

ISSN 1678-2518

Dezembro, 2011

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Clima Temperado  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 150***

## **Estado Nutricional do Arroz em Resposta à Variação na Altura da Lâmina de Água**

Walkyria Bueno Scivittaro  
Daiana Ribeiro Nunes Gonçalves

Pelotas, RS  
2011

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Clima Temperado  
Endereço: BR 392 Km 78  
Caixa Postal 403, CEP 96001-970 - Pelotas, RS  
Fone: (53) 3275-8199  
Fax: (53) 3275-8219 - 3275-8221  
Home page: [www.cpact.embrapa.br](http://www.cpact.embrapa.br)  
E-mail: [sac@cpact.embrapa.br](mailto:sac@cpact.embrapa.br)

Comitê de Publicações da Unidade  
Presidente: Ariano Martins de Magalhães Júnior  
Secretária-Executiva: Joseane Mary Lopes Garcia  
Membros: Márcia Vizzotto, Ana Paula Schneid Afonso, Giovani Theisen, Luis Antônio  
Suíta de Castro, Flávio Luiz Carpena Carvalho, Christiane Rodrigues Congro Bertoldi,  
Regina das Graças Vasconcelos dos Santos.  
Suplentes: Isabel Helena Verneti Azambuja, Beatriz Marti Emygdio

Supervisão editorial: Antônio Luiz Oliveira Heberlê  
Revisão de texto: Bárbara Chevallier Cosenza  
Normalização bibliográfica: Fábio Lima Cordeiro  
Editoração eletrônica e capa: Juliane Nachtigall (estagiária)

1a edição  
1a impressão (2011): 100 exemplares

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação  
dos direitos autorais (Lei no 9.610).

---

Scivittaro, Walkyria Bueno

Estado nutricional do arroz em resposta à variação na altura da lâmina de água /  
Walkyria Bueno Scivittaro e Daiana Ribeiro Nunes Gonçalves. – Pelotas: Embrapa Clima  
Temperado, 2011.

30p. – (Embrapa Clima Temperado. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 150).

ISSN 1678-2518

Arroz irrigado – *Oryza sativa* L. – Irrigação por inundação – Manejo de água – Nutrição. I.  
Gonçalves, Daiana Ribeiro Nunes. II. Título. III. Série.

---

CDD 633.18

© Embrapa

# Sumário

Resumo .....	5
Abstract .....	7
Introdução .....	9
Material e Métodos .....	13
Resultados e Discussão .....	16
Conclusão .....	26
Referências .....	27



# Estado Nutricional do Arroz em Resposta à Variação na Altura da Lâmina de Água

---

Walkyria Bueno Scivittaro<sup>1</sup>

Daiana Ribeiro Nunes Gonçalves<sup>2</sup>

## Resumo

Na região Sul do Brasil, a pesquisa tem buscado alternativas de manejo da água para o arroz irrigado por inundação do solo, visando aumentar a eficiência no uso desse recurso natural. As alterações no manejo da água podem alterar a disponibilidade de nutrientes para a cultura, por proporcionarem mudanças no período e no estado de redução do solo. Este trabalho teve por objetivo avaliar a influência da altura da lâmina de água sobre o estado nutricional do arroz. O estudo foi realizado nas safras agrícolas 2007/08 e 2008/09, em um Planossolo Háplico, na Estação Experimental Terras Baixas, da Embrapa Clima Temperado, em Capão do Leão, RS. Utilizou-se a cultivar de arroz irrigado BRS Querência. Os tratamentos compreenderam três alturas de lâminas de água [ $< 1$  cm (solo saturado), 5 cm e 10 cm], sendo dispostos em delineamento de blocos ao acaso

---

Eng. Agrôn., D.Sc.. Pesquisadora da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. [walkyria.scivittaro@cpact.embrapa.br](mailto:walkyria.scivittaro@cpact.embrapa.br)

Eng. Agrôn., MSc. Pelotas, RS. [daianar.nunes@gmail.com](mailto:daianar.nunes@gmail.com)

com três repetições, na safra 2007/08, e quatro repetições, na safra 2008/09. Avaliou-se o estado nutricional da cultura no perfilhamento pleno (estádio de oito folhas) e na floração (antese). A presença de lâmina de água propiciou maior teor foliar de potássio e menores de cobre, manganês e zinco no perfilhamento pleno. Na floração, a concentração foliar de potássio aumentou com a espessura da lâmina de água, sendo o efeito contrário para os nutrientes cálcio, boro e manganês. A espessura da lâmina de água exerce efeito discreto sobre o estado nutricional do arroz, não sendo requeridas modificações nas indicações de adubação para o arroz.

