

SEÇÃO II - QUÍMICA E MINERALOGIA DO SOLO

SUPRIMENTO DE POTÁSSIO E MINERALOGIA DE SOLOS DE VÁRZEA SOB CULTIVOS SUCESSIVOS DE ARROZ IRRIGADO⁽¹⁾

Thiago Isquierdo Fraga⁽²⁾, Silvio Aymone Genro Junior⁽³⁾, Alberto
Vasconcellos Inda⁽⁴⁾ & Ibanor Anghinoni⁽⁵⁾

RESUMO

A baixa capacidade de estimar a disponibilidade de K para o arroz irrigado, dos diferentes métodos, decorre da alta difusão desse nutriente em solos alagados e do suprimento de formas não trocáveis à planta pelo solo. Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a capacidade de suprimento de formas trocáveis e não trocáveis de K por solos de várzea, com diferentes características mineralógicas, em cultivos sucessivos de arroz irrigado. O trabalho foi realizado em vasos (12 dm³), em casa de vegetação, utilizando três tipos de solo (Planossolo Háptico, Gleissolo Háptico e Neossolo Litólico) representativos de diferentes regiões do Rio Grande do Sul, caracterizados quanto à textura e à mineralogia, onde ocorre baixa resposta à adubação potássica. Esses solos foram submetidos à adição ou não de K e a três cultivos sucessivos de arroz irrigado. As plantas foram cultivadas até o florescimento, com determinação do teor de K no tecido vegetal e do teor desse nutriente trocável no solo (Mehlich-1) antes e após os cultivos. Os solos se diferenciaram na capacidade de suprir o arroz irrigado com K, havendo uma contribuição importante de formas não trocáveis. A capacidade de suprimento em curto prazo (primeiro cultivo) foi condicionada pelo teor de K trocável do solo e com o passar do tempo (segundo e terceiro cultivos), predominantemente pela saturação de K na capacidade de troca de cátions ($K/CTC_{pH\ 7,0}$) e pelo suprimento de formas não trocáveis, especialmente de feldspatos potássicos, esmectita e esmectita com hidróxi-Al entrecamadas, em quantidades distintas nas frações analisadas.

Termos de indexação: *Oryza sativa*, disponibilidade e absorção de potássio, formas não trocáveis

⁽¹⁾ Projeto financiado pelo CNPq e Instituto Rio Grandense do Arroz – IRGA. Recebido para publicação em maio de 2008 e aprovado em março de 2009.

⁽²⁾ Acadêmico da Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Av. Bento Gonçalves 7712, CEP 91540-000 Porto Alegre (RS). Bolsista PIBIC-CNPq. E-mail: isquierdofraga@yahoo.com.br

⁽³⁾ Engenheiro-Agrônomo, M.Sc., Pesquisador IRGA. E-mail: silvio-genro@irga.rs.gov.br

⁽⁴⁾ Professor do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia, UFRGS. E-mail: alberto.inda@ufrgs.br

⁽⁵⁾ Professor do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia, UFRGS. Bolsista do CNPq. E-mail: ibanghi@ufrgs.br

SUMMARY: POTASSIUM SUPPLY AND MINERALOGY OF LOWLAND SOILS UNDER CONSECUTIVE CROPPING OF FLOODED RICE

The low capacity to predict potassium (K) availability for rice by different evaluation methods is due to the greater potassium diffusion in the flooded soil solution and to potassium supply through non-exchangeable forms in the soil. The purpose of this study was to evaluate the supply capacity of exchangeable and non-exchangeable potassium forms by flooded soils with different characteristics, in successive rice crops. Rice plants were grown in a greenhouse in 12 dm³ pots in three soils (Typic Hapludales, Aquic Udorthents and Lithic Udorthents) that represent soils from different rice producing regions in the state of Rio Grande do Sul (Brazil), where the yield response to potassium fertilization is low. Soils were fertilized with potassium in three successive rice crops. Soil texture and mineralogy were characterized and rice plants were grown until flowering. Potassium was determined in the plant tissues and in exchangeable form in the soil, before and after rice cultivation. It was found that the soils differed in terms of potassium supply capacity to flooded rice and the contribution of non-exchangeable forms was significant. The short-term supply capacity (first crop) was related to the exchangeable form, and in the long term (2nd and 3rd crop) mostly by the potassium saturation ratio in the cation exchange capacity ($K/CEC_{pH\ 7,0}$) and by non-exchangeable forms, particularly, potassium feldspars, smectites and smectite interlayered with Al-hydroxy, found in different amounts in the analyzed fractions.

