

# Soja em solos de várzea do Sul do Brasil

André Luís Thomas & Cláudia Erna Lange  
Organizadores



# Soja em solos de várzea do Sul do Brasil

André Luís Thomas & Cláudia Erna Lange  
Organizadores



Porto Alegre, 2014

Copyright dos autores  
1ª edição: 2014

**Foto da capa:**  
Anderson Vedelago

**Produção Gráfica e Impressão:**  
Evangraf - (51) 3336.2466

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

S683 Soja em solos de várzea do Sul do Brasil / Organizadores: André Luís Thomas e Cláudia Erna Lange – Porto Alegre : Evangraf, 2014.  
128 p. : il.

ISBN 978-85-7727-638-7

1. Soja. 2. Adversidades químicas de solos. 3. Adaptações morfológicas. 4. Adaptações fisiológicas. 5. Potencial de rendimento de grãos. I. Thomas, André Luís.

CDU 631.4  
CDD 633.3

(Bibliotecária responsável: Sabrina Leal Araujo – CRB 10/1507)

Todos os direitos reservados. A reprodução não autorizada dessa publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610)

**Pedidos desta publicação para:**  
andrethomas20@hotmail.com  
ou thomaspl@ufrgs.br

# Adversidades químicas de solos de várzea à soja

André Luís Thomas<sup>1</sup>, Leandro Souza da Silva<sup>2</sup>  
& Rogério Oliveira de Sousa<sup>3</sup>

## Solos de várzea

Os solos de várzea compreendem solos que apresentam uma característica comum, que é a formação em condições de hidromorfismo. A principal característica desses solos é a drenagem natural deficiente, normalmente motivada pelo relevo predominantemente plano, em posições baixas na paisagem e associado a um perfil cuja camada superficial é pouco profunda e a subsuperficial é praticamente impermeável (Pauletto et al., 1998).

Em solo com drenagem deficiente, quando há excesso hídrico por precipitação ou irrigação, os espaços porosos

---

1 Professor do Departamento de Plantas de Lavoura da Faculdade de Agronomia da UFRGS, Porto Alegre - RS. E-mail: thomaspl@ufrgs.br

2 Professor do Departamento de Solos do Centro de Ciências Rurais da UFSM, Santa Maria - RS. E-mail: leandrosolos@ufsm.br

3 Professor do Departamento de Solos da UFPEL, Pelotas-RS. E-mail: rosousa@ufpel.tche.br

são preenchidos pela água, que dificulta a difusão do oxigênio na fase gasosa do mesmo. Como a difusão do  $O_2$  na água é lenta e há grande demanda por  $O_2$  para atender a demanda biológica do solo, somente a camada superficial de milímetros do solo permanece parcialmente oxidada pela maior proximidade com a atmosfera. Em camadas mais abaixo, estima-se que, em 24 horas após o alagamento de um solo com temperatura ambiente superior a  $20^\circ C$ , pode haver o esgotamento total do  $O_2$  (Tabela 1) pelo consumo por microrganismos, fauna e raízes (Marschner, 1995; Liesack et al., 2000; Sousa et al., 2010).

**Tabela 1.** Alterações no pH e concentrações de oxigênio ( $O_2$ ), nitrato ( $NO_3^-$ ), amônio ( $NH_4^+$ ), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), sódio (Na), ferro (Fe) total e manganês (Mn) total na solução de um solo de várzea (Gleissolo) alagado durante 31 dias.

Alagamento (dias)	pH	$O_2$	$NO_3^-$	$NH_4^+$	$Ca^{+2}$	$Mg^{+2}$	$K^+$	$Na^+$	Fe total	Mn total
0	5,0	5,8	3,3	2,3	16,5	4,6	11,8	10,8	0,1	0,5
2	5,6	0,3	1,4	1,9	17,6	4,9	12,6	11,4	1,3	0,5
5	5,4	<0,1	<0,2	2,3	18,8	5,6	14,1	11,8	8,3	0,6
7	5,6	<0,1	<0,2	3,6	22,4	6,4	16,6	13,0	12,7	0,8
10	5,8	<0,1	<0,2	6,5	43,5	12,2	21,2	16,6	29,6	1,9
15	5,9	<0,1	<0,2	10,0	60,7	17,0	22,7	22,8	61,7	2,7
17	6,0	<0,1	<0,2	13,7	46,8	12,8	23,9	16,8	96,9	2,0
22	6,0	<0,1	<0,2	16,8	60,5	16,9	25,2	21,6	100,0	2,6
29	6,0	<0,1	<0,2	20,4	60,1	16,1	25,2	20,4	101,6	2,7
31	6,0	<0,1	<0,2	19,5	54,1	14,6	21,6	19,0	95,1	2,3

Bohnen, H., comunicação pessoal.

