nitrogênio influenciadas pela fertilização nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 1029-1034, 2007.

FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P.; MOREIRA, A.; GUIMARÃES, C. M. Foliar fertilization of crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 32, p. 1044-1064, 2009.

FREITAS, J. G.; AZZINI, L. E.; CANTARELLA, H.; BASTOS, C. R.; CASTRO, L. H. S. M.; GALLO, P. B.; FELÍCIO, J. C. Resposta de cultivares de arroz irrigado ao nitrogênio. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n.3, p. 573-579, 2001.

FREITAS, J. G; CANTARELLA, H; SALOMON, M. V.; MALAVOLTA, V. M. A.; CASTRO, L. H. S. M.; GALLO, P. B.; AZZINI, L. E. Produtividade de cultivares de arroz irrigado resultante da aplicação de doses de nitrogênio. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 2, p. 317-325, 2007.

GUIMARÃES, C. M. ; SANTOS, A. B. ; MAGALHAES JUNIOR, A. M. ; STONE, L. F. Sistemas de cultivo. In: SANTOS, A. B. dos; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. de A.. (Org.).

**A cultura do arroz no Brasil.** 2. ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. p. 53-96.

HOLZSCHUH, M. J.; BOHNEN, H.; ANGHINONI, I.; MEURER, E. J.; CARMONA, F. C.; COSTA, S. E. V. G. A. Resposta do arroz irrigado ao suprimento de amônio e nitrato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1323-1331, 2009.

MARIOT, C. H. P.; SILVA, P. R. F. da; MENEZES, V. G; TEICHMANN, L. L. Resposta de duas cultivares de arroz irrigado à densidade de semeadura e à adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 233-241, 2003.

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

ZOBEL, R. W. Rhizogenectis (root genetics) of vegetable crops. **Hort Science**, Alexandria, v. 21, p. 956-959, 1986.

## **6 EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO EM SOLO DE VÁRZEA INUNDADO SOB CULTIVO DE ARROZ IRRIGADO COM ADUBAÇÃO NITROGENADA**

### **RESUMO**

O óxido nitroso ( $N_2O$ ) é um gás de efeito estufa que participa na destruição da camada de ozônio. O uso de fertilizantes nitrogenados é o principal responsável pelas emissões de  $NO$  e  $N_2O$  em solos agrícolas. O presente trabalho objetivou quantificar a emissão de  $N_2O$  em solo de várzea inundado sob cultivo de arroz irrigado com diferentes doses de nitrogênio. O método de coleta de óxido nitroso ( $N_2O$ ) foi o de câmara fechada, sendo utilizadas 12 câmaras de PVC de 1,0 m de altura e 0,25 de diâmetro, sendo fechadas na parte superior por um CAP de PVC. As amostragens se deram aos cinco dias consecutivos das adubações nitrogenadas, tanto de plantio quanto de cobertura, fora a esse período foram feitas coletas uma vez por semana e novamente em cinco dias consecutivos após a retirada da lâmina d'água dos vasos. As amostras eram retiradas após 20 minutos de incubação da câmara nos vasos, por meio de uma bomba de vácuo manual, que transferia aproximadamente 20 mL do gás do interior da câmara para frasquinhos de vidro lacrados, após ter sido feito vácuo de 80 kPa. A concentração de  $N_2O$  das amostras de gás foi analisada no Laboratório de Instrumentação Analítica da Embrapa Arroz e Feijão, utilizando um cromatógrafo de gás Perkin Elmer Auto System XL equipado com coluna empacotada contendo "Porapak Q" e detector de captura de elétrons (ECD). Os gases de arraste utilizados foram argônio (95%) e metano (5%), conhecido como mistura P5. As taxas de emissão de  $N_2O$  foram determinadas a partir da integração dos fluxos de  $N_2O$  medidos em cromatografia gasosa entre as taxas de emissão dos tratamentos com adubação e sem adubação. A produção de óxido nitroso pelas parcelas não fertilizadas resultou em fluxos máximos médios de  $546,88 \mu g N_2O m^{-2} dia^{-1}$ . No mesmo período, determinou-se para as parcelas fertilizadas com uréia na dose  $150 mg kg^{-1}$  de N uma emissão máxima de  $535,14 \mu g N_2O m^{-2} dia^{-1}$ , enquanto que as parcelas fertilizadas com dose  $300 mg kg^{-1}$  de N emitiram  $595,43 \mu g N_2O m^{-2} dia^{-1}$ . Estes resultados evidenciam que a agricultura comporta-se como uma fonte importante de  $N_2O$  para a atmosfera, e que a fertilização nitrogenada aumenta a taxa de produção de óxido nitroso.

*Palavras-chave:* gás de efeito estufa, cromatografia gasosa, emissão total.

### **ABSTRACT**

## **NITROUS OXIDE EMISSIONS IN FLOODED SOIL UNDER LOWLAND RICE CROPPING WITH NITROGEN FERTILIZATION**



Nitrous oxide is a greenhouse gas that participates in the destruction of the ozone layer. The use of nitrogen fertilizers is primarily responsible for the NO and N<sub>2</sub>O emissions in agricultural soils. This study aimed to quantify N<sub>2</sub>O emission in flooded soil under irrigated rice cultivation with different nitrogen levels. The method of collection of nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) was a closed chamber 12 being used PVC chambers of 1.0 m high and 0.25 in diameter, closed at the top by a PVC cap. The samples were given to five consecutive days of nitrogen fertilization, planting as much coverage outside of that period were collected once a week and again in five days after removal of the water depth of vessels. Samples were withdrawn after 20 minutes of incubation in the chamber pots, using a manual vacuum pump, which would transfer approximately 20 mL of gas from the chamber for glass jars sealed, after making a vacuum of 80 kPa. The N<sub>2</sub>O concentration of gas samples was analyzed at the Laboratory of Analytical Instrumentation at Embrapa Rice and Beans, using a gas chromatograph Perkin Elmer Auto System XL equipped with packed column containing "Porapak Q" and an electron capture detector (ECD). The carrier gases used were argon (95%) and methane (5%), known as P5 mixture. The N<sub>2</sub>O emission rates were determined from the integration of N<sub>2</sub>O fluxes measured by gas chromatography between emission rates of the treatments with fertilizer and without fertilizer. The production of nitrous oxide by unfertilized plots resulted in average peak flow of 546.88 g N<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>. In the same period, it was determined for plots fertilized with urea at a dose 150 mg kg<sup>-1</sup> N a maximum emission of 535, 14 g N<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>, whereas the fertilized plots with dose 300 mg kg<sup>-1</sup> N emitted N<sub>2</sub>O 595.43 g m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>. These results show that agriculture behaves as an important source of N<sub>2</sub>O to the atmosphere, and that nitrogen fertilization increases the rate of production of nitrous oxide.