Index terms: Oryza sativa, potassium absorption and availability, non-exchangeable forms.

INTRODUÇÃO

O Estado do Rio Grande do Sul tem contribuído com aproximadamente 60 % da produção nacional de arroz em cerca de um milhão de hectares cultivados em solos de várzea no sistema de irrigação por alagamento. A maior parte da área é cultivada em Planossolo Háptico (> 50 %), seguida de Gleissolo (Háptico e Melânico) (Pinto et al., 2004).

Estudos da calibração de K nessa cultura, nesse Estado, não constataram boa relação entre o K extraível pelo método Mehlich-1 e o rendimento de arroz irrigado tanto no sistema de semeadura em solo seco (Machado, 1993) como no pré-germinado (Machado & Pottker, 1979). Outros métodos utilizados em laboratório para a determinação do K disponível, como a utilização de sais neutros ou resina de troca catiônica, também não têm sido eficazes para prever a disponibilidade deste nutriente para a cultura do arroz irrigado (Castilhos & Meurer, 2002; Nachtigall & Raij, 2005).

O K extraído com sais neutros ou com ácidos diluídos, usado como diagnóstico de sua disponibilidade no Brasil, não tem boa correlação nessa cultura, porque a forma trocável pode não ser a única forma de suprimento para as plantas de arroz (Nachtigall & Vall, 1991a,b; Simonete, 1998; Castilhos & Meurer, 2002). A liberação de K de formas não trocáveis do solo ocorre em função do aumento da difusão (Barber, 1995) e do deslocamento de K⁺ do complexo de troca por Fe²⁺ e Mn²⁺, cujas concentrações aumentam na solução do solo em caso de alagamento e conseqüente redução do solo (Ponnamperuma, 1972). Isso pode ocasionar contribuição de K da forma estrutural de

feldspatos e micas e de K retido nas entrecamadas de alguns argilominerais 2:1 expansivos, sendo consideradas as formas não trocáveis e que podem atuar como fontes desse nutriente às plantas. Assim, dez semanas de alagamento, em treze solos da Índia, promoveram o aumento do K solúvel em água e do K trocável, em média, 155 e 39 %, respectivamente, com concomitante decréscimo de K não trocável (Verma et al., 1994), evidenciando o estabelecimento de um novo equilíbrio entre as formas de K com o alagamento do solo.

Experimentos de curta e longa duração, em vasos e no campo, tanto em solos oxidados como reduzidos sob cultivo (Chakravorti et al., 1987; Nachtigall & Vahl, 1991b; Melo et al., 1995; Silva et al., 1995; Simonete, 1998; Scherer, 1998), demonstraram que o K trocável tende a diminuir até um nível mínimo, variável com o tipo de solo e que, concomitante a essa depleção, ocorre diminuição do K de formas não trocáveis, quando, então, o suprimento de K às plantas passa a ser dependente da liberação de tais formas. Assim, admite-se que, da mesma forma que o observado em solos oxidados (Nachtigall & Vahl, 1991a; Meurer & Anghinoni, 1993; Silva et al., 1995; Meurer et al., 1996), formas não trocáveis de K, liberadas de minerais fontes de K, como feldspatos de K, mica, esmectita e esmectita com polímeros de hidróxi-Al entrecamadas, podem contribuir para o suprimento desse nutriente às plantas de arroz irrigado, como verificado por Castilhos et al. (2002).

O conhecimento das formas de K e dos tipos de minerais fontes nas frações granulométricas do solo serve como subsídio para melhor compreensão dos fatores ligados ao suprimento de K, contribuindo para

o entendimento da dinâmica deste nutriente no solo, o que, segundo Castilhos et al. (2002), pode também explicar as pouco expressivas respostas da cultura do arroz irrigado à adição desse nutriente. Dessa forma, os estudos para conhecer a disponibilidade de K em solos cultivados com arroz irrigado devem utilizar, além dos conhecimentos da química do solo, o conhecimento da sua composição mineralógica, uma vez que esta é importante na definição das relações entre os fatores capacidade e intensidade desse nutriente e caracteriza a reserva potássica do solo a curto, médio e longo prazo.

Considerando que, no Brasil, são escassas as pesquisas que estudam a dinâmica de K em solos alagados, realizou-se este trabalho com o objetivo de avaliar a capacidade de seu suprimento por solos com diferentes características físicas, químicas e mineralógicas do Rio Grande do Sul e a contribuição das formas trocáveis e não trocáveis na absorção desse nutriente em cultivos sucessivos de arroz irrigado.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em casa de vegetação e no Laboratório de Solos e Águas do Instituto Rio-Grandense do Arroz – IRGA, no município de Cachoeirinha (RS) e nos Laboratórios de Química e de Fertilidade do Solo do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), no município de Porto Alegre (RS). A sua condução ocorreu no período de dezembro de 2003 a março de 2006.

