

ÁCIDOS ORGÂNICOS NA SOLUÇÃO DE UM GLEISSOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO COM ARROZ IRRIGADO⁽¹⁾

**Humberto Bohnen⁽²⁾, Leandro Souza da Silva⁽³⁾, Vera Regina
Mussoi Macedo⁽⁴⁾ & Elio Marcolin⁽⁴⁾**

RESUMO

O alagamento do solo para o cultivo do arroz irrigado promove condições anaeróbias que favorecem a produção de ácidos orgânicos de cadeia curta, os quais podem ser tóxicos para a cultura. Entretanto, a quantidade produzida destes ácidos depende, dentre outros fatores, do sistema de manejo empregado para o cultivo do arroz. Para avaliar a formação de ácidos orgânicos durante o cultivo do arroz irrigado nos sistemas: convencional, semeadura direta e pré-germinado sobre resíduos de azevém, foram instalados coletores de solução do solo em duas profundidades (2,5 e 5,0 cm) em parcelas de campo e retiradas amostras da solução do solo aos 3, 5, 9, 11 e 17 dias de alagamento. Nestas amostras, foram determinados os teores dos ácidos: acético, butírico e propiônico por cromatografia gasosa. Independentemente da profundidade de coleta, os maiores teores dos três ácidos avaliados ocorreram no sistema de semeadura direta, em comparação com o sistema convencional e pré-germinado. Entretanto, as diferenças significativas entre os sistemas perduraram, no máximo, até os primeiros 11 dias de alagamento. Teores mais elevados de ácidos orgânicos foram encontrados aos 5,0 cm de profundidade em comparação com 2,5 cm em todos os sistemas, com picos no quinto dia de alagamento. O ácido acético foi o ácido produzido em maior quantidade, independentemente do sistema de cultivo de arroz.

Termos de indexação: ácidos: acético, butírico e propiônico; sistemas: convencional, pré-germinado e semeadura direta, fermentação, decomposição anaeróbia.

⁽¹⁾ Trabalho apresentado como resumo na IV Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo, em Porto Alegre (RS), de 14 a 16 de outubro de 2002. Recebido para publicação em agosto de 2003 e aprovado em fevereiro de 2005.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, PhD., Consultor do Instituto Rio Grandense do Arroz – IRGA Estação Experimental do Arroz. CEP 94930-030 Cachoeirinha (RS). E-mail: humbertobohnen@uol.com.br

⁽³⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. CEP 97105-900 Santa Maria (RS). E-mail: leandro@smail.ufsm.br

⁽⁴⁾ Pesquisador do IRGA. E-mail: solos-eea@irga.rs.gov.br

SUMMARY: *ORGANIC ACIDS IN THE SOIL SOLUTION OF A GLEY SOIL CROPPED WITH LOWLAND RICE UNDER DIFFERENT SYSTEMS*

The production of short-chain organic acids is favoured by anaerobic conditions in flooded soil during rice cultivation and they can be toxic for the crop. However, the amount of acids formed depends on the system used for the rice cultivation. In order to measure the amount and type of organic acids formed in three different systems (conventional tillage, no tillage and pre-germinated planting), soil solution samples were collected from two depths (2.5 and 5.0 cm) after 3, 5, 9, 11, and 17 days of flooding. The soil solutions were analysed for acetic, butyric and propionic acids by gas chromatography. Acid concentrations at both depths were higher in the no-tillage system, but significant differences were only observed during the first 11 days of flooding. In all three systems, higher organic acid concentrations were detected at a depth of 5.0 cm than at 2.0 cm, and they peaked at the 5th day of flooding. Acetic acid was produced in higher concentration than propionic and butyric acids in all three rice cultivation systems.

Index terms: acetic, butyric and propionic acids; conventional tillage, pre-germinated planting no tillage, systems; fermentation; anaerobic decomposition.