*Keywords:* greenhouse gas, gas chromatography, the total emission.

## 6.1 INTRODUÇÃO

O óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) é um gás de efeito estufa que participa na destruição da camada de ozônio. O solo agrícola é uma importante fonte de N<sub>2</sub>O, respondendo por 24% da emissão global anual (IPCC, 1996). As atividades antrópicas têm contribuído para um aumento nas concentrações de N<sub>2</sub>O na atmosfera, e os solos agrícolas podem contribuir com mais de 80% das emissões antrópicas (Lal et al., 1999). Uma série de estudos têm determinado que os fluxos de N<sub>2</sub>O na atmosfera são elevados em áreas de cultivo em que as taxas de adubação e irrigação também são altos (Mosier et al., 1986).

Entre as atividades antrópicas, o uso de fertilizantes nitrogenados é o principal responsável pelas emissões de NO e N<sub>2</sub>O em solos agrícolas (Lima, 2002). O uso de adubos nitrogenados em sistemas agrícolas tem aumentado no intuito de garantir altas produções agrícolas. No cultivo do arroz irrigado isso não é diferente, porém, em consequência do uso ineficiente desse fertilizante, tem-se aumentado a perda de nitrogênio para o ambiente. Essas perdas ocorrem a partir da lixiviação de NO<sub>3</sub>, volatilização de NH<sub>3</sub>, nitrificação e desnitrificação (Fageria et al., 2003a). A perda de nitrogênio (N) do sistema

solo-planta não tem repercussões apenas econômicas, mas também ambientais, especialmente quando óxidos de N são emitidos para a atmosfera e também quando se tem a lixiviação de  $\text{NO}_3^-$  (Giacomini et al., 2006).

Os óxidos de nitrogênio (NO e  $\text{N}_2\text{O}$ ) são produtos das reações de nitrificação e desnitrificação. A nitrificação produz relativamente mais NO e a desnitrificação é o processo dominante na produção do  $\text{N}_2\text{O}$  (Davidson et al., 1993). A nitrificação é favorecida pela presença de  $\text{NH}_4^+$ , por condições adequadas de aeração do solo e pela maior ciclagem de nitrogênio no sistema. Sendo que no Quarto Relatório de Avaliação do IPCC (2007), afirma que a concentração de  $\text{N}_2\text{O}$  na atmosfera continua a crescer a um taxa de  $0,26\% \text{ ano}^{-1}$ .

As atividades microbianas nos ambientes anaeróbicos estão intimamente ligadas às reações geoquímicas na solução do solo e na interface solo-solução do solo e contribuem para emissão de gás de efeito estufa, como o  $\text{N}_2\text{O}$ . A produção de  $\text{N}_2\text{O}$  é afetada por fatores físicos e bioquímicos, como pH do solo, potencial redox, conteúdo de matéria orgânica, temperatura e umidade do solo. O conteúdo de compostos oxidantes no solo ( $\text{O}_2$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Mn}^{4+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{CO}_2$ ) usados como receptores de elétrons para degradação da matéria orgânica contribuem significativamente para esse processo (Yu et al., 2001).

Embora a adubação nitrogenada seja uma prática comum nos sistemas de cultivos intensivos e mecanizados, como no cultivo de arroz irrigado, e também já visto a importância das áreas inundadas para a emissão de gases de efeito estufa poucos trabalhos principalmente nas várzeas tropicais têm avaliado as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  nesses ambientes. Dessa forma a presente pesquisa objetivou quantificar a emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  em solo de várzea inundado sob cultivo de arroz irrigado com adubação nitrogenada.

## 6.2 MATERIAL E MÉTODOS

Para a coleta da solução do solo foi empregado um sistema adaptado de Vahl (1991). Utilizou-se uma mangueira de plástico de 8 mm de diâmetro e de 25 cm de comprimento. Essa mangueira foi fixada nas paredes do vaso e ao longo da mangueira foram feitos furos de aproximadamente 1 mm de diâmetro, sendo que ao longo de toda porção perfurada foi enrolada uma tela de nylon (malha 100) e amarrada com fios de nylon