Amostras de três tipos de solos, classificados como Planossolo Háplico (SG), Gleissolo Háplico (GX) e Neossolo Litólico (RL) (Embrapa, 2006; Streck et al., 2008), foram coletadas da camada arável (0–20 cm) em áreas de lavoura anteriormente cultivadas com arroz irrigado nos municípios de Santo Antonio da Patrulha, de Cachoeirinha e de Uruguaiana (Regiões Arrozeiras da Planície Costeira Externa, Depressão Central e Fronteira Oeste, respectivamente). Os dois primeiros solos são derivados de sedimentos (arenosos e aluviais, respectivamente) e o terceiro, de basalto. Após secas ao ar, as amostras foram tamisadas em peneira de 2,0 cm e transferidas para vasos de 12 dm³ de capacidade, contendo 9,0 dm³ de solo e submetidas a três cultivos sucessivos com arroz (*Oriza sativa* L.) irrigado por alagamento em casa de vegetação. Após cada cultivo, o solo dos vasos foi seco ao ar, passado novamente em peneira de 2,0 cm e colocado nos vasos. Em todos os cultivos, os solos dos vasos foram umedecidos aproximadamente à capacidade de campo. Depois disso, 30 sementes por vaso foram colocadas para germinar. Fez-se o desbaste em 15 plântulas por vaso, por ocasião do alagamento, iniciado no período de perfilhamento (V4 – quatro folhas) com adição de água de modo a manter uma lâmina entre 5,0 e 10 cm durante o experimento.

Os experimentos foram conduzidos em delineamento completamente casualizado, com três repetições. Os tratamentos de adubação consistiram em: (a) adubação completa (N, P e K); (b) sem K (com N e P); e (c) sem adubação. Foi realizada adubação de base (50 mg dm⁻³ de N - uréia, 200 mg de P₂O₅ - superfosfato triplo e 250 mg de K₂O - KCl, por vaso, respectivamente) e adubação de cobertura (50 mg dm⁻³ de N - uréia, em V3 e 50 de N – uréia) no início de diferenciação da panícula (IDP). Em dezembro de 2003, implantou-se o primeiro cultivo do arroz (cultivar IRGA 417, de ciclo médio). O corte das plantas (colheita) foi realizado no florescimento pleno (80 % das plantas em floração). No segundo cultivo, os preparos dos vasos, a adubação e a semeadura foram realizados em abril de 2004, utilizando-se o cultivar IRGA 421 (de ciclo precoce). No terceiro cultivo, iniciado em outubro de 2005, utilizou-se novamente o cultivar IRGA 417, sendo adotados os mesmos procedimentos dos cultivos anteriores.

Nas raízes e na parte aérea das plantas, determinaram-se a produção de matéria seca e o teor de K. Nos solos, antes e após cada cultivo, foi quantificado o K extraído pelo método Mehlich-1, considerado trocável neste trabalho. A análise desse nutriente no tecido e no solo foi efetuada conforme método descrito em Tedesco et al. (1995). A quantidade de K absorvida proveniente das formas não trocáveis foi estimada, após cada cultivo, como sugerido por Castilhos et al. (2002), pela diferença entre o total absorvido pelas plantas e a soma do decréscimo no K trocável (Mehlich-1) dos solos e da quantidade de K adicionada na adubação, considerada trocável para cálculo, conforme a equação:

$$K_{\text{absorvido de formas não trocáveis}} = K_{\text{absorvido total}} - [(K_{\text{trocável antes do cultivo}} - K_{\text{trocável após cultivo}}) + K_{\text{adubação}}]$$

Dessa forma, não havendo decréscimo do K trocável no solo, o K absorvido pelas plantas de arroz foi considerado todo proveniente das formas não trocáveis do solo. Havendo aumento do K trocável no solo após os cultivos, este aumento foi atribuído ao deslocamento das formas não trocáveis para a referida forma.