**Termos para indexação:** *Oryza sativa* L., irrigação por inundação, manejo de água, nutrição.

# Nutritional Status of Rice in Response to Variation in Flood Depth

---

*Walkyria Bueno Scivittaro*

*Daiana Ribeiro Nunes Gonçalves*

## ABSTRACT

In the Southern region of Brazil, alternatives of water management for irrigated rice have been studied in order to increase water use efficiency by the crop. Changes in water management can modify nutrient availability for rice by providing changes in the period and state of soil reduction. The objective of this work was to evaluate the influence of the flood depth on nutritional status of the rice crop. The experiment was carried out in two crop seasons, 2007/2008 and 2008/09, in a Typic Albaqualf, at the Lowland Experimental Station (ETB), of Embrapa Temperate Agriculture, located in the district of Capão do Leão, Rio Grande do Sul state, Brazil. An irrigated rice cultivar, BRS Querência, was used in the study. The treatments comprised three flood depths [ $< 1$  cm (saturated soil); 5 cm; and 10 cm]. These treatments were arranged in randomized complete block design, with three and four replications in the first and second season, respectively. Rice nutritional status was evaluated at the active tillering stage (8-leaf stage); and the anthesis stage. The presence of floodwater resulted in higher leaf potassium concentration and lower leaf copper, manganese, and zinc concentrations than in saturated soil, at

the active tillering. At the anthesis, the leaf K concentration increased with the thickness of the water depth; an opposite effect was determined for leaf calcium, boron, and manganese concentrations. Flooding delay promoted increase in leaf Mg and Fe contents, and reduction in leaf P, B, and Zn contents at the anthesis stage. Change magnitude in rice nutritional status due to the variation on the flood depth is small, not requiring revision on the indications of fertilization for flooded rice.

**Index terms:** *Oryza sativa* L., flooding irrigation, water management, nutrition.

## Introdução

A orizicultura irrigada por inundação do solo destaca-se pela elevada demanda hídrica. No Brasil, essa atividade produtiva está concentrada no Rio Grande do Sul, que ocupa, anualmente, uma área próxima a um milhão de hectares e responde por cerca de 65% da produção nacional do cereal, com produtividade média de  $7,6 \text{ t ha}^{-1}$  (CONAB, 2011). Pela magnitude elevada do cultivo, a lavoura arrozeira no estado vivencia conflitos frequentes com os demais usuários da água, confrontando-se com o grande desafio de elevar a eficiência de uso da água na cultura do arroz.

Para atingir essa meta, a pesquisa local tem se dedicado a propor e avaliar alternativas de manejo da água para o arroz com vistas à redução no uso e elevação da eficiência de irrigação. Dentre as alternativas em avaliação, a redução na altura da lâmina de água tem se mostrado bastante promissora, por diminuir o volume de água aplicado à lavoura, sem comprometimento da produtividade. Isto porque para atender à demanda hídrica do arroz irrigado é necessário, apenas, manter o solo saturado ao longo do ciclo da cultura.

A altura da lâmina de água influencia, entre outros fatores, a distribuição da água e a economicidade da irrigação. Lâminas de água menores são favoráveis quanto à economia de água, podendo viabilizar produtividades elevadas, desde que haja um bom controle de plantas daninhas e não se verifiquem problemas, como a ocorrência de baixas temperaturas durante

o ciclo da cultura. Requerem, porém, uma maior sistematização do terreno. Por outro lado, a adoção de lâminas de água maiores aumenta o uso de água pelo arroz, mas exige menor nivelamento do terreno e menos cuidado com o controle de plantas daninhas (SCIVITTARO; GOMES, 2009).

Resultados de pesquisas (SACHET, 1977 ; STONE et al., 1990; SCIVITTARO et al., 2010) constataram produtividade de grãos igual ou superior para o arroz cultivado em solo saturado ou com lâmina de água baixa, relativamente àquele em que se utilizou lâminas maiores. Nesses estudos, a eliminação ou a redução da espessura da lâmina proporcionou aumento da eficiência de uso da água pelo arroz, o que se deve à diminuição das perdas por percolação (FERGUSON, 1970) e fluxo lateral (STONE et al., 1990), bem como da evaporação noturna (TSUTSUI, 1972).

A despeito dos possíveis benefícios em produtividade e, especialmente, em economia de água resultantes da redução na altura da lâmina de água no cultivo de arroz, esse manejo pode influenciar a disponibilidade de nutrientes para a cultura, com reflexos sobre sua nutrição. Isto porque a submersão altera o equilíbrio de elementos e compostos presentes no solo, em resposta a transformações físicas, biológicas, eletroquímicas e químicas (SOUSA et al., 2006).