Este ambiente adverso ao crescimento das plantas é propício para o cultivo de arroz irrigado por alagamento, já que esta espécie possui estruturas (aerênquimas) bem

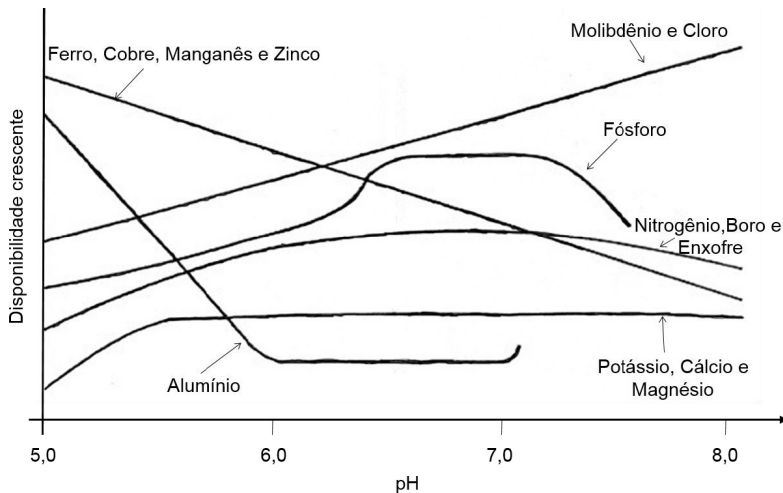
desenvolvidas que permitem a difusão do  $O_2$  da atmosfera até o sistema radicular por dentro da própria planta. Como consequência, a região próxima das raízes (rizosfera) também pode encontrar-se parcialmente oxidada pela difusão do  $O_2$  de dentro da planta para o solo. Nessas condições, o arroz irrigado por alagamento é a principal cultura de grãos economicamente explorada em áreas de várzea, sendo cultivado em monocultivo (arroz seguido de arroz nos anos subsequentes) durante longo período. Uma das principais consequências do monocultivo é o aumento da incidência de plantas invasoras, especialmente de arroz vermelho, de difícil controle por meios convencionais (SOSBAI, 2012). Nesse contexto, a rotação de culturas seria uma opção promissora para o controle dessa invasora e a cultura da soja seria uma das que apresenta maior potencial, tanto por razões técnicas como econômicas.

Entretanto, outras espécies de produção de grãos diferentes do arroz não se adaptam facilmente ao excesso hídrico, sendo a restrição ao  $O_2$  no solo uma das principais limitações ao cultivo da soja nos solos de várzea. A adequação da área de várzea com um apropriado sistema de drenagem pode permitir condições satisfatórias para o crescimento e desenvolvimento da soja, mas outras restrições podem surgir além da falta de  $O_2$  no solo, elas também podem ser prejudiciais ao metabolismo das plantas, especialmente em condições de alagamento temporário, e devem ser consideradas.

## Acidez

No Rio Grande do Sul, a maioria dos solos de várzea são ácidos quando não estão alagados, com pH em água entre 4,5 e 5,4 (Boeni et al., 2010; Vedelago et al., 2012). Nessa faixa de pH, a disponibilidade da maioria dos nutrientes é

reduzida (Figura 1), com exceção dos micronutrientes Fe, Cu, Mn e Zn. Por outro lado, é alta a disponibilidade de Al, que diminui o desenvolvimento das raízes, resultando em menor absorção de água e nutrientes pelas plantas. O Al também prejudica a simbiose para fixação biológica de nitrogênio na soja (Amado et al., 2010). Nessas condições, pode ser recomendada a prática da calagem, que é a aplicação do calcário agrícola como corretivo da acidez do solo, proporcionando um ambiente mais adequado ao desenvolvimento das plantas.