INTRODUÇÃO

Com o alagamento do solo e esgotamento do oxigênio molecular, inicia-se um processo anaeróbio de decomposição dos restos culturais, com formação de substâncias orgânicas que podem ser tóxicas para as plantas, dependendo da sua qualidade e quantidade (Ponnamperuma, 1972). Dos compostos formados pelo metabolismo anaeróbio, destacam-se os ácidos orgânicos alifáticos de cadeia curta, tais como: o acético, o propiônico e o butírico (Stevenson, 1967), que têm sido detectados em solos do Rio Grande do Sul utilizados para o cultivo de arroz sob alagamento (Sousa, 2001). O ácido acético tem sido encontrado em maiores concentrações, seguido do propiônico e do butírico (Camargo et al., 2001; Sousa 2001).

De maneira geral, os ácidos orgânicos de cadeia curta causam danos principalmente ao sistema radicular, reduzindo seu crescimento e prejudicando o estabelecimento de plântulas (Rao & Mikkelsen, 1977; Camargo et al., 1993; Sousa, 2001; Agostinetti et al., 2001). Segundo Camargo et al. (2001), os ácidos orgânicos provocam efeitos não só sobre a germinação de sementes, alongamento radicular e matéria seca de raízes, peso e altura de plântulas, mas também na absorção de nutrientes. Também já foi constatado que estes ácidos podem ser tóxicos para as plantas de arroz na concentração de apenas um milimol por litro (Rao & Mikkelsen, 1977).

Os ácidos orgânicos são produzidos pelos microrganismos anaeróbios do solo e, dessa forma, os fatores que influem na atividade microbiana no solo devem alterar a produção desses ácidos e a conseqüente liberação para a solução do solo, com reflexos no efeito tóxico às plantas. Segundo Neue et al. (1997), temperaturas entre 30 e 35 °C, solos com alta fertilidade e pH próximo da neutralidade são as condições que mais favorecem a decomposição da maioria dos resíduos culturais presentes no solo. Entretanto, a quantidade e a forma de distribuição

dos resíduos culturais, proporcionadas durante o preparo do solo, dependendo dos diferentes sistemas de cultivo de arroz, também devem influenciar o processo de decomposição dos resíduos e, conseqüentemente, as concentrações de ácidos produzidas. Os efeitos da quantidade de resíduos orgânicos sobre as quantidades de ácidos produzidos já são bem conhecidos na literatura (Camargo et al., 1993; Camargo et al., 2001; Sousa, 2001). Já os efeitos da disposição do resíduo no solo foram inicialmente avaliados por Sousa (2001) em casa de vegetação, indicando sua importância para a determinação das quantidades de ácidos produzidas em diferentes sistemas de cultivo.

O arroz irrigado pode ser cultivado sob diferentes formas (IRGA, 2001). No sistema convencional, ocorre o preparo do solo com total revolvimento da camada superficial e entrada de água somente 20 a 40 dias após a sementeira. No sistema pré-germinado, o solo também é revolvido, mas a entrada de água ocorre simultaneamente ao preparo. Já no sistema de sementeira direta, os resíduos culturais permanecem na superfície, onde é feito apenas um sulco para a sementeira, e a entrada de água ocorre de maneira semelhante à do sistema convencional. Em cada uma destas situações, o material vegetal do cultivo anterior ao arroz é disposto de diferentes formas e permanece sob diferentes graus de oxidação dependendo da mobilização ou não do solo e do momento do alagamento da lavoura, conforme o sistema de cultivo adotado pelo produtor. Além disso, estes três diferentes sistemas de cultivo proporcionam condições distintas à intensidade do processo de oxirredução que ocorre com o alagamento do solo e, dessa forma, devem influenciar significativamente a produção de ácidos orgânicos.

Considerando seus efeitos sobre o estabelecimento da cultura do arroz irrigado, o objetivo deste trabalho foi avaliar a concentração dos ácidos orgânicos de cadeia curta na solução do solo de acordo com os

sistemas de cultivo do arroz, em duas profundidades e ao longo do tempo de alagamento do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Estação Experimental do Arroz-EEA do Instituto Rio Grandense do Arroz-IRGA, município de Cachoeirinha (RS), de outubro de 2001 a março de 2002. Utilizou-se um experimento de campo com três sistemas de cultivo de arroz irrigado: convencional, pré-germinado e semeadura direta que vinha sendo realizado por sete anos em um Gleissolo Háplico Ta distrófico (Embrapa, 1999). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com três repetições. Cada parcela experimental apresentava uma área de 1.200 m² separadas entre si com taipas.