O fósforo e o potássio são os nutrientes mais beneficiados pela submersão do solo, razão pela qual a resposta do arroz irrigado por inundação do solo às adubações fosfatada e potássica é

menor que em solos drenados (SCIVITTARO; MACHADO, 2004). O aumento na disponibilidade de fósforo em solos inundados é atribuído à sua liberação da matéria orgânica, redução de fosfatos férricos a formas ferrosas mais solúveis, hidrólise de fosfatos de ferro e de alumínio causada pelo aumento do pH de solos ácidos e à liberação do fósforo adsorvido nas argilas ou nos hidróxidos de ferro e de alumínio, por troca aniônica (PONNAMPERUMA, 1972, 1977). Já a maior disponibilidade de potássio sob inundação deve-se ao aumento da difusão, deslocamento dos sítios de troca para a solução do solo, pelos cátions  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$  (MACHADO, 1985), e à liberação de potássio das frações não trocável e estrutural (CASTILHOS et al., 1999).

Os cátions cálcio e magnésio não participam diretamente das reações de oxirredução em solos alagados, mas têm a solubilidade aumentada devido a seu deslocamento para a solução do solo pelo manganês e, principalmente, pelo ferro, que ocupa proporção considerável dos sítios de troca (SOUSA et al., 2006). Sob submersão, o enxofre presente na forma de sulfatos é reduzido a sulfeto. A dinâmica da redução é dependente de atributos do solo (VAHL; SOUSA, 2004); em solos ácidos, os teores de sulfato solúvel em água diminuem lentamente, podendo permanecer durante alguns meses após o início do alagamento. O sulfeto formado, por sua vez, pode reagir com hidrogênio, formando gás sulfídrico, que é tóxico às plantas de arroz, ou reagir com metais pesados, como ferro, zinco e cobre,

diminuindo sua disponibilidade (VAHL; SOUSA, 2004).

A concentração de manganês e de ferro também aumenta com a submersão do solo, sendo os efeitos distintos sobre a planta de arroz. Por um lado, a maior disponibilidade desses nutrientes pode favorecer a nutrição da cultura e, por outro, os níveis atingidos podem ser tóxicos, prejudicando as plantas (SOUSA et al., 2006).

A dinâmica do nitrogênio em solos alagados é particular; na forma nítrica, o nutriente fica sujeito a perdas por desnitrificação (VAHL; SOUSA, 2004) e, ocasionalmente, lixiviação. Em decorrência, a disponibilidade de nitrogênio para o arroz pode ser reduzida pela submersão, embora o nitrogênio na forma amoniacal seja mantido no solo em condições de redução (BEYROUTY et al., 1994). Também os micronutrientes cobre e zinco têm sua disponibilidade reduzida pela submersão do solo. Esses nutrientes formam com facilidade compostos de baixa solubilidade, como hidróxidos, carbonatos e sulfetos, com conseqüente redução da concentração na solução de solos alagados. Em solos ácidos, esse efeito deve-se, ainda, à adsorção desses elementos aos colóides orgânicos, em resposta à elevação do pH (SOUSA et al., 2006).

Pelo exposto, realizou-se um experimento com o objetivo de avaliar o efeito da espessura da lâmina de água sobre o estado nutricional do arroz.

## Material e Métodos

O estudo foi realizado nas safras agrícolas 2007/08 e 2008/09, na Estação Experimental Terras Baixas (ETB), da Embrapa Clima Temperado, em Capão do Leão, RS.

Na primeira e segunda safra agrícola, o solo da área experimental, um Planossolo Háplico (SANTOS et al., 2006), apresentava as seguintes características químicas, na profundidade de 0-20 cm, respectivamente: argila: 190 g dm<sup>-3</sup>; pH<sub>(água)</sub>: 5,8 e 5,6; 12 e 14 g dm<sup>-3</sup> de M.O.; 13,3 e 12,8 mg dm<sup>-3</sup> de P; 59 e 51 mg dm<sup>-3</sup> de K; 0,0 e 0,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Al; 6,5 e 6,2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca + Mg e 9,1 e 10,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de CTC.

Os tratamentos compreenderam três espessuras de lâmina de água para o arroz irrigado por inundação do solo: 10 cm, 5 cm e lâmina inferior a 1 cm. Neste último tratamento, o solo foi mantido sob condições de umidade de saturação durante todo o período de irrigação dos demais tratamentos. Esses foram dispostos em delineamento de blocos ao acaso com três repetições, na primeira safra agrícola, e quatro repetições, na segunda safra. As unidades experimentais apresentaram dimensões de 10 m x 10 m, sendo individualizadas por taipas.

