



Concentração de nutrientes na solução do solo, sob diferentes manejos do arroz irrigado¹

Alexandre Swarowsky², Afranio A. Righes², Enio Marchezan³, Anderson C. Rhoden⁴ & Ezio I. Gubiani⁴

RESUMO

Com vistas a viabilizar alternativas de manejo da cultura do arroz irrigado objetivou-se, com o presente trabalho, avaliar diferentes sistemas de manejo da palha de azevém e da aplicação da adubação de base em relação à concentração de nutrientes na solução do solo em três locais. O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Santa Maria, Depressão Central do Rio Grande do Sul, no ano agrícola de 2000/01. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com quatro repetições, em parcelas sub-subdivididas, com três fatores: a) manejo da resteva de azevém em três níveis (i) planta de azevém em pé, (ii) planta de azevém incorporada e (iii) sem a planta de azevém; b) épocas de aplicação da adubação para o arroz com fósforo e potássio em três níveis (i) sem adubação, (ii) adubação aplicada na semeadura do azevém e (iii) adubação aplicada na semeadura do arroz e, c) três locais de coleta da solução do solo: (i) na superfície do solo (lâmina de irrigação), (ii) a 3 cm de profundidade e (iii) a 30 cm de profundidade nos minilísimetros sem drenagem. A incorporação da palha de azevém aumenta a concentração de potássio na lâmina de água e contribui para a percolação dos nutrientes: cálcio, magnésio, manganês, sódio e zinco no perfil. Os resultados demonstram que as concentrações de cálcio, manganês, ferro, magnésio, sódio, potássio e zinco na lâmina de água de irrigação, na cultura do arroz, não atingem os níveis críticos de contaminação ambiental estabelecidos pela lei.

Palavras-chave: *Oriza sativa*, sistemas de cultivo, adubação.

Concentration of nutrients in soil solution under different managements of flooded rice

ABSTRACT

Looking for crop alternatives management for irrigated rice possible, different systems of ryegrass straw management and application of fertilizers were evaluated, in relation to nutrient concentration in the solution were at there places. The experiment was conducted at the Federal University of Santa Maria, located in Central Depression Region of Rio Grande do Sul State, Brazil in the agricultural year of 2000/01. The experiment was in a randomized block with four replications, in split-split-plots design with three factors: ryegrass straw in three levels (i) no-tillage with ryegrass whole plant, (ii) ryegrass plant incorporated in soil and (iii) without ryegrass plant; time of fertilizers nitrogen and phosphorus application for rice (i) without fertilizer, (ii) fertilizer applied at the ryegrass sowing time and (iii) fertilizer applied at rice planting; and three places of sampling (i) surface water (ii) 3 cm depth and (iii) 30 cm depth in mini lysimeters. The results showed that ryegrass straw incorporation increases the potassium concentration in the water over the soil surface and contributes to percolation of calcium, magnesium, sodium, manganese and zinc in the soil profile. The concentration of there ions and potassium in the stagnant rice water remained below the established critical limits of environmental contamination stated by low.

Key words: *Oriza sativa*, cultivation systems, fertilizer application

¹ Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor, apresentada a UFSM. Projeto financiado pelo CNPq

² UNIFRA – Centro Universitário Franciscano. CEP 97010-032, Santa Maria, RS. Fone (55) 220-1200. E-mail: Alexandre@unifra.br

³ DF/UFSM. Faixa de Camobi, Km 9, Campus Universitário, Santa Maria, RS, 97105-900. E-mail: marchezan@ccr.ufsm.br

⁴ Acadêmicos do curso de Agronomia, UFSM. Faixa de Camobi, Km 9 Campus Universitário. CEP. 97105-900 Santa Maria, RS . Bolsista do PIBIC/CNPq

INTRODUÇÃO

O comportamento das culturas em solos de várzea é influenciado pelo sistema de manejo utilizado. Os solos hidromórficos apresentam características químicas, físicas e biológicas que são grandemente influenciadas pelas condições hídricas. Desta forma, há necessidade de se desenvolver sistemas de produção ecologicamente sustentáveis, e que, minimizem os danos ambientais mantendo em níveis elevados, a fertilidade do solo e a produtividade das espécies cultivadas (Santos et al., 1999).

No Rio Grande do Sul, os solos de várzeas, apresentam, em geral, uma camada impermeável, em torno de 1,0 m de profundidade. Quando o volume das precipitações é superior à capacidade de armazenamento de água no solo, este fica saturado por apresentar baixos valores de condutividade hidráulica saturada e à inexistência de gradiente hidráulico. Assim, em solos alagados, inúmeras são as alterações eletroquímicas que ocorrem, principalmente em relação à decomposição anaeróbica da matéria orgânica, verificando-se alterações e transformações na disponibilidade de íons na água de drenagem e na solução do solo.

Após a inundação a concentração de ferro na forma reduzida (Fe^{2+}) aumenta, sendo a forma preferida de absorção pelas raízes das plantas (Velloso et al., 1993), e em solos ácidos sua concentração na solução pode atingir níveis fitotóxicos para a cultura (Jugsujinda & Patrick, 1993). Segundo Velloso et al. (1993) sob condições de inundação, os teores de fósforo disponíveis aumentam, principalmente nas primeiras semanas. O aumento da solubilidade do fósforo decorrente da inundação determina maior eficiência na utilização deste nutriente, minimizando a dependência de fertilizantes fosfatados. Silva et al. (2000) estudando a dinâmica do ferro e do potássio na solução de um solo alagado em diferentes profundidades, na presença e ausência de plantas de arroz, concluíram que houve aumento da concentração de Fe com o incremento da profundidade. Este comportamento está diretamente relacionado à taxa de difusão do oxigênio no perfil dos solos alagados e à atividade dos microrganismos anaeróbios redutores de Fe. Como o oxigênio se difunde a partir da superfície, quanto maior a disponibilidade de oxigênio, menor é a intensidade da redução.