Durante o período de inverno de 2001, toda a área experimental foi mantida com azevém, o qual foi dessecado com glyphosate (Roundup® na dosagem de 5 L ha⁻¹) antes do cultivo do arroz. A quantidade de massa de azevém acumulada na superfície do solo após sua dessecação foi de 3,5 Mg ha⁻¹, em média, para os três sistemas. Em 19/11/2001, em toda a área foi semeado o cultivar de arroz IRGA 422CL na densidade de 120 kg ha⁻¹, em linhas espaçadas entre si com 17,5 cm e a lanço para o sistema pré-germinado. O arroz foi adubado com 280 kg ha⁻¹ da fórmula 2-20-20 (N, P₂O₅ e K₂O) na semeadura e com uréia em cobertura nas dosagens equivalentes a 100 kg ha⁻¹ de N, quando o arroz encontrava-se no estágio V4 e 40 kg ha⁻¹ de N no estágio V8.

Após a semeadura do arroz, mas antes da entrada da água, foram enterrados no solo dispositivos para a coleta da solução do solo em um ponto aleatório dentro de cada parcela. Os coletores foram compostos por tubos de PVC de 25 mm de diâmetro por 4 cm de comprimento com as extremidades cobertas com tela de nylon com malha de 0,1 mm (Figura 1). Dois destes coletores foram presos em um outro cano de PVC de 25 mm de diâmetro e 60 cm de comprimento para serem enterrados no solo de modo que ficassem na profundidade de 2,5 e 5,0 cm. Na parte central do coletor, foi afixado um tubo de vidro que se estendeu até à superfície do solo com a abertura da extremidade superior fechada com resina de silicone para impedir a difusão de oxigênio para o interior do tubo. Dezoito dias após a emergência do arroz, foi realizado o alagamento das parcelas com a aplicação de uma lâmina de água de aproximadamente 10 cm de profundidade.

Aos 3, 5, 9, 11 e 17 dias de alagamento, foram extraídas amostras da solução do solo (entre as sete e dez horas da manhã) nos três sistemas de cultivo por meio de sucção usando uma seringa com agulha inserida na extremidade superior do tubo de vidro. Em todas as coletas, foi medida a temperatura do solo aos 5 cm de profundidade, que variou apenas de 21 a 24 °C durante o período avaliado, o que mostra a pouca interferência da variação da temperatura do solo na produção dos ácidos nesse período. Após a extração de aproximadamente 15 mL de solução, as amostras foram imediatamente filtradas com filtro Versapor® de 0,2 µm e uma alíquota de 5 mL da solução foi colocada em frascos

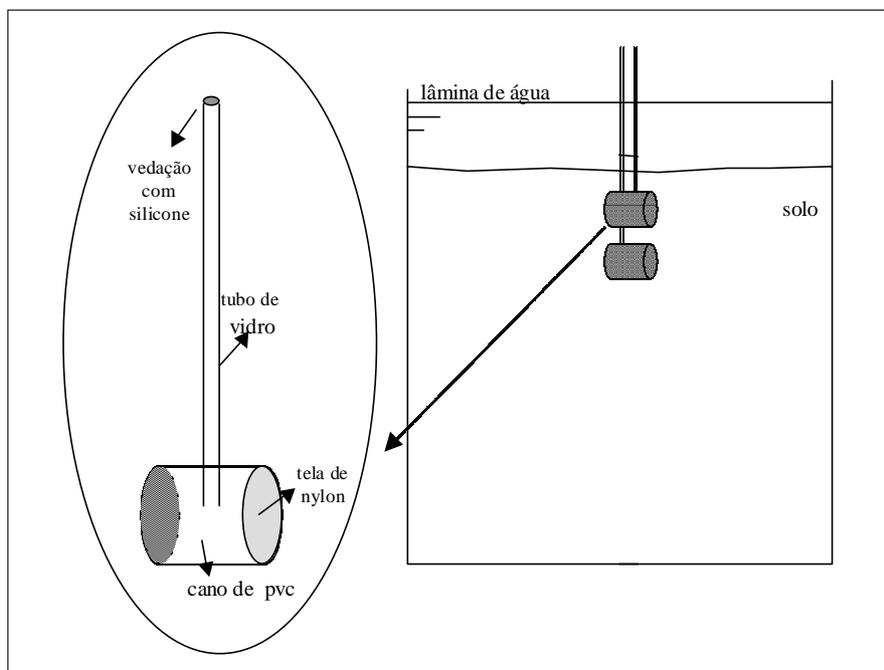


Figura 1. Representação esquemática do sistema de coleta da solução do solo.

de vidro juntamente com ácido fórmico (0,3 mL) para manter um pH menor que 2,0, sendo os frascos hermeticamente fechados para conservar as amostras até à determinação dos ácidos em laboratório.