**Figura 1.** Disponibilidade de nutrientes de acordo com o pH do solo. Adaptado de Malavolta, 1981.

Este cenário de solos ácidos não é tão restritivo para o cultivo de arroz irrigado por alagamento tendo em vista que ocorrem várias reações envolvendo transferência de elétrons desencadeadas pela ausência de  $O_2$  no solo. Os microrganismos anaeróbicos utilizam os compostos oxidados do solo como receptores de elétrons no seu metabo-

mo (Sousa et al., 2010), obedecendo a uma sequência, em função da afinidade dos compostos em receber elétrons:  $\text{NO}_3^- > \text{MnO}_2 > \text{Fe}(\text{OH})_3 > \text{SO}_4^{2-} > \text{matéria orgânica}$ .

Assim, mesmo em solos ácidos, com o alagamento, as reações de redução de  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{N}_2$ ,  $\text{MnO}_2$  a  $\text{Mn}^{+2}$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  a  $\text{Fe}^{+2}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  a  $\text{H}_2\text{S}$  consomem  $\text{H}^+$  e o pH do solo aumenta naturalmente, tendendo a se estabilizar entre 6 e 7 após 10 a 20 dias de alagamento (Tabela 1), fenômeno conhecido por “autocalagem”. Nesta situação, ocorre a precipitação do Al tóxico, bem como um aumento do P na solução do solo devido a dissolução de óxidos de Fe (Bissani et al., 2008; Sousa et al., 2010), o que favorece a nutrição do arroz irrigado. Dessa forma, a calagem do solo pode até ser descartada, caso o sistema de cultivo do arroz irrigado for o pré-germinado, já que neste sistema o alagamento do solo ocorre antes da semeadura da cultura (SOSBAI, 2012).

Entretanto, essas condições de maior pH causada pelo alagamento somente perduram enquanto o solo estiver saturado com água, o que não é um ambiente adequado para o cultivo da soja. Baseado nessas considerações, especial atenção deve ser dada a avaliação da acidez em solos de várzea destinados ao cultivo da soja em rotação com arroz irrigado, e se necessária, a prática da calagem para o bom desenvolvimento da cultura.

Os critérios de decisão quanto a necessidade de aplicação de calcário são baseados na análise do solo (pH em água e saturação por bases e por alumínio) e as indicações de doses de corretivo para a cultura da soja em sistemas de manejo (convencional e plantio direto) podem ser encontradas no Manual de Adubação e Calagem para os Estados do RS e SC (CQFS-RS/SC, 2004) ou em outros documentos específicos para recomendações indicadas para esta cultura quando cultivada em outros Estados.



## Disponibilidade de fósforo

Conforme abordado anteriormente, o arroz irrigado por alagamento é beneficiado pelas reações de redução do ferro que liberam fósforo (P) para a solução do solo. Nestas condições, a interpretação da análise química para a interpretação da classe de disponibilidade de P (P extraído pelo método Mehlich-1) dos solos de várzea destinados ao cultivo de arroz irrigado não leva em consideração a textura do solo (teor de argila) (SOSBAI, 2012), como ocorre para cultivos em solos não alagados (CQFS-RS/SC, 2004).

Assim, solos arenosos com baixos teores de P (ex. teor de P = 6,5 mg/dm<sup>3</sup> e teor de argila de 19%) podem ser interpretados em relação a disponibilidade de P como “Alto” se a área for destinada para o cultivo de arroz irrigado, mas estes mesmos solos serão interpretados como “Muito Baixo” em relação a disponibilidade de P se a área for destinada para o cultivo da soja (Tabelas 2 e 3). Conseqüentemente serão necessárias maiores quantidades de fertilizante fosfatado para o cultivo de soja do que seria recomendado para o cultivo do arroz na mesma área do exemplo acima.