Ao contrário dos demais elementos, a concentração de zinco decresce após o alagamento, devido, provavelmente, à precipitação do $\text{Zn}(\text{OH})_2$ como resultado do aumento do pH, precipitação do ZnCO_3 em virtude da acumulação do CO_2 , resultado da decomposição da matéria orgânica e precipitação do ZnS sob condições altamente reduzidas (Camargo et al., 1999).

Camargo et al. (1995) estudando o acúmulo de nutrientes pelo arroz influenciado pela incorporação de palha em gleissolo, concluíram que a adição de palha de arroz no solo não afeta as concentrações de P e Ca + Mg, mas proporciona aumento de C, N e K.

A concentração de potássio, na solução do solo, pode variar de 1 até 50 mg L^{-1} . Na região Sul do Estado, geralmente a concentração de potássio está em torno de 11 mg L^{-1} , ressaltando-se que, mais de 60% dos solos cultivados com

arroz irrigado apresentam concentração de potássio abaixo de 60 mg L^{-1} (Meurer, 1995). Em solos alagados, o processo de inundação provoca aumento na disponibilidade de potássio, pela troca com os íons Fe^{2+} , Mn^{2+} , NH_4^+ nos sítios de troca e ainda favorece a difusão até a superfície das raízes (Lopes, 1991).

Fazendo uma análise da mobilidade dos elementos magnésio, cálcio e sódio, pode-se constatar que o magnésio é mais facilmente lixiviado que o cálcio. Entretanto o cátion encontrado em maior quantidade nas águas de lixiviação é o cálcio (Bissani & Tedesco, 1995). Segundo Amaral & Gonçalves (1993) na maioria dos solos destinados ao cultivo de arroz no Rio Grande do Sul os teores de sódio são baixos.

Weber (2000) avaliando as perdas de nutrientes na drenagem inicial de uma lâmina de água de 100 mm em área cultivada no sistema pré-germinado, encontrou perdas de potássio de 10,33 mg L^{-1} , cálcio de 6,38 mg L^{-1} , magnésio de 3,51 mg L^{-1} e nitrogênio de 5,02 mg L^{-1} . De acordo com Beltrame et al. (1991) as perdas acumuladas de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e nitrato em solo Vacacaí, no período de 44 a 107 dias após o alagamento, na profundidade de 20 a 30 cm com um fluxo de água de 365 mm, foram de 0,5; 65,5; 5,5; 3,4 e 4 kg ha^{-1} respectivamente.

Righes et al. (2001b) constataram que o manejo da água com lâmina estagnada, em casa de vegetação, 40% das plantas de arroz apresentaram sintomas de amarelecimento com posterior morte. O mesmo não ocorreu nos tratamentos com drenagem e com fluxo de superfície devido à provável lixiviação de produtos químicos produzidos pela decomposição anaeróbica da palha de azevém, nos tratamentos com drenagem, e pela dispersão de tais produtos, pelo fluxo de superfície. Porém, em ambiente controlado, quando se estudam a concentração de nutrientes na cultura de arroz no sistema mix de pré-germinado, notam-se que o manejo da água influenciou na concentração de todos os nutrientes estudados; por outro lado, a quantidade de palha de azevém não influenciou nas perdas de Fe e Mg. As maiores perdas de nutrientes ocorreram no tratamento com drenagem, praticamente para todos os nutrientes analisados, com exceção do K, em que as maiores perdas ocorreram no manejo da água com fluxo de superfície (Righes et al., 2001a).

Considerando a complexidade da química de solos alagados em relação ao manejo de resíduos orgânicos na cultura do arroz irrigado, foi desenvolvido o presente trabalho tendo como objetivo avaliar o manejo da resteva de azevém, formas de adubação e a concentração de nutrientes na solução do solo, em diferentes locais de coleta, simulando condições sem drenagem (nos minilímetros), visando obter subsídios para definir alternativas de manejo da cultura do arroz irrigado que cause menor impacto ambiental.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo, em área de várzea da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, no ano agrícola de 2000/01, em um Planossolo Hidromórfico Eutrófico arênico pertencente à unidade de

mapeamento Vacacaí, de textura média (Streck et al., 1999). Como características químicas do solo destaca-se: $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 4,8$; $\text{P} = 7,2 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{K} = 34 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{Ca} = 4,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $\text{Mg} = 1,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $\text{Fe} = 495,2 \text{ mg dm}^{-3}$, $\text{Mn} = 133,4 \text{ mg dm}^{-3}$, $\text{M.O.} = 1,7 \text{ g dm}^{-3}$ e $\text{Zn} = 2,4 \text{ mg dm}^{-3}$. O preparo da área experimental iniciou em março de 2000, passando-se uma grade aradora e duas grades niveladoras (preparo de verão) e aplainamento superficial, com o auxílio do equipamento Remaplan. A semeadura do azevém (*Lolium multiflorum*) foi realizada no mês de junho de 2000, utilizando-se 20 kg de sementes por hectare. A adubação aplicada para o azevém foi uniforme em toda a área experimental, seguindo a recomendação da Comissão de Fertilidade do Solo – RS/SC (1994), para forrageiras.