Nestas amostras, foram analisadas as concentrações dos ácidos: acético, propiônico e butírico por cromatografia gasosa nos laboratórios do IPH-UFRGS, em aparelho Varian 3700 com detector de ionização de chama e coluna empacotada de 0,90 m de comprimento e 0,2 cm de diâmetro interno, com fase estacionária de 0,3 % de Carbowax 20M e 0,1 % de H₂PO₄ em Carbowax C (60–80 mesh), conforme procedimento descrito por Sousa et al. (2002).

Os resultados foram analisados estatisticamente por meio da análise de variância ($P < 0,05$), considerando o delineamento completamente casualizado. Os tratamentos foram arranjados em fatorial considerando os três sistemas de cultivo de arroz x duas profundidades amostradas e 5 períodos de coleta das amostras. As médias das quantidades dos ácidos produzidos em cada sistema ao longo do tempo de avaliação foram comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As concentrações dos três ácidos estudados foram significativamente maiores ($P < 0,05$) no sistema de semeadura direta do que no sistema convencional e no pré-germinado para as primeiras coletas (Figuras 2, 3 e 4), apesar de o tipo e a quantidade de resíduo orgânico terem sido semelhantes nos três sistemas. Isto pode ser atribuído ao fato de terem as avaliações de ácidos produzidos ocorrido nos primeiros 5 cm de profundidade. Observou-se que, no sistema de semeadura direta, a palha permaneceu acumulada justamente na superfície do solo, enquanto nos dois outros sistemas ela foi misturada no perfil, em decorrência das operações de preparo, favorecendo a oxidação de parte do carbono em condições aeróbicas e, ou, diluindo as quantidades dos ácidos formados em condições anaeróbicas na camada em que o solo foi mobilizado.

Para todos os ácidos e profundidades, as concentrações máximas (69 e 118 mg L⁻¹ para o acético, 18 e 34 mg L⁻¹ para o propiônico e 7 e 14 mg L⁻¹ para o butírico aos 2,5 e 5,0 cm respectivamente) ocorreram sempre ao redor do quinto dia de alagamento, apresentando, após 11 dias de alagamento, valores semelhantes nos três sistemas (aproximadamente 8 mg L⁻¹ para o acético, 1 mg L⁻¹ para o propiônico e 0,5 mg L⁻¹ para o butírico). A partir do terceiro dia de alagamento, os teores de ácido acético aos 5,0 cm de profundidade atingiram a concentração ao redor de 120 mg L⁻¹, valor que tem sido relatado como suficiente para causar redução no crescimento radicular de plantas