Por outro lado, quando o arroz é utilizado em rotação de culturas, é beneficiado pelo residual da adubação efetuada nas culturas de sequeiro, pois o arroz é menos exigente em adubação. Considerando-se o exemplo dado acima para teores de fósforo de 6,5 mg/dm<sup>3</sup>, a interpretação desses teores corresponderia a uma recomendação de adubação de 40 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para o arroz e de 125 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para a soja (expectativa de 3 t/ha). Estimando-se que o efeito residual da adubação fosfatado da soja fosse de 50%, corresponderia a uma quantidade de 62,5 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para o arroz subsequente, que é um valor maior que a dose

recomendada para a cultura nesse caso (40 kg/ha de  $P_2O_5$ ). O raciocínio inverso, ou seja, de aproveitamento do residual da adubação do arroz para a soja não deve ser levado em consideração, pois a quantidade de fósforo disponível após o alagamento é pequena. Mesmo que sobrasse também 50% da adubação realizada no arroz (20 kg/ha de  $P_2O_5$ ), esta quantidade seria muito aquém das necessidades da soja. Nesse caso, a soja na sequência do arroz deve ser tratada como primeiro cultivo, desconsiderando o efeito residual do fósforo aplicado no arroz.

**Tabela 2.** Interpretação da análise de fósforo para fins de recomendação de adubação fosfatada para o arroz irrigado.

Interpretação do teor de P no solo	P extraído por Mehlich-1
	mg/dm <sup>3</sup>
Baixo	≤3,0
Médio	3,1 a 6,0
Alto	6,1 a 12,0
Muito Alto	>12,0

Adaptado de SOSBAL, 2012.

**Tabela 3.** Interpretação da análise de fósforo para fins de recomendação de adubação fosfatada para cultura de grãos (exceto o arroz irrigado) em função do teor de argila do solo.

Interpretação do teor de P no solo	P extraído por Mehlich-1 (interpretado em função do teor de argila do solo)			
	≤20%	21-40%	41-60%	> 60%
	mg/dm <sup>3</sup>			
Muito Baixo	≤7,0	≤4,0	≤3,0	≤2,0
Baixo	7,1 - 14,0	4,1 - 8,0	3,1 - 6,0	2,1 - 4,0
Médio	14,1 a 21,0	8,1 a 12,0	6,1 a 9,0	4,1 a 6,0
Alto	21,1 a 42,0	12,1 a 24,0	9,1 a 18,0	6,1 a 12,0
Muito Alto	>42,0	>24,0	>18,0	>12,0

Adaptado de CQFS-RS/SC, 2004.

Baseado nestas considerações, o manejo adequado da adubação fosfatada em solos de várzea deve ser programado para que o cultivo da soja atinja produtividades satisfatórias e as indicações de adubação também podem ser encontradas no Manual de Adubação e Calagem para os Estados do RS e SC (CQFS-RS/SC, 2004) ou em outros documentos específicos para recomendações indicadas para esta cultura quando cultivada em outros Estados.

### Alterações provocadas por alagamentos temporários

Mesmo com um adequado preparo da área e um sistema de drenagem eficiente para proporcionar condições aeróbicas no solo, é possível que o cultivo da soja em solos de várzea ocorra com períodos de alagamento do solo, devido à possibilidade de elevadas precipitações em curto espaço de tempo e a natureza da baixa condutividade hidráulica desses solos. Esta situação é particularmente importante em áreas não sistematizadas que oportunizam a presença de depressões na superfície do solo, em que a presença da lâmina de água pode perdurar por mais tempo.

Com a inundação, mesmo que temporária, ocorre elevação no pH da solução do solo, bem como o aumento nas concentrações de amônio, ferro e manganês (Tabela 1), devido às transformações de N orgânico em amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e a ausência de oxigênio para a nitrificação, dos óxidos férricos em ferro solúvel ( $\text{Fe}^{+2}$ ) e dos óxidos de manganês em manganês solúvel ( $\text{Mn}^{+2}$ ), respectivamente (Reddy & Patrick, 1984; Marschner, 1995; Liesack et al., 2000; Sousa et al., 2010).