As análises mineralógicas foram realizadas nas amostras de solo coletadas (camada de 0 a 20 cm). A fração terra fina seca ao ar (< 2 mm) foi dispersa conforme método descrito para a análise granulométrica pelo método do densímetro (Embrapa, 1997). A fração areia (0,05–2 mm) foi separada por peneiramento úmido, e as frações silte (2–50 mm) e argila (< 2 mm) foram sedimentadas em meio líquido com base na lei de Stokes. A matéria orgânica foi removida por oxidação com peróxido de hidrogênio nas frações silte e argila (Embrapa, 1997). A mineralogia foi determinada por difratometria de raios X (DRX) em Difratômetro da marca Siemens D5000, com radiação de Cuka em voltagem de 40 kV e corrente de 25 mA. A fração silte foi analisada em lâminas com

material em pó (sem orientação), e a fração argila total em lâminas com material orientado sem tratamento químico e térmico prévio e em lâminas com material orientado saturado com Mg (MgCl_2 0,5 mol L⁻¹) a 25 °C e solvatado com glicerol (50 g L⁻¹ em etanol); saturado com K (KCl 1 mol L⁻¹) a 25 °C e após aquecimento a 300 e 550 °C.

As variáveis analisadas em cada cultivo de arroz foram submetidas à análise da variância ($p < 0,05$) seguindo o modelo para o delineamento completamente casualizado considerando os fatores solos (S=3), adubação (A=3) e repetição (R=3):

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + A_j + SA_{ij} + \text{erro } a(i,j,k)$$

sendo μ = média geral; $S(i = 1,2,3)$; $A(j = 1,2,3)$; $R(k = 1,2,3)$.

As médias dos tratamentos e suas combinações que atingiram significância estatística foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os solos utilizados diferenciam-se no material de origem e nas características físicas (Quadro 1), químicas (Quadro 2) e mineralógicas (Figuras 1 e 2). Dentre as características importantes relacionadas à disponibilidade de K no solo, destacam-se o teor de K trocável (29 a 61 mg dm⁻³), a textura (areia a franco argilosa), a CTC efetiva (1,6 a 24,3 cmol_c dm⁻³) e a composição mineralógica, como discutido a seguir.

A difratometria de raios X indicou o quartzo (reflexões em 0,426 e 0,334 nm) como mineral predominante na fração silte dos três solos (Figura 1a). Reflexões de baixa intensidade mostraram também a presença dos óxidos de titânio rutilo (0,325 nm) e anatásio (0,352 nm) no Gleissolo Háptico (GX) e no Neossolo Litólico (RL). Nesse RL, desenvolvido de basalto, foram observadas ainda reflexões que indicam a presença de plagioclásios (0,403; 0,375; 0,363 e 0,320 nm) e de feldspatos de K (0,375; 0,363 e 0,323 nm),

Quadro 1. Características físicas da camada 0–20 cm e origem de solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul

Característica	Planossolo Háptico – SG ⁽¹⁾	Gleissolo Háptico – GX ⁽¹⁾	Neossolo Litólico – RL ⁽¹⁾
Material de origem	Sedimentos arenosos	Sedimentos aluviais	Basalto
Região arrozeira ⁽²⁾	Planície Cost. Externa	Depressão Central	Fronteira Oeste
Areia (g kg ⁻¹)	832	304	372
Silte (g kg ⁻¹)	6	369	311
Argila (g kg ⁻¹)	10	327	317
Classe textural	Areia	Franco argilosa	Franco argilosa
Densidade do solo (kg dm ⁻³)	1,25	1,10	0,90

⁽¹⁾ Denominação e simbologia de acordo com a Classificação Brasileira de Solos (Embrapa, 2006). ⁽²⁾ Conforme denominação do Instituto Rio-Grandense do Arroz (IRGA, 2008).

Quadro 2. Características químicas⁽¹⁾ da camada 0–20 cm de solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul

Solo	pH _{H₂O}	Matéria orgânica	P extraível (Mehlich-1)	Cátion trocável			CTC efetiva ⁽²⁾	K na CTC _{pH7,0} ⁽³⁾	
				K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺			Al ³⁺
		g kg ⁻¹	— mg dm ⁻³ —	cmol _c dm ⁻³			%		
Planossolo Háptico (SG)	4,7	1,7	7,2	29	0,4	0,3	0,5	1,6	3,0
Gleissolo Háptico (GX)	5,0	1,3	23,6	30	2,3	0,5	0,4	3,0	1,7
Neossolo Litólico (RL)	5,7	1,8	5,3	61	16,7	6,6	0,0	24,3	0,6

⁽¹⁾ Análises de acordo com os métodos descritos por Tedesco et al. (1995); K trocável extraído por Mehlich-1. ⁽²⁾ Capacidade de troca de cátions efetiva. ⁽³⁾ Capacidade de troca de cátions em pH 7,0.

que não foram verificadas no Planossolo Háplico (SG) e no GX. Nos três solos, não foram observadas reflexões a 1,0 nm, indicando a ausência de mica.