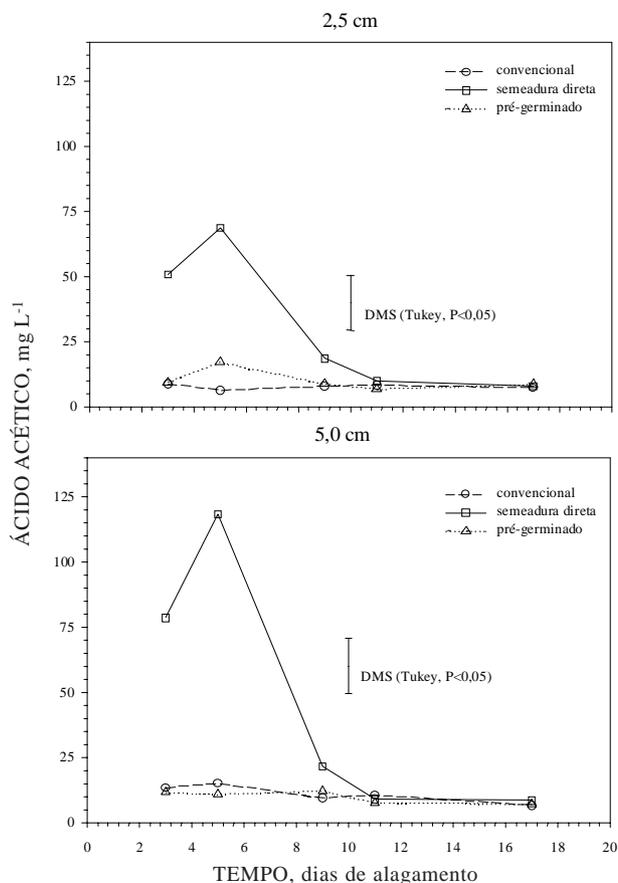


Figura 2. Concentração de ácido acético na solução de um Gleissolo, em duas profundidades (2,5 e 5,0 cm), em três sistemas de cultivo de arroz durante 17 dias de alagamento do solo.

de arroz (Rao & Mikkelsen, 1977; Camargo et al., 1995; Sousa & Bortolon, 2002), sem considerar a possibilidade de interações com a presença dos outros ácidos. No trabalho de Sousa & Bortolon (2002), reduções de até 30 % no crescimento radicular e 18 % em plântulas de arroz foram observadas em concentrações acima de 180 mg L⁻¹ de ácido acético em solução nutritiva. Entretanto, segundo Wallace & Whitehand (1980), é provável que exista sinergismo entre os ácidos, podendo ocorrer efeitos adversos às plantas quando existem simultaneamente ou mesmo quando a concentração individual é relativamente mais baixa do que a considerada tóxica para cada ácido isoladamente.

Dentre os ácidos, o acético foi liberado em maiores quantidades (Figura 2), conforme já tem sido relatado na literatura (Camargo et al., 2001; Sousa 2001), provavelmente por causa da decomposição mais lenta deste ácido em relação aos outros de cadeia mais longa (Watanabe, 1984), ou pela possibilidade de os ácidos: propiônico e butírico serem utilizados por alguns microrganismos para produção do ácido acético (Yoshida, 1975). A acetogênese (conversão de ácidos orgânicos com mais de dois carbonos para ácido acético) é uma etapa

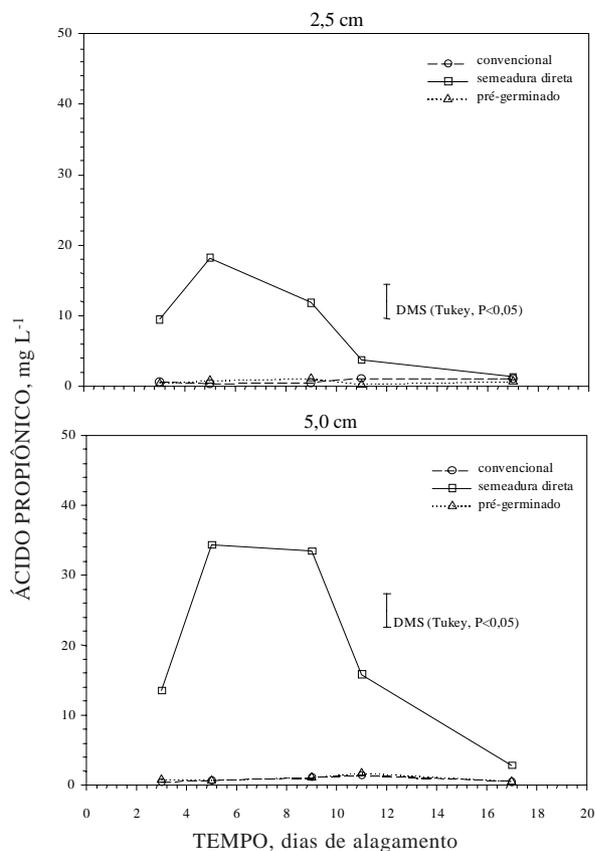


Figura 3. Concentração de ácido propiônico na solução de um Gleissolo, em duas profundidades (2,5 e 5,0 cm), em três sistemas de cultivo de arroz durante 17 dias de alagamento do solo.