Devido aos aumentos nas concentrações de  $\text{Fe}^{+2}$ , principalmente, e de  $\text{Mn}^{+2}$  na solução do solo, esses elementos ocupam uma proporção considerável dos sítios de troca, deslocando outros cátions para a solução. Assim, após o alagamento há uma tendência de aumentar os teores de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$  na solução do solo (Tabela 1), os quais ficam mais disponíveis às plantas (Bissani et al., 2008). É importante ressaltar que nas áreas de várzea cultivadas com soja as alterações químicas provocadas pelo alagamento temporário não serão tão drásticas como as que ocorrem com a cultura do arroz em alagamento contínuo, pois com o retorno das condições de aeração do solo, as reações de oxirredução e seus efeitos sobre o pH do solo e disponibilidade de nutrientes são revertidas.

#### a) amônio

Em muitos solos aeróbicos, o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e o amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) são as fontes predominantes de N disponíveis às plantas. Entretanto, com o alagamento predomina o  $\text{NH}_4^+$  (Tabela 1), devido a redução do  $\text{NO}_3^-$  (desnitrificação) e ausência de condições para a nitrificação do  $\text{NH}_4^+$ , conforme já abordado anteriormente. A inundação de um solo de várzea (Gleissolo) demonstra que, após 7 dias de inundação, a concentração de  $\text{NH}_4^+$  na solução do solo atinge 3,6 mg/L e 6,5 mg/L com 10 dias de inundação, perfazendo entre 3,2 e 5,8 mM de N (Tabela 1).

Normalmente, a maioria das espécies apresenta melhor desenvolvimento quando supridas com  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ . Porém, poucas espécies (o arroz é um exemplo) apresentam desenvolvimento satisfatório quando o  $\text{NH}_4^+$  é a única ou a fonte predominante de N. As demais desenvolvem sintomas de toxidez quando crescem em níveis de  $\text{NH}_4^+$

moderados para altos (Howitt & Udvardi, 2000; Wirén et al., 2000; Britto et al., 2001). Em plantas de soja com sistema radicular inundado, altas concentrações de N supridas exclusivamente com  $\text{NH}_4^+$  reduzem o desenvolvimento da planta de soja com 5 dias de inundação do sistema radicular, afetando a estatura, a área foliar, a matéria seca das raízes e da parte aérea, quando comparada com planta com sistema radicular inundado com solução nutritiva contendo  $\text{NO}_3^-$  ou com planta não inundada fixando  $\text{N}_2$  (Thomas, 2004; Thomas & Sodek, 2005).

A alternância das condições aeróbicas e anaeróbicas também é indesejável sob o ponto de vista das perdas de N por desnitrificação. Isso ocorre porque quando o solo não está saturado com água a decomposição microbiana produz  $\text{NH}_4^+$  e o ambiente permite a nitrificação até  $\text{NO}_3^-$ , que é o primeiro composto utilizado como aceptor de elétrons caso o solo seja saturado, produzindo predominantemente  $\text{N}_2$  e  $\text{N}_2\text{O}$ , este último um gás de efeito estufa. Assim, parte do N resultante da mineralização da matéria orgânica do solo pode ser perdida, reduzindo a disponibilidade deste elemento às plantas.

### **b) ferro**

A redução do  $\text{Fe}^{+3}$  dos óxidos a  $\text{Fe}^{+2}$  (solúvel), com consequente aumento da disponibilidade do ferro na solução do solo, é a alteração química mais importante que ocorre em solos inundados, tornando a concentração desse nutriente, muitas vezes, tóxica ao desenvolvimento das plantas, mesmo para o arroz irrigado por alagamento.

As alterações que ocorrem em solo inundado são marcadamente afetadas pela química do ferro, em função da grande quantidade de óxidos e hidróxidos de ferro que

podem sofrer redução e da reatividade do ferro com outros compostos do solo. A concentração de  $\text{Fe}^{+2}$  na solução de um solo inundado pode atingir 300 mg/L (Sousa et al., 2010) ou mais, dependendo da composição do solo e do curso da redução após o alagamento. Entretanto, em torno de até 5,5 mg/L de Fe na solução do solo é a quantidade do nutriente requerida para o ótimo desenvolvimento das plantas, que apresentam concentração entre 50 e 100 mg/kg de Fe na matéria seca de folhas (Guerinot & Yi, 1994).

Assim, sintomas de toxidez por ferro podem ser comuns em lavouras de arroz irrigado por alagamento (SOSBAI, 2012) e este elemento pode também se tornar restritivo ao desenvolvimento da soja caso os ciclos de alagamento temporário forem frequentes durante seu cultivo.