Nos difratogramas da fração argila total, sem tratamentos químico e térmico prévios, foram observadas reflexões intensas de caulinita (0,712; 0,445; e 0,359 nm) no GX e pouco expressivas nos demais solos (Figura 1b). Reflexões indicaram ainda a presença de quartzo, cristobalita e de óxidos de Ti na fração argila total dos solos. A presença de argilominerais 2:1 foi indicada por um alargamento gradual a partir do ângulo $9^{\circ}2\theta$ ($\sim 1,000$ nm) em direção a ângulos menores no RL; e por um reflexo a 1,421 nm no GX (Figura 1b).

Na fração argila do RL, a saturação com Mg associada à solvatação com glicerol provocou uma expansão parcial das entrecamadas até 1,720 nm e a expressão de uma reflexão em 0,836 nm, indicativas da presença de esmectita neste solo (Figura 2c). Somente o aquecimento a 550 °C causou o colapso, também parcial, das entrecamadas da esmectita, evidenciando a ocorrência de polímeros de hidróxi-Al, que inibem a total expansão e a contração do mineral (Kämpf et al., 1995; Castilhos et al., 2002). Nos solos GX e SG, a intensidade relativa dos reflexos 1.400 nm no GX e 1,430 nm no SG (Figura 2a,b) indica que a proporção de argilominerais 2:1 nesses solos é consideravelmente inferior que no RL. Feldspatos de