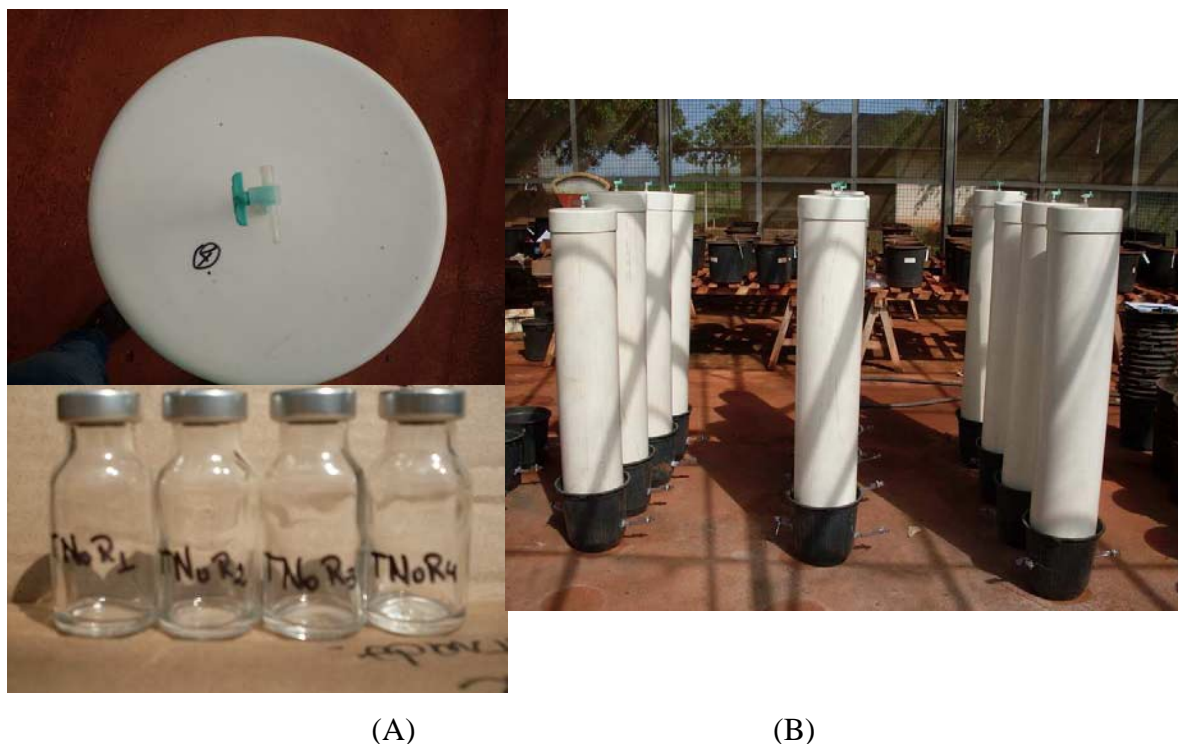
para impedir a entrada de partículas de solo junto com a solução durante a coleta. A solução foi succionada da mangueira por meio de seringas plásticas de 20 mL.

A inundação dos vasos se deu aos quinze dias após o plantio, com uma lâmina de aproximadamente 3 cm de altura. As coletas de solução se deram 1, 3, 7, 14, 28, 39, 59, 67, 102 dias após inundação, totalizando 9 coletas ao longo de todo o ciclo do arroz. Em cada coleta eram retirados aproximadamente 80 ml de solução do solo para análise de metais. Nas amostras para análise de metais foram adicionados solução de HCl 1 mol L<sup>-1</sup> e determinados os teores de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ( FIA); estes após filtragem da solução em filtro milipore 0,45 µm.

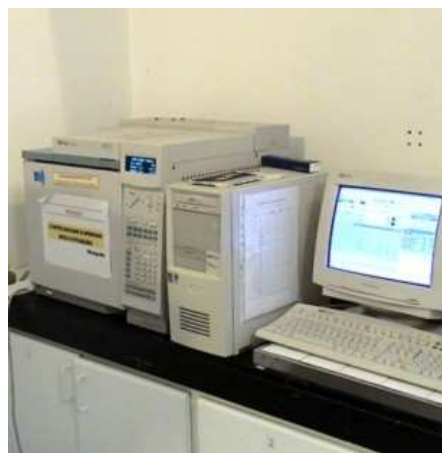
O método de coleta de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) foi o de câmara fechada, sendo utilizadas 12 câmaras de PVC de 1,0 m de altura e 0,25 m de diâmetro, sendo fechadas na parte superior por uma tampa, também em PVC (Figura 6.1). Cada câmara acondicionava as quatro plantas de cada vaso. Realizaram-se coletas ao longo de todo o ciclo do arroz. As câmaras eram colocadas nos momentos de amostragem e estas se deram aos cinco dias consecutivos das adubações nitrogenadas, tanto de plantio quanto de cobertura, fora a esse período foram feitas coletas uma vez por semana e novamente em cinco dias consecutivos após a retirada da lâmina d'água dos vasos (após a coleta das plantas).

Coletaram-se amostras de gás no tempo 0 min, 10 min, 20 min e 30 min de incubação das câmaras nos vasos para o cálculo da linearidade do N<sub>2</sub>O. Por meio desse cálculo constatou-se que o pico da concentração de N<sub>2</sub>O se dava com 20 min de incubação. Ao longo de todo o experimento foram coletadas amostras no período da manhã por volta das 09h00min, após 20 minutos de incubação da câmara nos vasos. Essas coletas foram feitas por meio de uma bomba de vácuo manual, que transferia aproximadamente 20 mL do gás do interior da câmara para frascos de vidro lacrados, após ter sido feito vácuo de 80 KPa.

A concentração de N<sub>2</sub>O das amostras de gás foi obtida no Laboratório de Instrumentação Analítica da Embrapa Arroz e Feijão, utilizando um cromatógrafo de gás Perkin Elmer Auto System XL equipado com coluna empacotada contendo "Porapak Q" e detector de captura de elétrons (ECD) (Figura 6.2). Os gases de arraste utilizados foram argônio (95%) e metano (5%), conhecido como mistura P5.



**Figura 6.1.** Material usado na coleta de gás, sendo detalhe da tampa de PVC com a válvula de três vias e frascos lacrados (A), e câmaras fechadas sobre os vasos (B).



**Figura 6.2.** Cromatógrafo a gás utilizado para analisar a concentração de óxido nitroso.

As taxas de emissão de  $N_2O$  foram determinadas a partir da integração dos fluxos de  $N_2O$  medidos em cromatografia gasosa entre as taxas de emissão dos tratamentos com adubação e sem adubação. O cálculo dos fluxos de  $N_2O$  é dado pela equação abaixo e as emissões obtidas pela integração dos fluxos (Bouwman, 1996).

$$FN_2O = \delta C / \delta t (V/A) M/V_m$$

em que,

$\delta C/\delta dt$ : é a mudança de concentração de  $N_2O$  na câmara no intervalo de incubação;

V: volume da câmara;

A: área do solo coberto pela câmara;

M: peso molecular de  $N_2O$ ;

Vm: volume molecular na temperatura de amostragem.