As épocas de início e de supressão da irrigação foram fixas, correspondendo, respectivamente, aos estádios de quatro a cinco folhas (V4-V5) e maturação de colheita do arroz (R9),

conforme a escala de Counce et al. (2000). A irrigação foi feita de maneira intermitente, mantendo-se uma lâmina de água uniforme com uma variação aceitável de 1 cm.

Em ambas as safras, o arroz foi implantado em sistema convencional de preparo do solo. As semeaduras do arroz, cultivar BRS Querência, foram realizadas em 17-11-2007 e em 09-12-2008, utilizando-se um espaçamento entre linhas de 17,5 cm e densidade de semeadura de 120 kg ha<sup>-1</sup> de sementes viáveis.

A adubação para o arroz foi estabelecida seguindo indicações da Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado (2007), considerando uma expectativa de incremento de produtividade de 4 t ha<sup>-1</sup>. Essa consistiu na aplicação, em pré-semeadura, de 250 kg da formulação 5-20-20 ha<sup>-1</sup>, na safra 2007/08, e de 280 kg de 5-25-25 ha<sup>-1</sup>, na safra 2008/09. Em cobertura, realizaram-se, ainda, duas aplicações de 55 kg de N ha<sup>-1</sup>, como ureia. A primeira adubação em cobertura foi realizada em solo seco imediatamente antes do início da irrigação, no estágio de quatro a cinco folhas, e a segunda, na diferenciação da panícula, sobre a lâmina de água ou em solo saturado, conforme o tratamento. O controle de plantas daninhas e os demais tratamentos culturais seguiram as indicações da pesquisa para a cultura de arroz irrigado (SOCIEDADE, 2007).

A avaliação do estado nutricional do arroz compreendeu a determinação dos teores de macro e micronutrientes e do índice

relativo de clorofila (IRC) na folha. Essas determinações foram realizadas em duas épocas: perfilhamento pleno e floração, correspondendo aos estádios V8 e R4. Para a determinação do teor foliar de nutrientes, na primeira época de avaliação (V8), utilizou-se amostra composta pela folha índice (última completamente desenvolvida) coletada de 40 plantas por unidade experimental. Na floração, a amostra utilizada foi constituída pela folha bandeira de 40 plantas. O material vegetal colhido foi seco em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C até massa constante. A análise química do material vegetal compreendeu determinações dos teores totais de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) no tecido foliar, seguindo procedimentos descritos em Freire (2001).

O índice relativo de clorofila (IRC) foi medido com clorofilômetro SPAD 502, da Minolta, utilizando-se a folha índice ou bandeira, de acordo com a época de avaliação, de 20 plantas por parcela. Em cada folha, os dados resultaram da média de medidas feitas nas posições basal, intermediária e apical.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e, quando significativas, procedeu-se à comparação das médias de altura de lâmina de água para o arroz pelo teste de Duncan em nível de 5%.

## Resultados e Discussão

Na Tabela 1 são apresentados os resultados de índice relativo de clorofila (IRC) na folha do arroz, medidos nos estádios oito folhas (V8) e floração (R4), das safras 2007/08 e 2008/09. Em ambas as safras, não houve efeito da espessura da lâmina de água sobre variável índice relativo de clorofila (IRC) nas duas épocas de avaliação. Este resultado mostra que a variação no manejo da água não influenciou a disponibilidade de nitrogênio no meio de cultivo, bem como a absorção do nutriente pelo arroz, uma vez que os valores de IRC são indicativos do nível do nutriente na planta, por se correlacionar de forma direta com a concentração de N no tecido foliar (SCHADCHINA; DMITRIEVA, 1995). Em arroz irrigado, essa correlação é influenciada por fatores, como cultivar, estágio de desenvolvimento (TURNER; JUND, 1994), espessura e peso específico da folha (PENG et al., 1993).

**Tabela 1.** Índice relativo de clorofila (IRC) na folha de arroz nos estádios V8 e R4, em função da espessura de lâmina de água. Safras 2007/08 e 2008/09. Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS.

Lâmina de água	V8	R4
	Safrá 2007/08	
< 1 cm	30,6 <sup>ns</sup>	31,2 <sup>ns</sup>
5 cm	30,8	29,4
10 cm	31,9	29,6
Média	31,2	30,1
CV, %	6,7	7,6
	Safrá 2008/09	
< 1 cm	31,6 <sup>ns</sup>	31,5 <sup>ns</sup>
5 cm	32,2	31,8
10 cm	32,2	30,7
Média	32,0	31,3
CV, %	3,2	4,0

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan em nível de 5%.