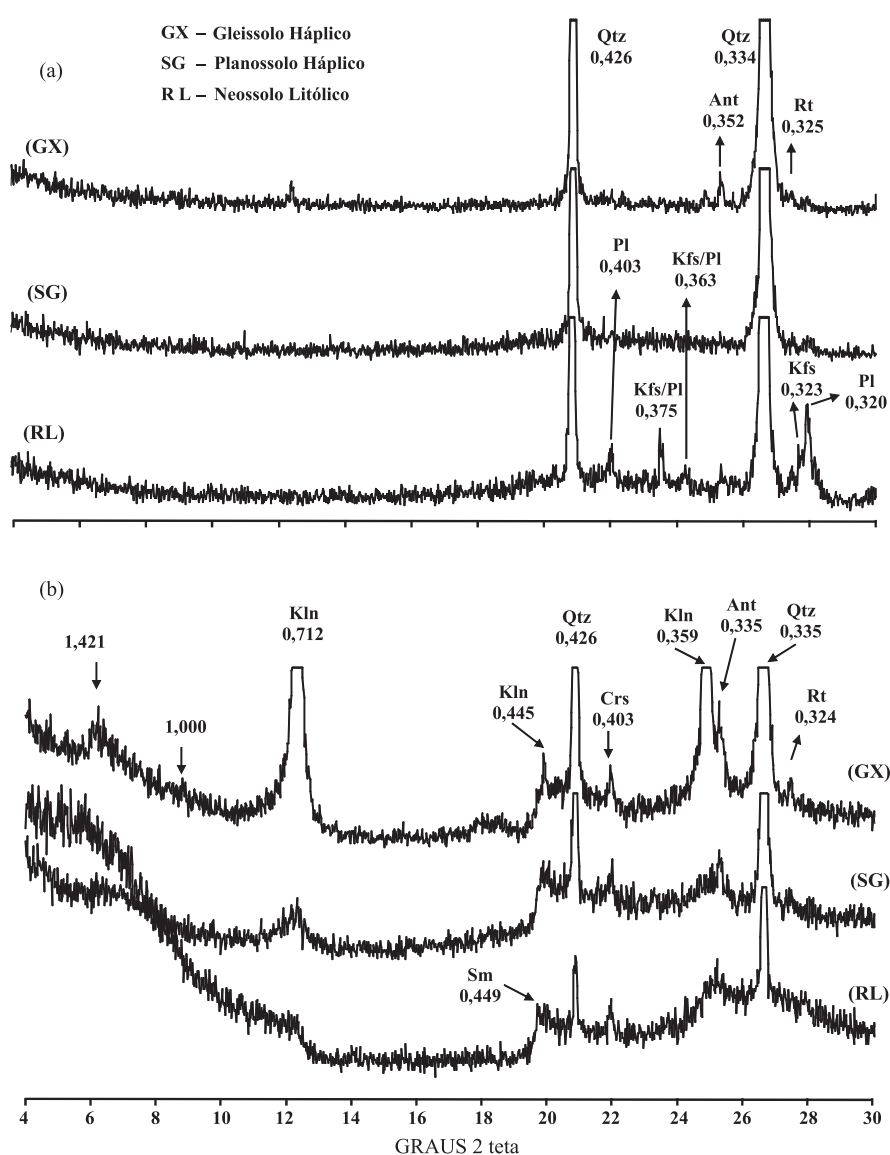


Figura 1. Difratogramas de raios X da fração silte (a) e da fração argila sem tratamentos químicos e térmicos prévios (b) de solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul. Kln-caulinita, Qtz-quartzo, Ant-anatásio, Rt-rutilo, Crs-cristobalita, Kfs-feldspato potássico, Pl-plagioclásio, Sm-esmectita. Distâncias basais em nanômetros.

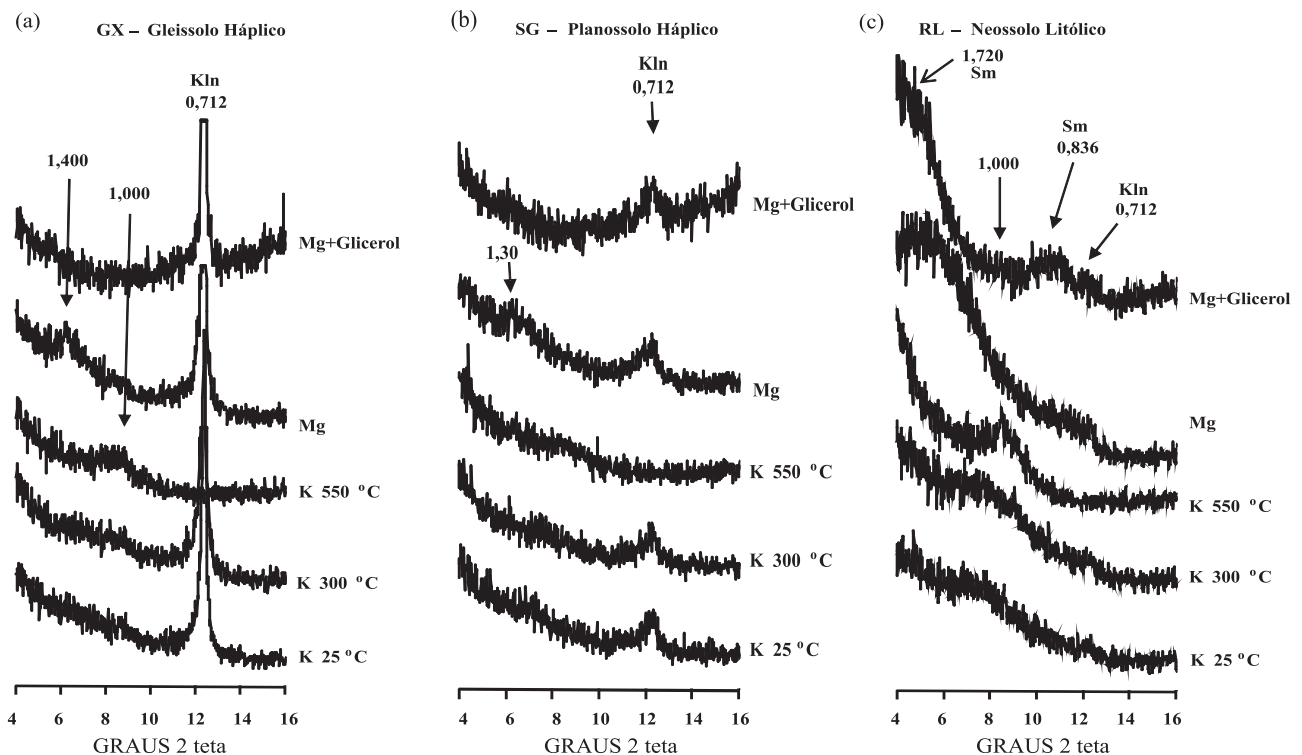


Figura 2. Difratogramas de raios X da fração argila saturada com potássio a 25, 300 e 550 °C e com magnésio antes e após solvatação com glicerol em Gleissolo Háplico-GX (a), Planossolo Háplico-SG (b) e Neossolo Litólico-RL (c), cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul. Kln-caulinita, Sm-esmectita, K-saturação com potássio, Mg-saturação com magnésio. Distâncias basais em nanômetros.