A coleta das plantas se deu ao atingir a fase de maturação fisiológica e os grãos foram destacados das panículas e pesados para a determinação da produção de grãos. A parte aérea foi levada à estufa a 70 °C por 24 horas para determinação da respectiva massa seca. Após procedeu-se o cálculo de eficiência de utilização de nitrogênio. Segundo Fageria (1998) a eficiência agrônômica é uma forma de avaliar o uso do nitrogênio, sendo considerada a produção econômica obtida (grãos, no caso do arroz) por unidade de nutriente aplicado. A eficiência agrônômica foi calculada de acordo com Fageria & Barbosa Filho (1982).

$$EA(\text{mg} \cdot \text{mg}^{-1}) = \frac{PG_{cf} - PG_{sf}}{QN}$$

em que,

PG<sub>cf</sub>: produção de grãos com fertilizante

PG<sub>sf</sub>: produção de grãos sem fertilizante

QN: quantidade de nutriente aplicado

### 6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se na Tabela 6.1 a emissão total de  $N_2O$  ao longo do período observado (133 dias). O efeito da adubação nitrogenada só foi observada na dose mais alta (300 mg de N  $kg^{-1}$  de solo), apresentando em média uma emissão de 27,18% e 31,91% superior aos tratamentos com dose de 150 mg de N  $kg^{-1}$  de solo e ao sem adubação, respectivamente. Ahmad et al. (2009) trabalhando com arroz sob semeadura direta e com preparo convencional do solo na região subtropical da China encontraram valores de emissão total superiores aos dessa pesquisa, entre 561,0 mg de N- $N_2O$   $m^{-2}$  e 741,71 mg de N- $N_2O$   $m^{-2}$  com o uso de fertilizante nitrogenado e entre 58,71 mg de N- $N_2O$   $m^{-2}$  e 75,42 mg de N- $N_2O$   $m^{-2}$  sem aplicação de nitrogênio. Além disso, encontraram efeito

significativo da adubação nitrogenada sobre a emissão de  $N_2O$ , sendo constatada com a fertilização uma emissão de  $N_2O$  cerca de seis a oito vezes a emissão do tratamento sem nitrogênio.

No estudo de Yang et al. (2003) também foram observados valores altos comparados aos da presente pesquisa. Os autores trabalharam com diferentes regimes de água em várias regiões de Taiwan, sendo que com a irrigação intermitente no primeiro cultivo encontraram valor médio de  $440 \text{ mg m}^{-2}$ .

**Tabela 6.1.** Emissão total de  $N_2O$  ( $\text{mg N-N}_2\text{O m}^{-2}$ ) acumulada em 133 dias de observações ao longo do ciclo do arroz irrigado sob diferentes doses de N.

Genótipos	Doses de nitrogênio ( $\text{mg kg}^{-1}$ )			
	0	150	300	Média de doses
Testemunha	2,05 B	2,46 B	3,30 A	2,60 b
BRS Tropical	2,48 B	3,24 B	3,44 A	3,05 ab
BRA 051130	3,10 B	2,46 B	4,47 A	3,34 a

<sup>(1)</sup> Valores seguidos por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e por letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

O fluxo diário de  $N-N_2O$  não apresentou diferenças significativas para as doses de N, porém o genótipo BRA 051130 mostrou emissão média significativamente maior comparada ao tratamento sem planta (Tabela 6.1). Isso indica que existem diferenças entre os genótipos de arroz irrigado estudados. Ao observar a Tabela 6.2 verifica-se que esse genótipo apresentou uma eficiência agrônômica menor quando comparado ao outro, logo possui uma menor eficiência no uso de nitrogênio. Segundo Minami & Neue (1994), variações no coeficiente de difusão na transição da raiz para o aerênquima parecem desempenhar um importante papel nas diferenças de emissão de metano entre as variedades de arroz. O mesmo deve acontecer no caso do  $N_2O$ , pois o aerênquima é o principal mecanismo de trocas gasosas na planta de arroz.

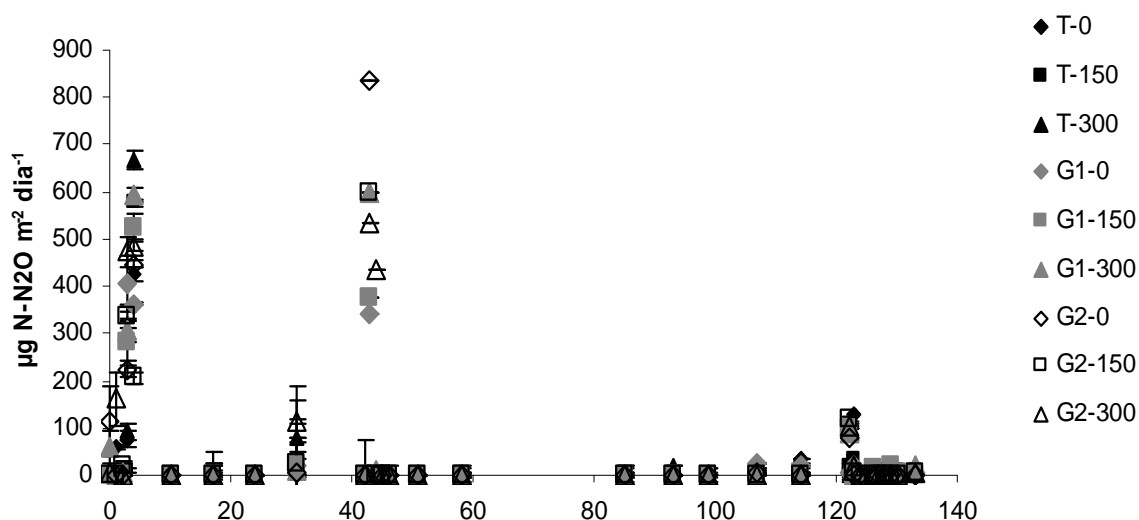
**Tabela 6.2.** Eficiência agrônômica de genótipos de arroz irrigado, média de três doses de nitrogênio.