Em ambas as safras, os maiores valores de IRC foram determinados no estádio de oito folhas (V8). Este resultado reflete tanto a disponibilidade de nitrogênio no meio de cultivo, proporcionada pelas adubações nitrogenadas em cobertura, que foram realizadas no início do perfilhamento (estádio de quatro a cinco folhas) e na diferenciação da panícula, como a demanda e a capacidade de utilização de N pelo arroz, a qual se intensifica na fase reprodutiva (SLATON et al., 1994).

Na safra 2007/08, a avaliação do estado nutricional do arroz irrigado no perfilhamento pleno (estádio V8) não mostrou efeito dos tratamentos sobre os teores de macronutrientes (Tabela 2). Na safra seguinte (2008/09), a variação na espessura da lâmina de água influenciou os teores foliares de potássio e enxofre (Tabela 2). Assim, a concentração de potássio foi maior nos tratamentos com manutenção de lâmina de água, relativamente àquele em que se manteve o solo apenas sob umidade de saturação. Explica-se a maior absorção de potássio na presença de lâminas de água de maior espessura pela magnitude mais elevada da condição de redução estabelecida na presença de lâmina de água, favorecendo a difusão e o deslocamento do potássio dos sítios de troca para a solução (MACHADO, 1985) e a liberação do nutriente das frações não-trocável e estrutural (CASTILHOS et al., 1999). Sarwar e Khanif (2005) avaliaram o efeito de diferentes regimes de umidade no potencial redox do solo, verificando que lâminas de água de 5 cm de espessura antecipam a redução e proporcionam valores de potencial redox mais negativos, comparativamente à lâmina de 1 cm.

**Tabela 2.** Teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre na folha de arroz no estádio V8, em função da espessura de lâmina de água. Safras 2007/08 e 2008/09. Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS.

Lâmina de água	N	P	K	Ca	Mg	S
----- g kg <sup>-1</sup> -----						
Safrá 2007/08						
< 1 cm	35,9 <sup>ns</sup>	4,0 <sup>ns</sup>	20,4 <sup>ns</sup>	5,0 <sup>ns</sup>	2,2 <sup>ns</sup>	2,2 <sup>ns</sup>
5 cm	35,7	4,5	23,2	4,1	2,0	2,0
10 cm	38,0	4,7	16,0	5,4	2,2	2,0
Média	36,5	4,4	19,8	4,8	2,2	2,0
CV, %	11,0	8,8	32,9	32,5	17,2	48,4
-----						
Safrá 2008/09						
< 1 cm	35,8 <sup>ns</sup>	3,2 <sup>ns</sup>	22,6 <sup>b</sup>	3,5 <sup>ns</sup>	2,4 <sup>ns</sup>	2,6 <sup>b</sup>
5 cm	36,2	3,3	24,2 <sup>a</sup>	3,0	2,4	2,7 <sup>a</sup>
10 cm	34,8	3,3	24,2 <sup>a</sup>	3,1	2,3	2,6 <sup>b</sup>
Média	35,6	3,3	23,7	3,2	2,4	2,6
CV, %	5,6	4,5	3,4	10,6	4,6	1,9

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan em nível de 5%.

Quanto ao enxofre, o teor foliar do nutriente proporcionado pelo tratamento com lâmina de água intermediária (5 cm) foi maior que o dos demais, que não diferiram entre si (Tabela 2). Ressalta-se que, embora estatisticamente significativas, as diferenças entre os tratamentos foram tênues, com efeito discreto sobre a nutrição do arroz.

A avaliação do estado nutricional da cultura realizada por ocasião da floração indicou efeito dos tratamentos de espessura de lâmina de água exclusivamente para os teores foliares de potássio e cálcio, na safra 2007/08 (Tabela 3). A concentração

de potássio aumentou proporcionalmente à espessura da lâmina de água. Assim como descrito para a avaliação realizada no perfilhamento pleno, atribui-se a maior concentração de potássio no tecido foliar do arroz cultivado em presença de lâmina de água ao grau de redução do solo mais intenso, proporcionando maior disponibilidade do nutriente em solução (SCIVITTARO; MACHADO, 2004; SOUSA et al., 2006). Para o cálcio, os teores foliares determinados para os tratamentos com presença de lâmina de água (5 cm e 10 cm) foram semelhantes entre si e inferiores ao do tratamento sem lâmina de água (umidade de saturação). É provável que a maior disponibilidade de potássio em solução, decorrente de lâminas de água de maior espessura, tenha inibido a absorção de cálcio pelo arroz, visto que os dois cátions competem pelo mesmo sítio de absorção (MALAVOLTA, 2006). Isto ocorreu a despeito de o cálcio, em ambiente reduzido, ter a sua solubilidade aumentada em razão do deslocamento dos sítios de troca para a solução do solo pelos cátions ferro e manganês (SOUZA et al., 2006).