K, plagioclásios e esmectitas podem constituir fontes prováveis de K, principalmente no RL.

A produção de matéria seca das plantas de arroz, independentemente do tratamento de adubação, foi maior no solo RL em relação aos demais solos no primeiro cultivo (Figura 3). Isto reflete sua maior disponibilidade de nutrientes, inclusive de K, com teor de K trocável de 61 mg dm⁻³ (Quadro 2) nesse solo, que se enquadra na transição médio-alto (CQFSRS/SC, 2004), enquanto nos demais solos, SG de 29 e GX de 30 mg dm⁻³, na transição baixo-médio. Por outro lado, e em função disso, a resposta do arroz, em produção de matéria seca (Figura 3) e em absorção de K de origem trocável (Figura 4) e não trocável (Figura 5) à adição desse nutriente, foi proporcionalmente menor no RL em relação aos demais solos no primeiro cultivo. Já no segundo cultivo, o incremento de produção de matéria seca de arroz em resposta à adubação potássica (Figura 6) foi similar entre os solos, devido à redução das formas lábeis de K, como a trocável (Figura 7), com concomitante diminuição da saturação por K na CTC_{pH 7,0} (Figura 8). Segundo Genro Junior et al. (2007), essa saturação deve se situar entre 2,0 e 3,0 % para assegurar adequado suprimento de K para obtenção de elevada produtividade de arroz irrigado. Silva & Meurer (1988) já haviam observado, à semelhança deste trabalho, que a resposta de trigo à adubação

potássica ocorria em função da saturação por K na CTC_{pH 7,0}.

No primeiro cultivo, observou-se incremento de produção de biomassa superior a 30 % no SG (Figura 3) mesmo com quase 3 % de K na CTC_{pH 7,0} (Figura 8).

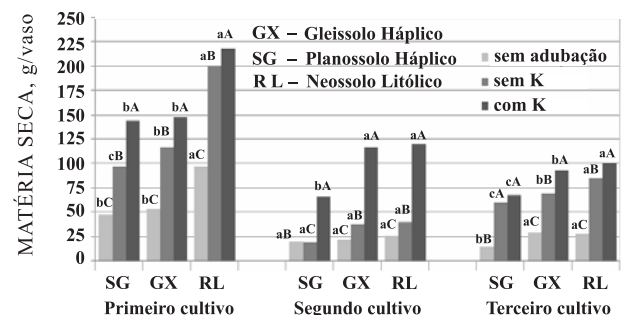


Figura 3. Produção de matéria seca de arroz irrigado no florescimento pleno em cultivos sucessivos em função da adição de potássio em diferentes solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul. Colunas seguidas de mesma letra minúscula, indicando cada cultivo e adubação, e colunas seguidas de mesma letra maiúscula, indicando cada cultivo e tipo de solo, não diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$, CV 4,69 %).

Isso pode estar relacionado ao baixo teor (29 mg dm^{-3}) de K trocável, à baixa $\text{CTC}_{\text{pH } 7,0}$ ($3,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) desse solo (Quadro 2) e à pouca quantidade de minerais fontes de K de formas não trocáveis, como feldspatos de K e esmectitas (Figuras 1 e 2), revelando que, nessas condições, podem ocorrer respostas à adição de K.

No terceiro cultivo, houve maior resposta à adubação potássica no RL e menor no SG (Figura 3), mesmo o K trocável do primeiro sendo o dobro do segundo (Figura 7). Isso ocorreu em função da menor saturação por K na $\text{CTC}_{\text{pH } 7,0}$ no RL (Figura 8), como verificado por Silva & Meurer (1998), e da provável