Genótipos	EA ( $\text{mg mg}^{-1}$ )
BRS Tropical	15,59
BRA 051130	11,79
Média	13,69

Segundo Mosier et al. (1983), geralmente há uma alta taxa de emissão de  $N_2O$  imediatamente após a aplicação do fertilizante, estendendo-se pelo período de seis dias. Depois desse período, a taxa de emissão cai e flutua ao redor de um valor menor, independente da quantidade de nitrogênio aplicado. Logo, as emissões de  $N_2O$  após a adubação nitrogenada caracterizam-se por possuir um efeito intenso e de curta duração (Gomes, 2006). Essa tendência foi constatada no trabalho em questão, pois o fluxo de  $N-N_2O$  para a atmosfera aumentou com a aplicação da adubação nitrogenada de plantio e de cobertura (Figura 6.3).

Picos iniciais foram observados (Figura 6.3) entre os dois primeiros dias após o plantio. O genótipo BRA 051130 apresentou maior valor médio de emissão de  $N_2O$  ( $138,62 \mu g m^{-2} dia^{-1}$ ) quando comparado aos outros tratamentos. Mas foi na quinta avaliação realizada quatro dias após a adubação de plantio que se verificou o maior pico inicial sendo este de  $668,45 \mu g N-N_2 m^{-2}$  no tratamento sem planta na dose de  $300 mg de N kg^{-1}$  de solo. Aos 31 dias após o plantio foram observados picos sendo proeminentes nos tratamentos sem planta e no genótipo BRA 051130 com dose de  $300 mg de N kg^{-1}$  de solo. Nesse período o solo estava há 16 dias sob inundação e provavelmente condições anaeróbias adequadas foram atingidas, tendo substrato suficiente ( $NH_4^+$ ) para os microrganismos (Huang et al., 2007). Isto pode ser constatado na figura 6.6 em que foram observados os maiores valores de  $NH_4^+$  em solução do solo.

Huang et al. (2007) trabalharam com a incubação de solos de várzea do sudeste da China e encontraram fluxo de  $12,3 \mu g m^{-2} h^{-1}$  no primeiro dia de avaliação, sendo que esses valores ficaram abaixo de zero até o sétimo dia, e atingiu um valor de  $60,04 \mu g m^{-2} h^{-1}$  aos 13 dias de incubação sob inundação. Esses autores relatam que a umidade do solo teve fortes efeitos sobre as emissões de  $N_2O$ . Sob inundação e com a adição de sulfato de amônio, as emissões de  $N_2O$  foram quase nulas para a fase de incubação inicial. Isso é por causa da super-saturação dos solos em condições de inundação, o que não é benéfico para a difusão do gás  $N_2O$ . Porém após seis dias de incubação, condições anaeróbias adequadas foram atingidas e em consequência a maior produção e emissão de  $N_2O$ . Para o tratamento de irrigação intermitente os autores encontraram um fluxo médio de  $22,19 \mu g m^{-2} h^{-1}$  e para os de secagem natural foi encontrado um valor médio de emissão de  $1175 \mu g m^{-2} h^{-1}$ .

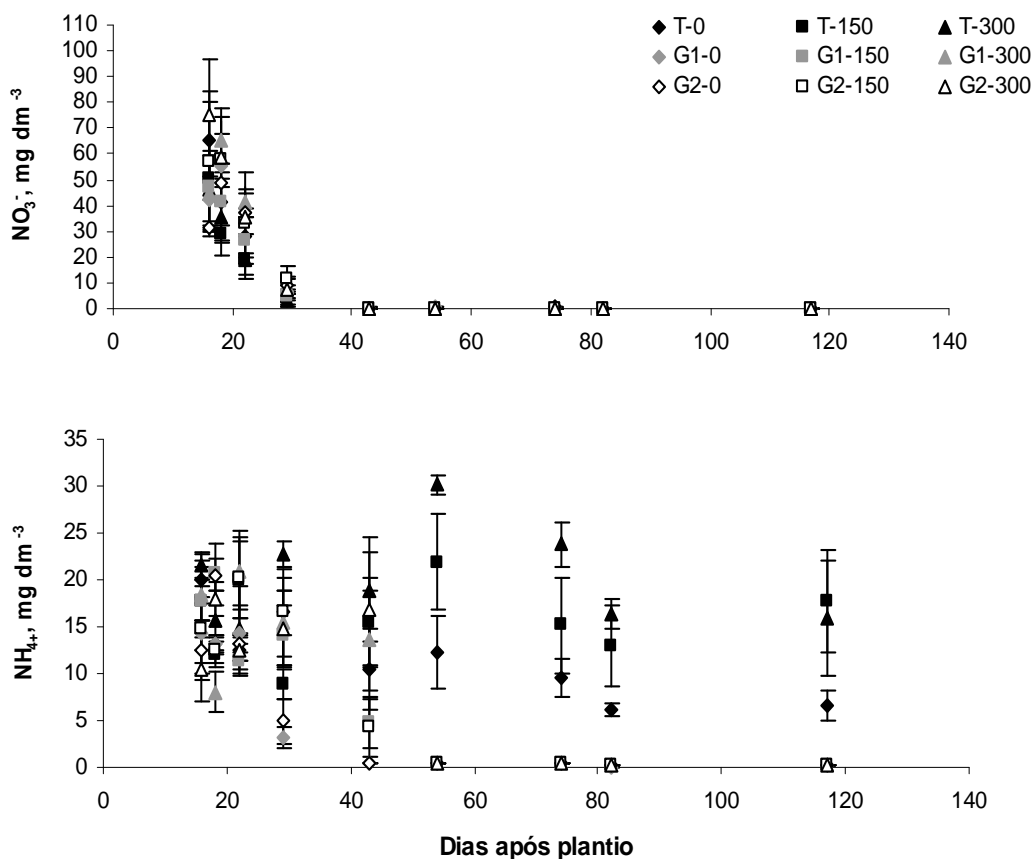


**Figura 6.3.** Emissões de N-N<sub>2</sub>O (µg m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) no solo afetadas por doses de nitrogênio (0 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo, 150 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo e 300 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo) e sob dois genótipos (G1: BRS Tropical, G2: BRA 051130) e uma testemunha (T).