Na safra 2008/09, não se determinou influência da presença/espessura da lâmina de água sobre as concentrações de macronutrientes no tecido foliar de arroz (Tabela 3).

**Tabela 3.** Teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre na folha de arroz na floração (R4), em função da espessura de lâmina de água. Safras 2007/08 e 2008/09. Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS.

Lâmina de água	N	P	K	Ca	Mg	S
----- g kg <sup>-1</sup> -----						
Safrá 2007/2008						
< 1 cm	30,0 <sup>ns</sup>	3,4 <sup>ns</sup>	9,6 <sup>b</sup>	4,5 <sup>a</sup>	1,6 <sup>ns</sup>	1,6 <sup>ns</sup>
5 cm	29,8	3,2	10,6 <sup>ab</sup>	3,8 <sup>b</sup>	1,2	1,6
10 cm	29,4	3,0	12,3 <sup>a</sup>	3,2 <sup>b</sup>	1,2	1,4
Média	29,7	3,2	10,8	3,8	1,3	1,6
CV, %	3,2	4,1	8,1	8,0	13,8	31,0
-----						
Safrá 2008/2009						
< 1 cm	27,0 <sup>ns</sup>	1,9 <sup>ns</sup>	11,9 <sup>ns</sup>	4,6 <sup>ns</sup>	1,7 <sup>ns</sup>	1,9 <sup>ns</sup>
5 cm	27,2	2,1	12,3	4,4	1,7	1,8
10 cm	26,7	2,1	12,1	3,6	1,6	1,8
Média	27,0	2,0	12,1	4,2	1,6	1,8
CV, %	5,3	10,6	4,1	20,4	4,6	5,5

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan em nível de 5%.

Os resultados de ambos os anos, particularmente aqueles referentes à amostragem realizada na floração [estádio recomendado para a avaliação do estado nutricional da planta de arroz (COMISSÃO, 2004)] revelam ausência ou efeito tênue da variação na altura da lâmina de água sobre a nutrição do arroz irrigado. Isto é um indicativo bastante favorável da possibilidade de diminuição da espessura, ou mesmo eliminação, da lâmina de água, como estratégia para a redução da demanda hídrica da cultura, sem prejuízos para sua nutrição.

Com relação à avaliação do estado nutricional do arroz, acrescenta-se que a comparação dos teores médios de macronutrientes no tecido vegetal, determinados na floração, com as faixas de suficiência preconizadas para a cultura indicou, para a safra 2007/08, adequação para nitrogênio, fósforo e cálcio. As concentrações de potássio, magnésio e enxofre foram pouco inferiores aos níveis críticos estabelecidos pela cultura. Na safra 2008/09, independentemente do manejo da água praticado, os teores de fósforo, potássio e enxofre foram inferiores aos níveis críticos estabelecidos para o arroz irrigado, os demais macronutrientes estiveram dentro das faixas de suficiência indicadas pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo RS/SC (2004). Apesar desses resultados, em ambos os anos, não se observou sintomatologia visual de deficiência desses nutrientes para o arroz ao longo de todo o seu ciclo.

Assim como para os macronutrientes, a influência da espessura da lâmina de água sobre a concentração foliar de micronutrientes no arroz variou entre as épocas de amostragem e safras. No perfilhamento pleno (estádio V8), em ambas as safras, o efeito dos tratamentos manifestou-se para cobre, manganês e zinco (Tabela 4). Maiores concentrações de cobre, manganês e zinco no solo foram determinadas sob umidade de saturação, comparativamente aos tratamentos com manutenção de lâmina de água. Os menores teores foliares de cobre e zinco proporcionados pela presença de lâmina de água podem ser explicados pelo grau mais avançado de redução no solo

(SARWAR; KHANIF, 2005), diminuindo a disponibilidade desses nutrientes, pela formação de compostos de baixa solubilidade e adsorção aos coloides orgânicos (SOUSA et al., 2006).