### **c) manganês**

O aumento na concentração Mn na solução do solo com a inundação também pode provocar toxidez às plantas de soja, de modo análogo ao abordado para o ferro. A probabilidade de isso acontecer aumenta em solos ácidos, com altos teores de Mn e matéria orgânica, tendo em vista que nessas condições a concentração de Mn na solução do solo pode atingir 90 mg/L após uma ou duas semanas de inundação, diminuindo rapidamente para valores estáveis abaixo de 10 mg/L (Ponnamperuma, 1972; Sousa et al., 2010).

### **d) sódio**

Os solos de várzea do Rio Grande do Sul, de uma maneira geral, estão pouco sujeitos à salinização por sódio ( $\text{Na}^+$ ). Entretanto, problemas de  $\text{Na}^+$  podem ocorrer em solos da Planície Costeira devido à irrigação e a gênese dos

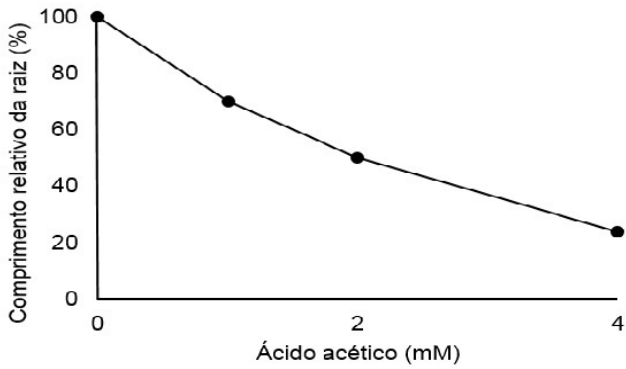
solos, que são formados por sedimentos de origem marinha e flúvio-lacustre (Carmona, 2011).

Existe variabilidade dos genótipos de soja quanto à tolerância ao  $\text{Na}^+$  em condições de hipoxia no solo. O encharcamento do solo por 5 dias, com concentração de 3 mM de  $\text{Na}^+$  na solução (não considerada salina - Colmer & Greenway, 2011) já proporciona a morte de plantas de genótipos de soja (Thomas, 2009).

Baseado nessas considerações, o cultivo de soja na várzea requer atenção para o aumento da disponibilidade de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Mn}^{+2}$  e  $\text{Na}^+$  na solução do solo, tendo em vista que esses cátions podem atingir níveis tóxicos à cultura. No Capítulo 4 são discutidos os efeitos desses cátions no metabolismo da planta de soja. Neste contexto, estratégias voltadas para o manejo da drenagem do solo são fundamentais para o sucesso do cultivo desta espécie em solo de várzea.

#### **e) toxidez por ácidos orgânicos**

Alagamentos temporários ou o excesso de umidade a que os solos de várzeas são submetidos podem ocasionar a formação de sítios anaeróbios e proporcionar a fermentação dos resíduos vegetais produzindo compostos tóxicos às plantas. Dentre esses compostos destacam-se os ácidos orgânicos alifáticos de cadeia curta como os ácidos acético, propiônico e butírico, que podem ser produzidos no solo com poucos dias de alagamento (Sousa et al., 2002). A redução do crescimento radicular é um dos principais efeitos desses ácidos às plantas (Figura 2), o que pode acarretar também menor absorção de nutrientes (Tabela 4).



**Figura 2.** Comprimento relativo do sistema radicular da soja sob diferentes doses de ácido acético.

Adaptado de Schmidt et al., 2010.



**Tabela 4.** Peso de matéria seca (PMS) e concentração de nutrientes na parte aérea de plantas de soja submetidas a diferentes doses de ácido acético.

Doses (mM)	PMS (mg)	P	K	Ca	Mg
		..... g/kg .....			
0	111	9,7	37,1	9,2	5,9
1	111	8,7	34,5	10,2	5,5
2	85	9,2	38,8	3,2	5,8
4	76	6,9	27,7	3,5	5,0

Adaptado de Schmidt et al., 2010.