Yue et al. (2005) observaram picos de emissão de N<sub>2</sub>O na fase inicial de crescimento do arroz e após a drenagem da área cultivada o tratamento de inundação contínuo com aplicação de uréia nas regiões central e sul da China. Os autores observaram fluxos médios de 18,51 mg N-N<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, sendo bem superiores aos observados na presente pesquisa. O tratamento com irrigação intermitente resultou em maiores emissões de N<sub>2</sub>O, tendo em média um fluxo de 25 mg N-N<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>. Fluxos inferiores de N<sub>2</sub>O foram observados por Liu et al. (2010) também no cultivo de arroz na China, sendo detectados apenas uma semana antes da colheita, apresentando um fluxo médio de 0,03 mg de N<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> para os tratamentos sob inundação e de 0,49 mg de N<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> e 1,39 mg de N<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> para os com irrigação intermitente, sem e com fertilização nitrogenada, respectivamente.

Carvalho et al. (2006) estudando emissão de óxidos de nitrogênio após a aplicação de uréia em milho, em Latossolo Vermelho argiloso distrófico, não observaram fluxos significativos de N<sub>2</sub>O. A explicação dada foi que a adequada aeração do solo e a disponibilidade de nitrogênio na forma amoniacal favoreceram a emissão de NO ao invés da de N<sub>2</sub>O.





**Figura 6.4.** Teores de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) na solução do solo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) afetadas por doses de nitrogênio (0  $\text{mg de N kg}^{-1}$  de solo, 150  $\text{mg de N kg}^{-1}$  de solo e 300  $\text{mg de N kg}^{-1}$  de solo) e sob dois genótipos (G1: BRS Tropical, G2: BRA 051130) e uma testemunha (T).

Porém, nem todo o  $\text{N}_2\text{O}$  produzido no solo, seja por nitrificação ou desnitrificação, chegará à atmosfera. Segundo Elder & Lal (2008) a fração do total de  $\text{N}_2\text{O}$  produzido no solo que é emitido à atmosfera depende da estrutura e da umidade do solo, os quais afetam a difusividade do gás no interior do solo. A umidade do solo é considerada por Huang et al. (2004) o fator mais sensível para regular a emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  a partir de culturas agrícolas.

Com a adubação de cobertura aos 42 dias após o plantio foram observados altos picos de emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  (Figura 6.3). Os tratamentos com plantas apresentaram valores muito superiores aos sem plantas, indicando que a presença da planta de arroz é um fator importante na produção e/ou na emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  para a atmosfera (Tabela 6.2 e Figura 6.3). Plantas de arroz cultivadas em solos inundados podem transportar  $\text{N}_2\text{O}$  dissolvido na água pela corrente transpiratória (Cantarella, 2007).

Zanatta et al. (2010) estudando fluxos de  $N_2O$  em um gleissolo no sul do Brasil cultivado com milho observaram uma intensificação da emissão desse gás com a fertilização nitrogenada, sendo verificado o valor máximo de emissão aos três dias após a adubação com N, cerca de  $8 \text{ mg de N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ . Nesse mesmo trabalho foi encontrado perda de 0,32% de N quando se utilizou a uréia como fonte de nitrogênio para o solo, representando menores perdas de N na forma de  $N_2O$  quando comparados as fontes nítricas.

A emissão de  $N_2O$  no solo afetada por sistemas de manejo e por fontes de nitrogênio foi observada por Zanatta (2009) onde foi constatado que a disponibilidade de  $NO_3^-$  é um fator importante para esse processo. A uréia promoveu o dobro da emissão de  $N_2O$  quando comparado ao tratamento sem N e observaram que a desnitrificação foi o principal processo envolvido na emissão de  $N_2O$ .

Na Figura 6.4 têm-se os teores de N mineral na solução do solo, na forma de  $NO_3^-$  e de  $NH_4^+$ . A concentração de  $NO_3^-$  na solução do solo no início da inundação era relativamente alta. Após 24 dias de plantio houve uma redução nos teores de  $NO_3^-$  na solução, podendo ser causado pelo seu consumo pelas plantas e devido às perdas pelo processo de desnitrificação, na forma de  $N_2$  e de  $N_2O$  (Patrick & Mahapatra, 1968). Esse processo é considerado uma das vias mais importantes de perda de nitrogênio em solos inundados (Patrick & Mahapatra, 1968). Dos 85 dias do plantio até o final do período de observação, não foi constatado  $NO_3^-$  em solução.

Cheng et al. (2006) também encontraram valores altos nos teores de  $NO_3^-$  na solução do solo no início do inundação, sendo estes reduzidos com o passar do tempo. Observaram que as maiores emissões de  $N_2O$  se deram nas três primeiras semanas após a inundação, provavelmente resultado da desnitrificação anaeróbia do  $NO_3^-$  presente na solução do solo.