O delineamento estatístico foi de blocos ao acaso com 4 repetições, em parcelas sub-subdivididas. O fator “A” manejo da resteva de azevém, o fator “B” adubação para o arroz e o fator “C”, locais de coleta da solução do solo. O fator “A” foi testado nas parcelas principais com área de 24 m² (6 x 4 m), em três níveis: (i) planta de azevém em pé; (ii) planta de azevém incorporada, e (iii) sem a planta de azevém. O fator “B”, nas subparcelas, com área de 8 m² (4 x 2 m): (i) sem adubação; (ii) com 100% da adubação do arroz no plantio do azevém; (iii) com 100% da adubação do arroz na época de semeadura. A dose utilizada foi 200 kg ha⁻¹ da fórmula 5-20-20, de acordo com análise de solo e recomendação de adubação para a cultura do arroz irrigado (EMBRAPA, 1997). O fator “C” (Figura 1), nas sub-subparcelas locais de coleta em três níveis: (i) na superfície do solo (lâmina de água); (ii) a 3 cm de profundidade no solo normal; e (iii) a 30 cm de profundidade (nos minilísímetros, sem drenagem).

Nos tratamentos com palha incorporada, esta foi realizada com enxada rotativa autopropelida. Nas parcelas sem a cultura do azevém manteve-se o solo livre de plantas, por meio de dessecações quinzenais com o herbicida glyphosate na dose de 4 L ha⁻¹ do produto comercial acrescido de óleo mineral a 5% (v v⁻¹). Nas parcelas utilizadas para avaliar o sistema de manejo com palha em pé, o azevém foi desseca-

do dez dias antes da entrada da água. Nessas condições a quantidade média de matéria seca correspondeu à de 2800 kg ha⁻¹, determinada por amostragem aleatória de uma área de 1 m², extrapolando o valor para um hectare.

Após a aplicação dos tratamentos foi instalado, na área experimental, um sistema automático para a coleta das amostras de água, realizadas nos seguintes estádios de desenvolvimento do arroz irrigado: (i) perfilhamento; (ii) diferenciação do primórdio floral; (iii) floração; (iv) grão leitoso e (v) colheita. Para análise dos resultados realizou-se uma média dessas épocas. O sistema de coleta constituiu-se de uma rede de 250 m de tubos PVC de ½” de diâmetro conectado a uma bomba de vácuo, com vaquostato automático que mantinha o vácuo constante em todos os pontos de amostragem (Figura 2). Tubos de nylon flexíveis, ligavam os frascos coletores, com capacidade para 500 mL (detalhes na Figura 1), aos tubos de vácuo, permitindo a amostragem de água dentro dos frascos coletores; outro tubo de nylon conectava o frasco coletor às cápsulas de cerâmica (utilizadas para tensiômetros). A coleta da solução do solo foi realizada em três diferentes locais: (i) na superfície do solo (lâmina de irrigação); (ii) a 3 cm de profundidade e; (iii) a 30 cm de profundidade no fundo dos minilísímetros sem drenagem (Figura 2A e B).

A adubação de cobertura com nitrogênio foi realizada manualmente utilizando-se uréia na quantidade de 50 kg de N por hectare, sendo 25 kg no estádio de perfilhamento e o restante na fase de diferenciação do primórdio floral.

Análises químicas da solução do solo provenientes dos três locais de coleta foram realizadas para os seguintes elementos: cálcio, potássio, ferro, sódio, magnésio, manganês e zinco. As amostras de água foram coletadas e imediatamente congeladas para posteriormente serem analisadas. A determinação de sódio e potássio foi realizada com o fotômetro de chama. As determinações de cálcio, magnésio, ferro, manganês e zinco, foram realizados no espectrofotômetro de absorção atômica, todos utilizando o cloreto de potássio 1 M para extração, e os resultados foram transformados para concentração de nutrientes em mg dm⁻³. A análise estatística dos dados foi