intermediária entre a produção de ácidos orgânicos e a formação de metano, pois não é possível que o ácido butírico e o propiônico sejam diretamente fermentados a metano. Sousa (2001), trabalhando em condições de casa de vegetação com dois solos do Rio Grande do Sul (Planossolo e Plintossolo) e com a adição de resíduo de azevém na superfície do solo, encontrou concentrações máximas de ácido acético de até 1.000 mg L⁻¹, e 300 mg L⁻¹ para os ácidos propiônico e butírico, aproximadamente 14 dias de alagamento. Esses valores relativamente mais elevados podem estar relacionados com o fato de que os vasos não permitem a difusão dos ácidos no perfil do solo, o que deve ocorrer em condições de campo.

As concentrações dos três ácidos sempre foram maiores aos 5 cm de profundidade, quando comparadas com a coleta aos 2,5 cm, especialmente para a semeadura direta, em que os restos culturais foram dispostos na superfície (Figuras 2 a 4). Isto deveu-se, provavelmente, às condições de menor disponibilidade de oxigênio molecular nesta profundidade, que pode aumentar a intensidade das reações de redução e a produção de ácidos orgânicos, independentemente da distribuição dos resíduos das plantas. Outra possibilidade para este comportamento está relacionada com o fato de que é justamente aos

5 cm de profundidade que se encontra a maior quantidade de raízes, as quais podem liberar compostos orgânicos de fácil decomposição pelos microrganismos do solo e que servem de matéria-prima para a produção de ácidos orgânicos. É provável que em profundidades superiores a 5 cm, mesmo no sistema de semeadura direta, os teores de ácidos sejam menores que os encontrados nas duas camadas avaliadas em virtude da menor disponibilidade de material orgânico, como já foi relatado por Sousa (2001).

Os ácidos, propiônico e butírico, acompanharam as oscilações temporais e espaciais do ácido acético, mas seus teores foram sempre mais baixos. A diminuição na concentração dos ácidos orgânicos após duas semanas de alagamento deveu-se, provavelmente, à conversão dos ácidos orgânicos a metano (Yoshida, 1975) como consequência das reações de redução no ambiente anaeróbico.

Outros estudos precisam ser efetuadas para determinar a produção de ácidos orgânicos de cadeia curta em diferentes sistemas de cultivo de arroz irrigado com diferentes quantidades e tipos de resíduos, bem como seus reflexos sobre a

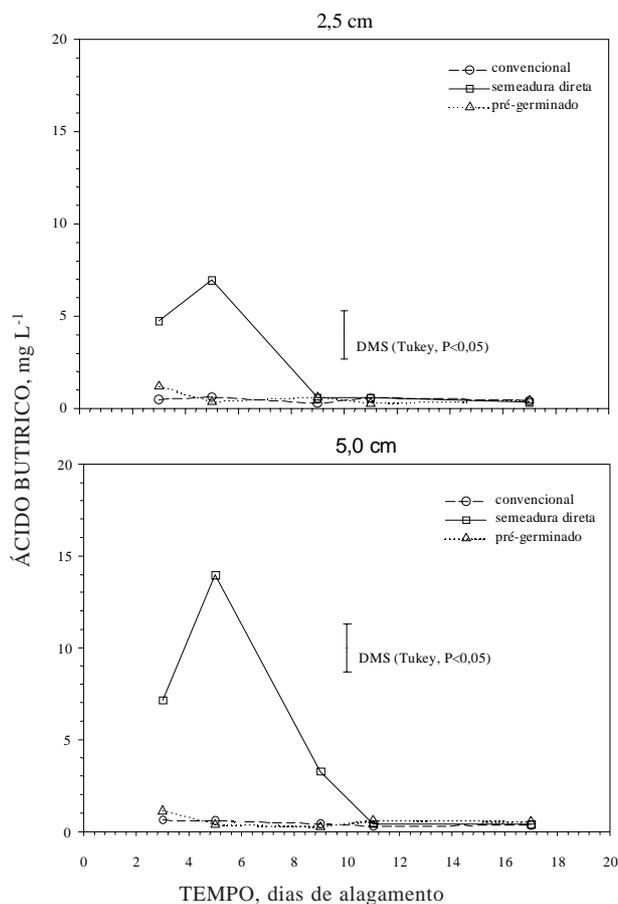


Figura 4. Concentração de ácido butírico na solução de um Gleissolo, em duas profundidades (2,5 e 5,0 cm), em três sistemas de cultivo de arroz durante 17 dias de alagamento do solo.

produtividade do arroz, a fim de se estabelecerem estratégias de manejo mais adequadas para minimizar seus efeitos tóxicos à cultura.