O  $NH_4^+$  apresentou um teor máximo aos 31 dias após o plantio ( $2,64 \text{ mg dm}^{-3}$ ), reduzindo após esse período até estabilizar aos 74 dias do plantio. Os teores altos no início da inundação é resultado das reações de redução que produzem íons de Fe e Mn que deslocam a amônia adsorvida no complexo de troca catiônica para a solução do solo (Patrick & Mahapatra, 1968). A redução dos teores de amônio na solução após o pico é ocasionada pelo seu consumo pelas plantas, sendo relatado na literatura (Fageria et al., 2003) que nesses ambientes a absorção de  $NH_4^+$  é de 5 a 20 vezes maior do que a forma  $NO_3^-$ .

Se uma molécula de N<sub>2</sub>O migrar do local de produção para um poro mais oxigenado no solo, maiores são as chances de que esta molécula seja emitida para a atmosfera, logo a proporção entre N<sub>2</sub> e o N<sub>2</sub>O liberado à atmosfera deve ser afetado pelas condições de solo (Firestone & Davidson, 1989). Segundo Liu et al. (2007), em ambientes úmidos, a proporção do N perdido como N<sub>2</sub>O deve ser menor do que a fração perdida como N<sub>2</sub>, pois é provável que nessas condições, a desnitrificação seja conduzida a N<sub>2</sub>, aumentando a relação N<sub>2</sub> + N<sub>2</sub>O/N<sub>2</sub>O.

#### 6.4 CONCLUSÕES

A produção de óxido nitroso pelos tratamentos sem fertilização resultou em emissão total média de 2,54 mg N-N<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>. No mesmo período, determinou-se para os tratamentos fertilizados com uréia na dose 150 mg kg<sup>-1</sup> de N uma emissão total média de 2,72 mgN-N<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>, enquanto que os tratamentos sob adubação com dose 300 mg kg<sup>-1</sup> de N emitiram 3,74 mg N-N<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>. Estes resultados evidenciam que a agricultura comporta-se como uma fonte importante de N<sub>2</sub>O para a atmosfera, e que a fertilização nitrogenada aumenta a taxa de produção de óxido nitroso.

#### 6.5 REFERÊNCIAS

AHMAD, S.; LI, C.; DAÍ, G.; ZHAN, M.; WANG, J.; PAN, S.; CAO, C. Greenhouse gas emission from direct seeding paddy field under different rice tillage systems in central China. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.106, n.1, p. 54-61, 2009.

ALVES, B. J. R.; JANTALIA, C. P.; MADARI, B. E.; MACHADO, P.L.O.A.; FRANCHINI, J. C.; SANTOS, H.P.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. **Emissões de óxido nitroso de solos pelo uso de fertilizantes nitrogenados em áreas agrícolas**. Seropédica, RJ: Embrapa Agrobiologia, 2010. 6p. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico 126. Junho, 2010).

BOUWMAN, A. F. Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 46, n. 1, p. 53-70, 1996.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS, 2007. Cap. 7, p. 375-470.

CARVALHO, A. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; KOZOVITS, A. R.; MIRANDA, L. N.; VIVALDI, L. J.; SOUSA, D. M. Emissões de óxidos de nitrogênio associada à aplicação

de uréia sob plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 679-685, 2006.

CHENG, W.; YAGI, K.; SAKAI, H.; KOBAYASHI, K. Effects of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations on CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emission from rice soil: an experiment in controlled environment chambers. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 77, p. 351-373, 2006.

DAVIDSON, E. A.; MATSON, P. M.; VITOUSEK, R.; RILEY, R.; DUNKIN, K.; GÁRCIA-MÉNDEZ, G.; MAASS, J. M.. Process regulating soil emissions of NO and N<sub>2</sub>O in a seasonally dry tropical forest. **Ecology**, Tempe, v. 74, n. 1, p. 130-139, 1993.

DENEGA, G. L. **Emissão de óxido nitroso e dióxido de carbono após aplicação de dejetos de suínos e bovinos em um argissolo**. 2009. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)- Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

ELDER, J. W.; LAL, R. Tillage effects on gaseous emissions from an intensively farmed organic soil I North Central Ohio. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 98, n. 1, p. 45-55, 2008.

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p. 6-16, 1998.

FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P. Avaliação preliminar de cultivares de arroz irrigado para maior eficiência de utilização de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 12, p. 1709-1712, 1982.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B. dos; STONE, L. F. **Manejo da fertilidade do solo para o arroz irrigado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 250 p.

FIRESTONE, M. K.; DAVIDSON, E.A. Microbiological basis of NO and N<sub>2</sub>O production and consumption in soil. In: ANDREAE, M. O.; SCHIMMEL, D. S. (Ed.). **Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere**. Chichester: Wiley, 1989. p. 7-21.

GIACOMINI, S. J.; JANTALIA, C. P.; AITA, C.; URQUIAGA, S. S.; ALVES, B. J. R. Nitrous oxide emissions following pig slurry application in soil under no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 11, p. 1653-1661, 2006.

GOMES, J. **Emissão de gases do efeito estufa e mitigação do potencial de aquecimento global por sistemas conservacionistas de manejo do solo**. 2006. 151 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)- Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

HUANG, S.; PANT, H. K.; LU, J. Effects of water regimes on nitrous oxide emission from soils. **Ecological Engineering**, Oxford, v. 31, p. 9-15, 2007.

- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual**. WMO. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 1996.
- IPCC. International Panel on Climate Change. **Climate change 2007: the physical science bases**. 2007.
- LAL, R.; FOLLETT, R. F.; KIMBLE, J.; COLE, C. V. Managing U.S. cropland to sequester carbon in soil. **Journal of Soil Water Conservation**, Ankeny, v. 54, n. 1, p. 374-381, 1999.
- LIMA, M. A. de. Agropecuária brasileira e as mudanças climáticas globais: caracterização do problema, oportunidades e desafios. **Caderno de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 19, n. 3, p. 451-472, 2002.
- LIU, S.; QJIN, Y.; ZOU, J.; LIU, Q. Effects of water regime during Rice-growing season on annual direct N<sub>2</sub>O emission in a paddy rice-winter wheat rotation system in southeast China. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 408, p. 906-913, 2010.
- LIU, X. J.; MOSIER, A. R.; HALVORSON, A. D.; REULE, C. A.; ZHANG, F. S. Dinitrogen and N<sub>2</sub>O emissions in arable soils: effect of tillage, N source and soil moisture. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 39, n. 9, p. 2362-2370, 2007.
- MADARI, B. E.; COSTA, A. R. da; JANTALIA, C. P.; MACHADO, P. L. O. A.; CUNHA, M. B. da; MARTINS, D. R.; SANTOS, J. H. G. dos; ALVES, B. J. R. **Fator de Emissão de Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O) para a Fertilização com N na Cultura do Feijoeiro Comum Irrigado no Cerrado**. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2007. 4 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado Técnico 144. Dezembro, 2007).
- MINAMI, K.; NEUE, H.U. Rice paddies as a methane source. In: WHITE, D. H.; HOWDEN, S. M. (Ed.). **Climate change: significance for agriculture and forestry. Reprinted from Climate Change**, Dordrecht, v. 27, n. 1, p. 13-26, 1994.
- MOSIER, A. R.; PARTON W. J.; HUTCHINSON, G. L. Modelling nitrous oxide evolution from cropped and native soils. **Ecology Bulletin**, Tempe, v. 35, p. 229-241, 1983.
- MOSIER, A. R.; GUENZI, W. S.; SCHWEIZER, E. E. Soil losses of dinitrogen and nitrous oxide from irrigated crops in northeastern Colorado. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 50, p. 344-348, 1986.
- PATRICK, W. H.; MAHAPATRA, I. C. Transformation and availability to rice of nitrogen and phosphorus in waterlogged soil. **Advances in Agronomy**, New York, v. 20, p. 323-359, 1968.
- VAHL, L. C. **Toxidez de ferro em genótipos de arroz irrigado por inundação**. 1991. 173 f. Tese (Doutorado em Agronomia)- Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.

YANG, S. S.; LIU, C. M.; LAI, C. M.; LIU, Y. L. Estimation of methane and nitrous oxide emission from paddy fields and uplands during 1990-2000 in Taiwan. **Chemosphere**, Oxford, v. 52, p. 1295-1305, 2003.

YU, K. W.; WANG, Z. P.; VERMOESEN, A.; PATRICK, W. H.; VAN CLEEMPUT, O. Nitrous oxide and methane emissions from different soil suspensions: effect of soil redox status. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 34, p. 25-30, 2001.

YUE, J.; SHI, Y.; LIANG, W.; WU, J.; WANG, C.; HUANG, G. Methane and nitrous oxide emissions from rice field and related microorganism in black soil, northeastern China. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 73, p. 293-301, 2005.

ZANATTA, J. A. **Emissão de óxido nitroso afetada por sistemas de manejo do solo e sistemas de manejo**. 2009. 79 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

ZANATTA, J. A.; BAYER, C.; VIEIRA, F. C. B.; GOMES, J.; TOMAZI, M. Nitrous oxide and methane fluxes in south Brazilian gleysol as affected by nitrogen fertilizers. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 1653-1665, 2010.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados encontrados na pesquisa possibilitaram verificar que a inundação do solo promove alterações na dinâmica dos nutrientes tanto no solo quanto na solução do solo, influenciando a disponibilidade desses nutrientes para a cultura do arroz. Dentre as transformações constatadas as mais pronunciadas foram em relação às condições de oxidação-redução do solo. Na presente pesquisa observou-se efeito do tempo de inundação sobre o potencial redox do solo, sendo observada diminuição do Eh com a inundação e, em consequência, aumento do pH da solução do solo, tendendo a neutralidade.

Quando o solo é inundado ocorre uma mudança na respiração microbiana, passando de aeróbia para anaeróbia, nesse caso outros compostos a não ser o oxigênio são utilizados como receptores de elétrons. Dentre esses se verifica a importância do nitrato, ferro e manganês para o processo de respiração anaeróbia. A concentração de Fe na solução do solo aumentou com o tempo de inundação e a de Mn atingiu um pico aos 14 dias de inundação tendo posteriormente uma diminuição na solução do solo. Os teores de nitrato e amônio diminuíram. Além disso, constatou-se que a presença de plantas influencia a dinâmica dos compostos na solução do solo, sendo possível até enfatizar diferenças entre genótipos para alguns nutrientes, indicando que esses respondem diferentemente à adubação e também podem proporcionar condições diferenciadas de rizosfera.

Alguns componentes de produção obtiveram respostas com a adubação nitrogenada como a massa seca da parte aérea e a altura de plantas. Respostas diferenciadas foram observadas para os genótipos de arroz, como a massa de 1000 grãos e massa seca da parte aérea. Além de ter sido encontrada interação significativa entre doses de nitrogênio e genótipos de arroz irrigado, sendo verificados comportamentos diferenciados desses no uso de N.

A adubação nitrogenada proporcionou melhores produtividades para o arroz irrigado, porém também possibilitou maiores perdas de nitrogênio na forma de óxido nitroso para a atmosfera. A pesquisa possibilitou confirmar que o processo de desnitrificação é o principal responsável pela emissão de N<sub>2</sub>O em ambientes inundados, sendo a planta de arroz uma via de emissão do sistema estudado.

O estudo em ambientes inundados ainda é pouco estudado, principalmente quando combinado com produção agrícola. São áreas de grande potencial produtivo no Brasil, por isso devem ser mais estudados. Na pesquisa obtiveram-se bons resultados que confirmam muitas tendências observadas na literatura e uma contribuição muito interessante e ainda pouco discutida foi sobre as diferenças encontradas não só em relação à presença de plantas no sistema, mas também quanto aos genótipos. Dessa forma, pode-se notar que existem mecanismos para manejar esses ambientes de uma forma mais sustentável, com genótipos de boa eficiência no uso de fertilizantes, e com a realização de adubações ajustadas o que resulta em menores perdas para o ambiente.