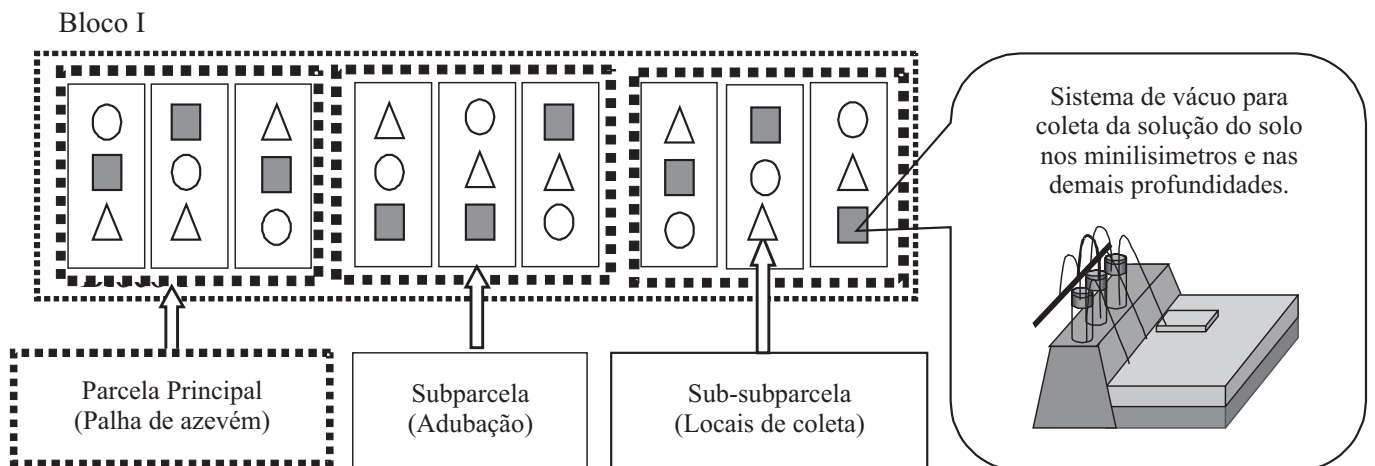


Figura 1. Croqui de um bloco do experimento com a localização das parcelas, subparcelas e sub-subparcelas.



Figura 2. (A) Minilímetro com brita e bidim, (B) local de instalação e (C) bomba de vácuo.

realizada com programa computacional (SOC-Software Scientific), usando-se o F-teste. As médias dos tratamentos foram comparadas aplicando-se-lhes o teste de Duncan, a 5% de probabilidade de erro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A concentração de nutrientes na solução do solo foi influenciada significativamente pelo manejo da palha de azevém, adubação de base e pelos diferentes locais de coleta (Tabela 1). O manejo da palha de azevém influenciou significativamente a concentração de praticamente todos os nutrientes avaliados, com exceção do magnésio e sódio. O mesmo comportamento foi verificado para a interação tripla manejo da palha-adubo-locais de coleta e interação dupla palha-locais de coleta. O manejo da adubação influenciou significativamente na concentração de praticamente todos os nutrientes, com exceção do magnésio; já os locais de coleta influenciaram, de forma significativa na concentração de todos os nutrientes estudados. Quanto à interação manejo da adubação-local de coleta, esta influenciou significativamente a concentração de todos os nutrientes avaliados; desta forma para facilitar o entendimento, a discussão será realizada em separado discutindo a concentração dos nutrientes em

função dos diferentes sistemas de manejos da palha e da adubação, relacionados com os locais de coleta.

Manejo da palha

Observando-se os dados e as análises estatísticas apresentadas na Tabela 2, nota-se que as concentrações de todos os nutrientes em relação aos locais de coleta foram decrescentes a partir da superfície do solo, seguido da profundidade de 3 cm e finalmente a 30 cm, nos minilímetros sem drenagem, exceção ao nutriente potássio que praticamente não variou em função dos locais de coleta, e ferro que apresenta maior concentração a 3 cm. Avaliando o comportamento de cada nutriente em função dos manejos da palha de azevém; verifica-se que a concentração de cálcio (Tabela 2) apresentou comportamento semelhante para os tratamentos com palha em pé e sem palha, mas quando se revolveu o solo, as concentrações a 3 cm foram menores, e a 30 cm (minilímetro sem drenagem) foram estatisticamente maiores comprovando que, no caso do revolvimento do solo, ocorre o possível deslocamento deste nutriente para camadas mais inferiores.

Esses resultados se assemelham àqueles encontrados por Pinto (2001) que, em casa de vegetação, verificaram maiores perdas de Ca pelo perfil do solo, verificando-se, então, o efeito benéfico para o cálcio da manutenção do sistema com a palha em pé, pois quando isto ocorreu constatou-se uma concentração na ordem de 14% superior em comparação com o manejo da palha incorporada.

Analisando o efeito do manejo da resteva de azevém em relação à concentração média de potássio (Tabela 2), independente da adubação, quando comparado com palha em pé e incorporada, observa-se que, ao se incorporar a palha de azevém, concentrações maiores de K foram encontradas na solução da superfície do solo, e na solução do solo a 3 cm de profundidade. Comportamento inverso foi encontrado nos minilímetros a 30 cm de profundidade, sem drenagem. Pinto (2001), encontrou concentrações médias de fósforo e de potássio maiores no tratamento da água com fluxo de superfície em relação ao tratamento com drenagem. As concentrações de potássio foram relativamente baixas em comparação com concentrações normais encontradas nos solos. O comportamento do potássio não se assemelha ao cálcio,

Tabela 1. Resumo da análise da variância e significância estatística dos valores médios dos nutrientes Fe, K, Zn, Ca, Mn, Mg e sódio na solução do solo na cultura do arroz irrigado em função dos tratamentos

Causa de Variação	GL	Significância Estatística						
		Fe	K	Zn	Ca	Mn	Mg	Na
Bloco	3	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Manejo da palha (A)	2	*	*	*	*	*	NS	NS
Manejo da adubação (B)	2	*	*	*	*	*	NS	*
Locais de coleta (C)	2	*	*	*	*	*	*	*
A * B	4	*	*	*	*	*	NS	*
A * C	4	*	*	*	*	*	NS	NS
B * C	4	*	*	*	*	*	*	*
A * B * C	8	*	*	*	*	*	NS	NS

NS: Não significativo pelo teste *F* ($P \leq 0,05$), * Significativo pelo teste *F* ($P \leq 0,05$).