Quanto ao manganês, possivelmente teve sua absorção reduzida nos tratamentos com presença de lâmina de água em razão do aumento da concentração de ferro em solução (Tabela 4), proporcionado pelo ambiente mais reduzido, visto que esses nutrientes apresentam absorção competitiva (MALAVOLTA, 2006). A interação Fe-Mn é bastante comum (BATAGLIA, 1991); em algumas situações, o excesso de ferro na solução do solo induz redução na absorção de outros micronutrientes, incluindo-se o manganês (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1985). Relatos de diminuição na absorção de manganês pelo arroz em presença de altas concentrações de ferro em solução foram relatados, anteriormente, por Stone et al. (1990).

**Tabela 4.** Teores de boro, cobre, ferro, manganês e zinco na folha de arroz no estágio V8, em função da espessura de lâmina de água. Safras 2007/08 e 2008/09. Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS.

Lâmina de água	B	Cu	Fe	Mn	Zn
----- mg kg <sup>-1</sup> -----					
Safra 2007/2008					
< 1 cm	40 <sup>ns</sup>	14a	93 <sup>ns</sup>	296a	49a
5 cm	41	6b	115	72b	10b
10 cm	44	4b	119	72b	10b
Média	41,6	8	109	147	23
CV, %	16,5	23,9	19,8	17,5	23,8
----- Safra 2008/2009 -----					
< 1cm	19 <sup>ns</sup>	8a	96 <sup>ns</sup>	156a	38a
5 cm	20	6b	102	95b	27b
10 cm	21	6b	103	87b	26b
Média	20	6	100	113	30
CV, %	7,8	15,8	7,8	12,7	8,3

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan em nível de 5%.

Na floração, a variação na espessura da lâmina de água exerceu efeito sobre os teores de boro e manganês, em 2007/08, e exclusivamente de manganês, na safra de 2008/09. A presença de lâmina de água proporcionou menor concentração foliar de B e Mn, comparativamente ao solo saturado. Confirmando resultados de avaliação anterior, o manganês teve sua absorção diminuída na presença de lâmina de água (Tabelas 5), refletindo a menor disponibilidade devida à retenção na fase sólida do solo e/ou à precipitação na forma de hidróxidos ou fosfatos (SIMS; PATRICK, 1978).

**Tabela 5.** Teores de boro, cobre, ferro, manganês e zinco na folha de arroz, na floração (R4), em função da espessura de lâmina de água. Safras 2007/08 e 2008/09. Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS.

Lâmina de água	B	Cu	Fe	Mn	Zn
----- mg kg <sup>-1</sup> -----					
Safrá 2007/2008					
< 1 cm	24a	7 <sup>ns</sup>	64 <sup>ns</sup>	362a	12 <sup>ns</sup>
5 cm	18b	9	61	140b	17
10 cm	16b	10	54	110b	14
Média	22	9	59	204	14
CV, %	7,4	24,2	10,8	34,4	31,2
-----					
Safrá 2008/2009					
< 1cm	11 <sup>ns</sup>	6 <sup>ns</sup>	51 <sup>ns</sup>	241a	14 <sup>ns</sup>
5 cm	11	5	51	138b	13
10 cm	11	5	51	133b	12
Média	11	6	51	170	13
CV, %	8,9	14,5	10,7	15,0	11,5

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan em nível de 5%.

Confrontando-se os dados médios obtidos na floração, em ambas as safras, com os padrões disponíveis para lavouras produtivas (COMISSÃO, 2004), foi verificada suficiência, apenas para cobre e manganês. Os demais micronutrientes não atingiram o nível crítico preconizado para a cultura. Também para os micronutrientes não se observou sintomatologia visual de deficiência nutricional para o arroz. Assim, é possível que a exigência nutricional da cultivar em avaliação (BRS Querência) seja menor que as estabelecidas no padrão disponível.

## Conclusões

A espessura da lâmina de água exerce efeito discreto sobre o estado nutricional do arroz.

A presença de lâmina de água propicia maior teor foliar de potássio e menores de cobre, manganês e zinco no perfilhamento pleno.

Na floração, a concentração foliar de potássio aumenta com a espessura da lâmina de água, sendo o efeito contrário para cálcio, boro e manganês.