Os efeitos fisiológicos da toxidez pelos ácidos orgânicos estão relacionados com a inibição da divisão celular no sistema radicular que está diretamente em contato com os ácidos, sendo esta a provável razão principal para o menor crescimento radicular. Aeração interna, transporte vascular, fotossíntese e respiração, além da degradação das membranas celulares e consequente perda do conteúdo celular para o meio, são, também, processos fisiológicos afetados pelos ácidos orgânicos (Armstrong & Armstrong, 2001).

As chances de ocorrência de problemas de toxidez por ácidos orgânicos são maiores quando resíduos vegetais são manejados (incorporados ou dessecados) imediatamente antes da semeadura da soja, se esta for seguida de período com elevada precipitação, que provoque saturação ou alagamento temporário do solo. Deve ser evitada a semeadura da soja em áreas de plantio direto com elevada umidade, pois o disco da semeadora pode empurrar resíduos vegetais para o fundo do sulco de semeadura junto à semente. O excesso de material orgânico aliado à saturação do solo é propício para a produção de ácidos orgânicos que podem prejudicar as plântulas de soja no início de seu desenvolvimento.

## Fixação biológica de nitrogênio

Embora a cultura da soja seja beneficiada da fixação biológica de nitrogênio (FBN), esse processo no solo ocorre em condições aeróbicas, sendo desfavorecido em cultivos com alternância de condições de umidade (solo seco, solo saturado). Em solos mal drenados, as bactérias responsáveis pela FBN encontram dificuldades em infectar as raízes das plantas. Isso ocorre devido à baixa concentração de  $O_2$ , causando baixa nodulação ou nódulos menos eficientes (James & Crawford, 1998). Os efeitos, possivelmente, são mais evidentes em cultivares de ciclo precoce do que em cultivares de ciclo longo, tendo em vista o tempo de cultivo e as etapas envolvidas na FBN.

## Considerações finais

Os solos de várzea são amplamente utilizados para o cultivo de arroz irrigado por alagamento e a cultura da soja é uma das mais promissoras para fazer parte de um sistema de rotação com o arroz. Entretanto, as características dos solos, as alterações decorrentes do alagamento, mesmo que temporário, e as necessidades nutricionais diferentes dessas duas culturas alteraram o planejamento da calagem e da adubação para o cultivo destas duas espécies na mesma área. Também é requerido um adequado sistema de drenagem do terreno. O conhecimento das condições do solo de várzea e as exigências específicas do arroz e da soja são fundamentais para o adequado planejamento de manejo visando altas produtividades de ambas as culturas cultivadas em rotação.

Apesar de não ser uma adversidade de natureza química, outro aspecto importante a ser considerado é que o alagamento provoca a desagregação da estrutura da camada superficial do solo e uma acomodação das partículas quando o solo seca, aumentando a coesão entre elas. Dessa forma, é esperada uma maior resistência mecânica do solo à germinação e ao crescimento das raízes de soja quando cultivada em rotação com o arroz irrigado, o que pode requerer cuidados específicos e intervenções adequadas nas operações e equipamentos de preparo do solo e de semeadura.

## Referências bibliográficas

AMADO, T.J.C.; SCHLEINDWEIN, J.A., FIORIN, J.E. 2010. Manejo do solo visando à obtenção de elevados rendimentos de soja sob sistema plantio direto. In: THOMAS, A.L.; COSTA, J.A. (org.) - **Soja: manejo para alta produtividade de grãos**. Porto Alegre: Evangraf. p.35-112.

ARMSTRONG, J.; ARMSTRONG, W. 2001. Rice and *Phragmites*: effects of organic acids on growth, root permeability, and radial oxygen loss to the rhizosphere. **American Journal of Botany**, v.88, p.1359-1370.

BISSANI, C.A.; GIANELLO, C.; CAMARGO, F.A.O.; TEDESCO, M.J. 2008. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Metrópole. 344p.

BOENI, M.; ANGHINONI, I.; GENRO JR, S.A.; FILHO, B.D.O. 2010. **Evolução da fertilidade dos solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul**. Cachoeirinha: IRGA. Divisão de Pesquisa. 38 p. (Boletim Técnico, 9).