Tabela 2. Valores médios da concentração de Ca, K, Fe, Na, Mg, Mn e Zn (mg dm^{-3}) das cinco amostragens da solução do solo nos diferentes estádios de desenvolvimento do arroz irrigado em função dos tratamentos

Tratamentos	Nutrientes	Concentração na solução do solo						
		Ca	K	Fe	Na	Mg	Mn	Zn
mg dm^{-3}								
Na superfície do solo (lâmina de água)								
Palha em pé	Sem adubo	14,3aB	0,5bA	2,4cC	1,0aA	3,1aB	1,3aC	0,029aA
	Adubo no arroz	7,8bC	0,4bB	1,5aC	1,0aA	2,5aB	0,6bC	0,026abAB
	Adubo no azevém	8,2bC	0,7aA	1,2aC	1,3aB	2,5aB	1,1abB	0,021bB
	Média	10,1Ba	0,5Bb	1,7Cb	1,1Ba	2,7Ba	1,0Ca	0,025bB
Palha Incorporada	Sem adubo	7,8aC	0,8aA	2,3aC	1,0aB	2,5aC	0,6aC	0,030bA
	Adubo no arroz	7,7aC	0,6bA	3,8aC	1,0aB	2,8aB	0,5aC	0,029bB
	Adubo no azevém	8,9aC	0,5cB	4,0aC	0,9aB	2,5aC	0,8aC	0,040aB
	Média	8,0Cb	0,6Aa	3,4Ca	1,0Ca	2,6Ca	0,6Cb	0,033aB
Sem Palha	Sem adubo	8,0aC	0,4bB	2,2aC	1,2aA	2,3aC	0,7aC	0,030aA
	Adubo no arroz	8,1aC	0,4bC	2,8aC	1,1aB	2,7aC	0,7aC	0,025aB
	Adubo no azevém	7,4aC	0,6aA	3,0aC	0,9aB	2,6aB	0,6aC	0,026aB
	Média	7,8Cb	0,4Bc	2,7Cab	1,1Ba	2,5Ca	0,6Cb	0,027bB
Média Geral		8,6C	0,5A	2,6C	1,1C	2,6C	0,8C	0,028B
A 3 cm de profundidade no solo								
Palha em pé	Sem adubo	37,9aA	0,2bB	29,7aA	1,1aA	7,4aA*	5,7aA	0,021bB
	Adubo no arroz	37,5aA	0,4aC	26,2bA	1,2aA	7,6aA	5,6aA	0,024bB
	Adubo no azevém	32,5bB	0,4aC	12,4cB	1,4aB	7,4aA	4,9bA	0,030aA
	Média	36,0Aa	0,3Cb	22,8Ac	1,2ABa	7,4Aa	5,4Aa	0,025bB
Palha Incorporada	Sem adubo	23,9bB	0,5bB	37,9aA	1,2aB	6,6aB	4,0aB	0,022bB
	Adubo no arroz	28,0aB	0,6aA	22,6bA	1,4aAB	6,2aA	3,5abB	0,050aA
	Adubo no azevém	21,8bB	0,6aA	24,2bA	1,2aB	6,5aB	3,2bB	0,022bC
	Média	24,6Bb	0,5Ba	28,2Aa	1,3Ba	6,4Bc	3,6Bb	0,031aB
Sem Palha	Sem adubo	25,4cB	0,3bB	31,7aA	1,0bA	6,4bB	3,2cB	0,027aA
	Adubo no arroz	44,5aA	0,6aB	27,9bA	1,6aAB	7,6aA	6,7aA	0,030aB
	Adubo no azevém	33,6bB	0,2cC	18,4cB	1,6aA	6,8abA	6,1bB	0,032aA
	Média	34,5Ba	0,4Cb	26,0Ab	1,4Aa	7,0bB	5,4Ba	0,029aB
Média Geral		31,7B	0,4B	25,7A	1,3B	6,9B	4,8B	0,029B
A 30 cm de profundidade no solo dentro dos Mililímetros								
Palha em pé	Sem adubo	38,0bA	0,5bA	13,9aB	1,3bA	7,8aA	4,2aB	0,027aA
	Adubo no arroz	31,0cB	0,6aA	7,1bB	1,0bA	7,3aA	4,5aB	0,030aA
	Adubo no azevém	41,9aA	0,6aB	14,9aA	1,9aA	7,9aA	4,7aA	0,029aA
	Média	37,0Ab	0,6Aa	12,0Bc	1,4Ab	7,7Aa	4,5Bc	0,029cA
Palha Incorporada	Sem adubo	46,5bA	0,4aC	20,8bB	1,7aA	7,7abA	5,9aA	0,028cA
	Adubo no arroz	31,6cA	0,5aB	12,0cB	1,7aA	6,8bA	4,1bA	0,051aA
	Adubo no azevém	50,5aA	0,4aB	25,5aA	1,9aA	8,3aA	5,6aA	0,044bA
	Média	42,9Aa	0,4Cb	19,4Ba	1,7Aa	7,6Aa	5,2Ab	0,041aA
Sem Palha	Sem adubo	48,6aA	0,5bA	18,7aB	1,1bA	8,2aA	5,8bA	0,027cA
	Adubo no arroz	33,9aB	0,7bA	20,6aB	1,8aA	6,7bB	5,3bB	0,049aA
	Adubo no azevém	46,7bA	0,4aB	13,3bA	2,0aA	7,5abA	7,7aA	0,033bA
	Média	43,0Aa	0,5Aa	17,5Bb	1,6Aab	7,5Aa	6,2Aa	0,036bA
Média Geral		41,0A	0,5A	16,3B	1,6A	7,6A	5,3A	0,035A
Coeficiente de variação (%)		8,66	17,69	9,4	24,21	10,68	11,27	12,37

* Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical, não apresentam diferença estatística pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. As letras maiúsculas comparam médias do elemento correspondente por local de coleta (Por exemplo: Ca sem adubo na superfície com Ca sem adubo a 3 cm de profundidade e Ca sem adubo a 30 cm de profundidade).

demonstrando a possibilidade de ocorrerem perdas no caso de incorporação da palha, e perdas por percolação no caso do não revolvimento do solo. Uma das possíveis causas poderia ser devido à interação eletrostática entre Ca, Mg e K. Os cátions bivalentes (Ca e Mg) são atraídos com mais força pelas partículas do solo. A única forma de se contrapor este efeito é aumentando a concentração de K. Por outro lado, excesso de Ca e/ou Mg no solo geralmente dificultam a absorção do K (Castro & Meneguelli, 1989).

Observando os dados da Tabela 2, nota-se que as maiores concentrações médias de ferro em relação aos locais de coleta, foram encontradas a 3 cm, em todas as formas de manejo do azevém. Este comportamento pode ser atribuído aos compostos de ferro que, em contato com a camada oxidada do sistema radicular, oxidam e precipitam sobre as raízes, sendo responsáveis pela coloração avermelhada do sistema radicular (Souza et al., 2000). Essas concentrações não foram tóxicas para a cultura do arroz, pois, segundo

Barbosa Filho (1987) concentrações de ferro até 40 mg dm^{-3} em solução nutritiva, não afetaram o crescimento do arroz, mas em concentrações de 80 e 160 mg dm^{-3} , o desenvolvimento das plantas foi severamente reduzido. Obtiveram-se no presente trabalho valores médios de 25 mg dm^{-3} e máximos durante o ciclo da cultura de 70 mg dm^{-3} , não prejudicando o desenvolvimento normal do arroz.

No geral, concentrações maiores de Fe foram obtidas quando se incorporou a palha, provavelmente pela maior disponibilidade de carbono da palha de azevém aos microrganismos e do próprio revolvimento, que causa apreciável oxidação. Em áreas potenciais para toxidez por ferro, a não incorporação dos restos culturais reduz o problema porque não conduz a palha para até o interior do solo, onde será decomposta anaerobicamente e provocará concentração maior de ferro próximo da zona radicular. Explicação para este fato pode ser dada pela dinâmica de transformação do Fe^{2+} em solos alagados, que segue uma curva aproximadamente assintótica (Barbosa Filho, 1987).

Os valores de ferro encontrados na solução da superfície do solo se assemelham aos encontrados por Macedo et al. (2001) nas águas de entrada e saída de lavouras irrigadas pelo rio Jacuí, de 2 e $2,7 \text{ mg dm}^{-3}$ respectivamente, e aqueles encontrados por Pinto (2001), que variaram de $2,5$ a 3 mg dm^{-3} , conforme as quantidades de palha. Os valores encontrados na água da superfície estão abaixo dos teores considerados inadequados para o consumo humano (CETESB, 1988).

O sódio teve comportamento semelhante nas três formas de manejo da palha de azevém (Tabela 2). Entretanto, em relação aos locais de coleta as maiores concentrações foram encontradas a 30 cm (nos minilísimetros sem drenagem), quando se incorporou a palha, a concentração média de sódio foi maior do que nos demais tratamentos. Esse comportamento pode-se explicar pela facilidade de percolação de sódio no perfil devido, sobretudo, às propriedades do sódio, que apresenta grande raio iônico hidratado, sendo facilmente carregado juntamente com o fluxo de água. Nos três sistemas de incorporação da palha não houve diferença estatística, em virtude das baixas concentrações de sódio na palha de azevém.

Com relação ao magnésio, verifica-se que as maiores concentrações sempre foram encontradas a 30 cm nos minilísimetros sem drenagem, tanto nos sistemas com palha em pé, como no tratamento com palha incorporada e sem palha, demonstrando a possibilidade de ocorrerem perdas de magnésio pelo perfil do solo, acentuando-se esta diferença quando a palha de azevém foi incorporada, de forma semelhante, ao cálcio e ao sódio (Tabela 2). Pinto (2001) trabalhando com concentrações crescentes de palha e diferentes manejos da água de irrigação em casa de vegetação encontraram maiores perdas de Mg no perfil, comparado com o sistema de manejo da água sem drenagem, apenas com fluxo superficial.

Pelos resultados encontrados na Tabela 2, verifica-se que as maiores concentrações de Mn foram encontradas na solução do solo a 3 cm quando se manteve o sistema com a palha em pé, na ordem de 18% em comparação com os minilísimetros (30 cm), invertendo-se quando a palha é incor-

porada e cujas concentrações a 30 cm foram 32% maiores que na solução do solo a 3 cm . Verifica-se, portanto, que a incorporação da palha pode causar perdas consideráveis também de Mn no perfil. Esse fato ocorre, sem dúvida, pela mobilização do solo, que leva parte da palha para porções mais inferiores, Pinto (2001) estudando as perdas de manganês em casa de vegetação, quando comparou o tratamento sem palha, verificou que foram menores em relação às perdas ocorridas nos tratamentos com palha de azevém.