CONCLUSÕES

1. No sistema de semeadura direta para o cultivo do arroz irrigado por inundação, foram produzidas maiores quantidades de ácidos orgânicos de cadeia curta, em relação às quantidades dos sistemas: convencional e pré-germinado.

2. O ácido acético foi produzido em maior quantidade do que o ácidos propiônico e o butírico, independentemente do sistema de cultivo do arroz.

LITERATURA CITADA

- AGOSTINETTO, D.; FLECK, N.G.; BALBINOT, A.A.; RIZZARDI, M.A.; COSTA, E.L.N. & GUMA, J.M.C. Ácidos orgânicos que se formam durante a decomposição da palha no solo afetam os processos de germinação e de crescimento inicial das plântulas da cultivar de arroz IRGA-417. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 2., Porto Alegre, 2001. Anais. Porto Alegre, Instituto Rio Grandense do Arroz, 2001. p.894.
- CAMARGO, F.A.O.; SANTOS, G.A. & ROSSIELO, R.O.P. Efeito dos ácidos acético e butírico sobre o crescimento de plântulas de arroz. *Pesq. Agropec. Bras.*, 28:1011-1018, 1993.
- CAMARGO, F.A.O.; SANTOS, G.A. & ROSSIELO, R.O.P. Incorporação de palha de arroz em um gleissolo e efeitos no rendimento da cultura do arroz irrigado. *Pesq. Agropec. Bras.*, 30:983-987, 1995.
- CAMARGO, F.A.O.; ZONTA, E.; SANTOS, G.A. & ROSSIELO, R.O.P. Aspectos fisiológicos e caracterização da toxidez de ácidos orgânicos voláteis em plantas. *Ci. Rural*, 31:523-529, 2001.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, 1999. 412p.
- INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ - IRGA. Arroz irrigado: recomendações técnicas para o Sul do Brasil. Porto Alegre, 2001. 128p.
- NEUE, H.U.; GAUT, J.L. & WANG, Z.P. Carbon in tropical wetlands. *Geoderma*, 79:163-185, 1997.
- PONNAMPERUMA, F.N. The chemical of submerged soils. *Adv. Agron.*, 24:29-96, 1972.
- RAO, D.N. & MIKKELSEN, D.S. Effect of acetic, propionic, and butyric acids on young rice seedlings' growth. *Agron. J.*, 69:923-928, 1975.
- SOUSA, R.O. Oxirredução em solos alagados afetada por resíduos vegetais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 164p. (Tese de Doutorado)
- SOUSA, R.O. & BORTOLON, L. Crescimento radicular e da parte aérea do arroz (*Oryza sativa* L.) e absorção de nutrientes, em solução nutritiva com diferentes concentrações de ácido acético. *R. Bras. Agroc.*, 8:231-235, 2002.
- SOUSA, R.O.; PERALBA, M.C.R. & MEURER, E.J. Short chain organic acid dynamics in solution of flooded soil treated with ryegrass residues. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 33:779-787, 2002.
- STEVENSON, F.J. Organic acids in soil. In: McLAREN, A.D. & PETERSON, G.H., eds. *Soil biochemistry*. Arnold, 1967. p.119-146.
- YOSHIDA, T. Microbial metabolism of flooded soil. *Soil Biochem.*, 3:83-122, 1975.
- WALLACE, J.M. & WHITEHAND, L.C. Adverse synergistic effects between acetic, propionic, butyric and valeric acids on the growth of wheat seedling roots. *Soil Biol. Biochem.*, 12:445-446, 1980.
- WATANABE, I. Anaerobic decomposition of organic matter in flooded rice soil. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. *Organic matter and rice*. Los Baños, 1984. p.237-258.