BRITTO, D.T.; SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M.; KRONZUCKER, H.J. 2001. Futile transmembrane  $\text{NH}_4^+$  cycling: A cellular hypothesis

to explain ammonium toxicity in plants. **Proceedings of the National Academy of Science of USA**, v.98, p.4255-4258.

CARMONA, F.C. 2011. **Salinidade da água e do solo e sua influência sobre o arroz Irrigado**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, tese de doutorado. 114p.

COLMER, T.D.; GREENWAY, H. 2011. Ion transport in seminal and adventitious roots of cereals during O<sub>2</sub> deficiency. **Journal of Experimental Botany**, v.6, p.39-57.

CQFS-RS/SC. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. 2004. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre - RS: SBCS-NRS/EMBRAPA-CNPT. 400p.

GUERINOT, M.L.; YI, Y. 1994. Iron: Nutritious, noxious, and not readily available. **Plant Physiology**, v.104, p.815-820.

HOWITT, S.M.; UDVARDI, M.K. 2000. Structure, function and regulation of ammonium transporters in plants. **Biochimica and Biophysica Acta**, v.1465, p.152-170.

JAMES, E.; CRAWFORD, R. 1998. Effect of oxygen availability on nitrogen fixation by two *Lotus* species under flooded conditions. **Journal of Experimental Botany**, v. 49, p. 599-609.

LIESACK, W.; SCHNELL, S.; REVSBECH, N.P. 2000. Microbiology of flooded rice paddies. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 24, p.625-645.

MALAVOLTA, E. 1981. **Manual de química agrícola - adubos e adubação**. 3. ed. São Paulo: Ceres. 596p.

MARSCHNER, H. 1995. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press. 889p.

PAULETTO, E.A.; SOUSA, R.O.; GOMES, A.S. 1998. Caracterização e manejo de solos de várzea cultivados com arroz irrigado. In: **Produção de arroz irrigado**. Peske,S.T.; Nedel, J.L.; Barros, A.C.S.A. (ed.). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS. 659p.

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

REDDY, K.R.; PATRICK, W.H. 1984. Nitrogen transformations and loss in flooded soils and sediments. **CRC Critical Reviews in Environmental Control**, v.13, p. 273-309.

SCHMIDT, F.; FORTES, M.A.; BORTOLON, L.; BORTOLON, E.S.O.; SOUSA, R.O. 2010. Nível crítico de toxidez do ácido acético em culturas alternativas para solos de várzea. **Ciência Rural**, v.40, p.1068-1074.

SOSBAI. SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. 2012. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Porto Alegre, SOSBAI. 176p.

SOUSA, R.O.; PERALBA, M.C.R.; MEURER, E.J. 2002. Short chain organic acids dynamics in solution of flooded soil treated with ryegrass residues. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.33, p.779-787.

SOUSA, S.; CAMARGO, F.A.O.; VAHL, L.C. 2010. Solos Alagados (Reações de redox). In: **Fundamentos de química de solo**. Meurer, E.J. (ed.). Porto Alegre: Gênese. p.185-209.

THOMAS, A. L. 2009 . Potencialização da absorção de sódio pelo amônio em soja com sistema radicular inundado. In: XXXVII Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul, 2009, Porto Alegre - RS. **Programa e resumos da XXXVII Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul**. Porto Alegre - RS : UFRGS.

THOMAS, A.L. 2004. **Modificações morfológicas e assimilação de nitrogênio em plantas de soja (*Glycine max*) com sistemas radiculares sob deficiência de O<sub>2</sub>**. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, tese de doutorado. 76p.

THOMAS, A.L.; SODEK, L. 2005. Development of the nodulated soybean plant after flooding of the root system with different sources of nitrogen. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.17, p.291-297.

VEDELAGO, A.; CARMONA, F.C.; BOENI, M.; LANGE, C.E.; ANGHINONI, I. 2012. **Fertilidade e aptidão de uso dos solos para cultivo da soja nas regiões arrozeira do Rio Grande do Sul**. Cachoeirinha: IRGA. Divisão de Pesquisa. 48 p. (Boletim Técnico, 12).

WIRÉN, N. VON; GAZZARRINI, S.; GOJON, A; FROMMER, W.B. 2000. The molecular physiology of ammonium uptake and retrieval. **Current Opinion in Plant Physiology**, v.3, p.254-261.