O Zn apresentou dinâmica um pouco diferenciada em relação aos demais nutrientes. Quando a palha foi mantida em pé (Tabela 2), as concentrações a 30 cm foram consideravelmente maiores quando comparadas com aquelas a 3 cm e na solução da superfície do solo; no entanto quando o sistema foi mantido sem palha ou quando a palha foi incorporada, esta variação não foi tão acentuada. Verificaram-se, também, baixas concentrações de zinco nos períodos em que foi realizada a coleta, em comparação com o que foi encontrado na análise de solo. Uma possível explicação para esses resultados é que a solubilidade do zinco é altamente dependente do pH e a primeira coleta foi realizada no perfilamento, quando o pH já estava normalizado, pois o alagamento, segundo Ponnampuruma (1972) causa o decréscimo no pH do solo no primeiro ou segundo dia, seguido por um aumento, até atingir um pH máximo e constante de $6,5$ a $7,5$ em duas a três semanas. A cada unidade de aumento desse fator, a solubilidade do zinco decresce 100 vezes, e à medida que o pH se eleva acima de $6,0$, aumentam as chances de ocorrer a formação de zinco de cálcio e de adsorção nas superfícies dos carbonatos (Souza & Ferreira, 1995).

Com pH elevado o Zn forma compostos insolúveis, como $\text{Zn}(\text{OH})_2$ e ZnCO_3 (Lindsay, 1991), e esses compostos formados, já que o solo estava revolvido e a palha incorporada, podem ter sido mais facilmente carregados pelo fluxo de água no perfil.

A análise de solo nem sempre informa exatamente o teor de Zn na solução e no ambiente radicular após a inundação, pois, de acordo com a análise realizada, os teores de zinco estavam nos limites aceitáveis (de $1,5$ a $2,8 \text{ mg dm}^{-3}$ até 30 cm); entretanto o que ocorreu na lavoura, no ambiente radicular foi diferente, principalmente pela adição de palha, que provoca uma concentração muito baixa na solução do solo. Mandal et al. (2000) estudando o manejo do solo e sua influência na disponibilidade de zinco para o arroz, concluíram que a inundação com a adição de material orgânico causa um inicial decréscimo na desorção do zinco adsorvido devido à imobilização microbiana.

Manejo da adubação

No geral nota-se que não houve influência da adubação de base na concentração dos nutrientes analisados (Tabela 2). Nas concentrações de Ca verifica-se efeito inibidor com a adição de adubo com potássio e fósforo e palha de azevém, pois maiores concentrações de cálcio foram verificadas quando as parcelas não foram adubadas e com a presença de palha de azevém. Segundo Barbosa Filho (1987) o fenômeno de interação entre fósforo, zinco e

calcário é bastante conhecido, embora o mecanismo desta interação não seja bem definido, havendo indicações de que ela ocorre no solo e na planta.

Concentrações maiores de ferro foram encontradas no tratamento sem adubação, provavelmente pela ocorrência de algum fenômeno na superfície de troca, ou mesmo de interação entre o ferro e o fósforo, pois segundo Mello et al. (1999) deficiência de ferro é induzida também, por excesso de Ca e de P no solo. Encontram-se maiores concentrações de potássio na solução do solo (3 cm) quando se adubou o arroz na época recomendada, principalmente no tratamento em que não havia nenhuma cobertura vegetal, devido à maior disponibilidade desse nutriente na época mais próxima das coletas e sem sofrer influência da decomposição anaeróbica da matéria orgânica. Os dados de um ano de experimento não permitem recomendar com precisão o melhor manejo da adubação.

Locais de coleta

Comparando-se somente os locais de coleta (Tabela 2) observa-se que, diferente dos demais elementos analisados, concentrações maiores de potássio são encontradas na superfície e no sistema sem fluxo, em comparação com aquelas encontradas a 3 cm. Esses resultados se assemelham àqueles encontrados por Righes et al. (2001a,b) que, analisando as perdas de nutrientes com o manejo da água de irrigação, constataram que as maiores perdas ocorreram no tratamento com drenagem, praticamente para todos os nutrientes analisados, com exceção do K, em que as maiores perdas ocorreram no manejo da água com fluxo em superfície, o que se pode atribuir à característica do potássio se deslocar facilmente da superfície de troca (Silva et al., 2000).

CONCLUSÕES

1. Na cultura do arroz irrigado por inundação, a incorporação da palha de azevém aumenta a concentração de potássio na solução da superfície do solo (lâmina de água) e favorece o deslocamento dos nutrientes cálcio, magnésio, manganês, sódio e zinco, no perfil do solo.

2. As concentrações de cálcio, manganês, ferro, magnésio, sódio, potássio e zinco na solução do solo, na cultura do arroz, não atingem os níveis críticos de contaminação estabelecidos pela lei.

LITERATURA CITADA

Amaral, A. S.; Gonçalves, A. R. Efeito da salinidade do solo na produção de arroz irrigado. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v.46, n.411, p.8-12, 1993.
Barbosa Filho, M. P. Nutrição e adubação do arroz: (sequeiro e irrigado). Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 129p. Boletim Técnico, 9