## Referências

- BATAGLIA, O. C. Ferro. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. da. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS; CNPq, 1991. p. 159-172.
- BEYROUTY, C. A.; GRIGG, B. C.; NORMAN, R. J.; WELLS, B. R. Nutrient uptake by rice in response to water management. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 17, p. 39-55, 1994.
- CASTILHOS, R. M. V.; MEURER, E. J.; PINTO, L. F. S. Minerais fontes de potássio em dois planossolos do RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 22., 1999, Pelotas, RS. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p. 330-333.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: SBCS-CQFS, 2004. 400 p.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, safra 2010/2011, décimo segundo levantamento, setembro 2011**. Brasília, DF: CONAB, 2011. 39 p. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11\\_09\\_19\\_09\\_49\\_47\\_boletim\\_setembro-2011..pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_09_19_09_49_47_boletim_setembro-2011..pdf)>. Acesso em: 27 set. 2011.
- COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, Madison, v. 40, p. 436-443, 2000.
- FERGUSON, J. A. The effect of flood depth on rice yield and water balance. **Arkansas Farm Research**, Fayetteville, v. 19, n. 3, p. 4, 1970.
- FREIRE, C. J. da S. **Manual de métodos de análise de tecido vegetal, solo e calcário**. 2. ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2001. 201 p.

KABATA-PENDIAS, A; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 1985. 315 p.

MACHADO, M. O. Caracterização e adubação do solo. In: EMBRAPA-CPATB. **Fundamentos para a cultura do arroz irrigado**. Campinas: Fundação Cargil, 1985. p. 129-179.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

PENG, S.; GARCÍA, F. V.; LAZA, R. C.; CASSMAN, K. G. Adjustment for specific leaf weight improves chlorophyll meter's estimate of rice leaf nitrogen concentration. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, p. 987-990, 1993.

PONNAMPERUMA, F. N. **Physico-chemical properties of submerged soils in relation to fertility**. Los Baños: International Rice Research Institute, 1977. 32 p. (Research Paper Series, 5).

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

SACHET, Z. P. **Consumo de água de duas cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) em três tratamentos de irrigação**. 1977. 90 f. Tese (Mestrado em Hidrologia Aplicada) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

SARWAR, M. J.; KHANIF, Y. M. Low water rice production and its effect on redox potential and soil pH. **Journal of Agronomy**, Madison, v. 4, p. 142-146, 2005.

SCHADCHINA, T. M.; DMITRIEVA, V. V. Leaf chlorophyll content as a possible diagnostic mean for the evaluation of plant nitrogen uptake from the soil. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 18, p. 1427-1437, 1995.

SCIVITTARO, W. B.; CASTRO, N. M. dos R.; LOUZADA, J. A. S. MURLIKI, J. D. **Demanda hídrica e eficiência de irrigação pelo arroz:** efeito da altura da lâmina de água. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, 2010. 6 p. (Embrapa Clima Temperado. Comunicado técnico, 238).

SCIVITTARO, W. B.; GOMES, A. da S. Manejo da água e do nitrogênio na produção de arroz irrigado. In: WORKSHOP INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA NO BIOMA PAMPA, 1., 2009. Pelotas, RS. **Palestras...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 1 CD-ROM.

SCIVITTARO, W. B.; MACHADO, M. O. Adubação e calagem para a cultura do arroz irrigado. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de. (Ed.). **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, 2004. p. 259-303.

SIMS, J. L.; PATRICK, W. H. The distribution of micronutrient cations in soil under conditions varying redox potential and pH. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 42, p. 258-262, 1978.

SLATON, N. A.; NORMAN, R. J.; WELLS, B. R.; MILLER, D. M.; HELMS, R. S.; BEYROUTY, C. A.; WILSON JR, C. E. Efficient use of fertilizer. In: HELMS, R. S. (Ed.). **Rice production handbook**. Little Rock: University of Arkansas, 1994. p. 42-54. (Miscellany Publication, 192).

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). **Arroz irrigado:** recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Pelotas: SOSBAI, 2007. 154 p.

SOUSA, R. O.; CAMARGO, F. A. de O.; VAHL, L. C. Solos alagados: reações de redox. In: MEURER, E. J. (Org.). **Fundamentos de química do solo**. 3. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2006. p. 185-211.

STONE, L. F., MOREIRA, J. A. A.; SILVEIRA FILHO, A. Manejo de água na cultura do arroz: consumo, ocorrência de plantas daninhas, absorção de nutrientes e características produtivas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n.3, p. 323-337, 1990.

TSUTSUI, H. Manejo da água para a produção de arroz. **Lavoura Arroeira**, Porto Alegre, v. 25, n. 269, p. 36-41, 1972.

TURNER, F. T.; JUND, M. F. Assessing the nitrogen requirements of rice crops with a chlorophyll meter method. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, East Melbourne, v. 34, p.1001-1005, 1994.

VAHL, L. C.; SOUSA, R. O. de. Aspectos físico-químicos de solos alagados. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de. (Ed.). **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, 2004. p. 97-118.