Beltrame, L. F. S.; Lochpe, B.; Rosa, S. M.; Miranda, T. L. G. Lixiviação de íons em planossolo Vacacaf sob condições de alagamento. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v.44, n.398, p.9-12, 1991.
Bissani, C. A.; Tedesco, M. J. Enxofre, cálcio e magnésio In: Ginello, C.; Bissani, C. A.; Tedesco, M. J. Princípios de fertilidade de solo. Porto Alegre: UFRGS 1995. cap. 10, p.135-148.
Camargo, F. A. O.; Santos, G. A.; Rossiello, R. O. P.; Zonta, E. Acúmulo de nutrientes pelo arroz influenciado pela incorporação de alha Em Gleissolo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.19, n.2, p.243-247, 1995.
Camargo, F. A. O., Santos, G. A.; Zonta, E. Alterações eletroquímicas em solos inundados. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.29, n.1, p.171-9, 1999.
Castro, A. F.; Meneghelli, N. A. As relações $K^+/(Ca^{++} + Mg^{++})^{1/2}$ e $K^+/(Ca^{++} + Mg^{++})$ no solo e as respostas a adubação potássica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.24, p.751-760, 1989.
CETESB. Guia de orientação e preservação de amostras de água. São Paulo: CETESB, 1988. p.12
Comissão de Fertilidade do Solo – RS/SC Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 3.ed. Passo Fundo: SBSC-Núcleo Regional, 1994. 224p.
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Arroz Irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. 4.ed. revisada e atual. Itajaí: EPAGRI/CPACT/IRGA, 1997. 80p.
Jugsujinda, A.; Patrick Jr., W. H. Evaluation of toxic conditions associated with organic symptoms of rice in a flooded Oxisol in Sumatra, Indonesia. *Plant and Soil*, The Hague, Baton Rouge, v.152, p.237-243, 1993.
Lindsay, W. L. Inorganic equilibrium affecting micronutrients in soils. In: Mortved, J. J.; Cox, F. R.; Shuman, L. M.; R. M. Welch (ed.) *Micronutrients in agriculture*. Wisconsin: Soil Science Society of America. Madison, 1991. p.94-112.
Lopes, S. I. G. Eficiência da adubação potássica e distribuição radicular do arroz irrigado. Porto Alegre: UFRGS, 1991. 96p. Dissertação Mestrado
Macedo, V. R. M.; Marcolin, E.; Bohnen, H. Levantamento exploratório da composição química das águas utilizadas para irrigação do arroz no Rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 2, 2001, Porto Alegre. Reunião da Cultura do Arroz Irrigado, 24, 2001, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: IRGA, 2001. p.793-795.
Mandal, B.; Hazra, G. C.; Mandal, L. N. Soil management influences on zinc desorption for rice and maize nutrition. *Soil Science Society American Journal*, Madison, v.64, n.5, p.1699-1705, 2000.
Mello, J. W. V.; Ribeiro, A. C.; Novais, R. F.; Venegas, V. H. A. Calagem e adubação fosfatada para o arroz em solos inundados: I. Teores de ferro e fósforo nos solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.23, n. 4, p.847-854, 1999.
Meurer, E. J. Potássio. In: Gianello, C.; Bissani, C. A.; Tedesco, M. J. Princípios de fertilidade de solo. Porto Alegre: UFRGS, 1995. cap. 9, p.122-134.

- Pinto, E. G. Manejo da irrigação e da palha de azevém na cultura do arroz irrigado no sistema mix de pré-germinado. Santa Maria: UFSM, 2001. 103p. Dissertação Mestrado
- Ponnamperuma, F. M. The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy*, San Diego, v.24, p.29-96, 1972.
- Righes, A. A.; Swarowsky, A.; Rhoden, A.; Gubiani, E. I.; Marchezan, E. Potencial redox, pH e concentração de nutrientes na cultura do arroz no sistema mix de pré-germinado. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola 30, 2001, Foz do Iguaçu, Anais... Foz do Iguaçu: SBEA, 2001a. CD Rom.
- Righes, A. A.; Swarowsky, A.; Rhoden, A.; Gubiani, E. I.; Marchezan, E. Manejo da água de irrigação em arroz no sistema mix de pré-germinado. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 2., 2001, Porto Alegre. Reunião da Cultura do Arroz Irrigado, 24., 2001, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: IRGA, 2001b. p.207-209.
- Santos, A. B. dos; Fageria, N. K.; Stone, L. F.; Santos, C. Manejo de água e de fertilizante potássico na cultura de arroz irrigado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.34, n.4, p.565-573, 1999.
- Silva, L. S. da; Souza, R. O. de; Bohnen, H. Dinâmica de ferro e potássio na solução de solo alagado em diferentes profundidades, na presença e ausência de plantas de arroz. In: Reunião Sul Brasileira de Ciência do Solo. Resumos... Pelotas: NRS/SBCS, 2000. CD Rom.
- Souza, E. C. A.; Ferreira, M. E. Zinco. In: Simpósio sobre Micronutrientes na Agricultura, 1988. Jaboticabal, Anais... Jaboticabal: Fundação ABC, 1995. p.302-344.
- Souza, R. O.; Camargo, F. A. O.; Vahl, L. C. Solos alagados In: Meurer, E. J. Fundamentos de química do solo. Porto Alegre: Genesis, 2000. cap.7, p.126-149.
- Streck, E. V.; Kampf, N.; Klamt, E. Atualização da classificação taxonômica das unidades de mapeamento do levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul. *Informativo EMATER*, Erechim, v.16, n.9, p.1-5, 1999.
- Velloso, A. C. X.; Oliveira, C.; Leal, J. R. Processos redox em glei húmico do Estado do Rio de Janeiro: III. Variações das concentrações de Fe II. e fosfato. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.17, n.1, p.27-33, 1993.
- Weber, L. Consumo e qualidade da água e cultivares de arroz irrigado em diferentes sistemas de cultivo. Santa Maria: UFSM, 2000. 57p. Dissertação Mestrado