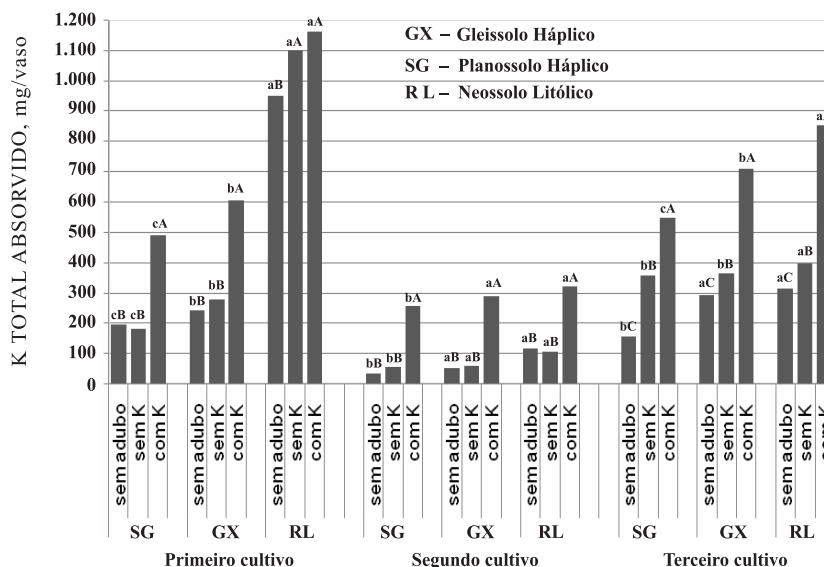


Figura 4. Potássio absorvido por plantas de arroz irrigado em cultivos sucessivos em função da adição de potássio em solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul. Colunas seguidas de mesma letra minúscula, indicando cada cultivo e adubação, e colunas seguidas de mesma letra maiúscula, indicando cada cultivo e tipo de solo, não diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$, CV 6,80 %).

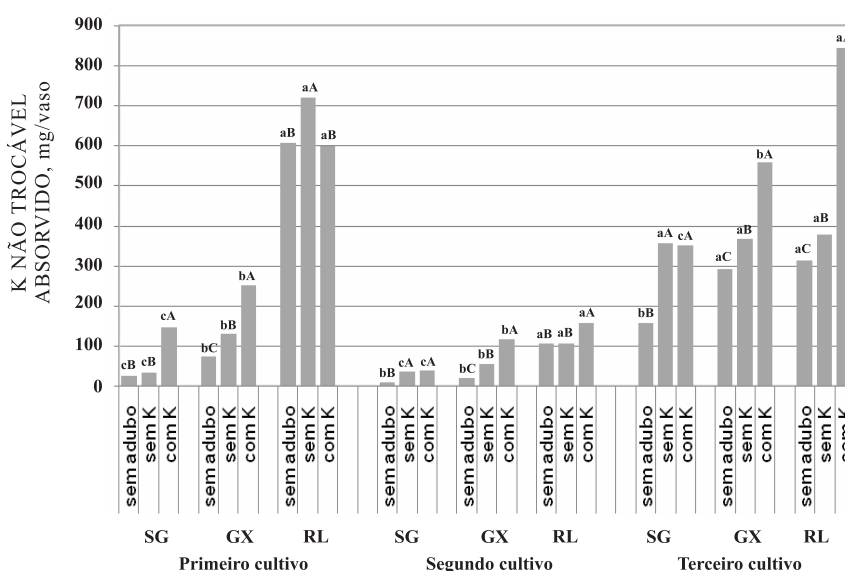


Figura 5. Potássio absorvido de formas não trocáveis por plantas de arroz irrigado em cultivos sucessivos em função da adição de potássio em solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul: SG-Gleissolo Háplico, GX-Planossolo Háplico e RL-Neossolo Litólico. Colunas seguidas de mesma letra minúscula, indicando cada cultivo e adubação, e colunas seguidas de mesma letra maiúscula, indicando cada cultivo e tipo de solo, não diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$, CV 5,11 %).

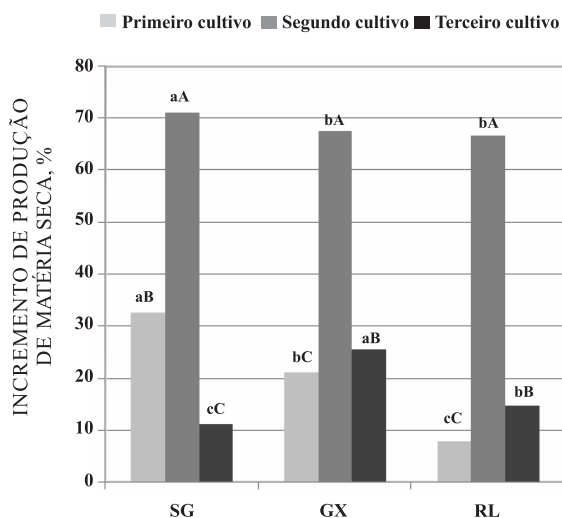


Figura 6. Incremento de produção de matéria seca de arroz em cultivos sucessivos em diferentes solos: Gleissolo Háplico-SG, Planossolo Háplico-GX e Neossolo Litólico-RL. Colunas seguidas de mesma letra minúscula, indicando cada cultivo e adubação, e colunas seguidas de mesma letra maiúscula, indicando cada cultivo e tipo de solo, não diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$, CV 4,31 %).

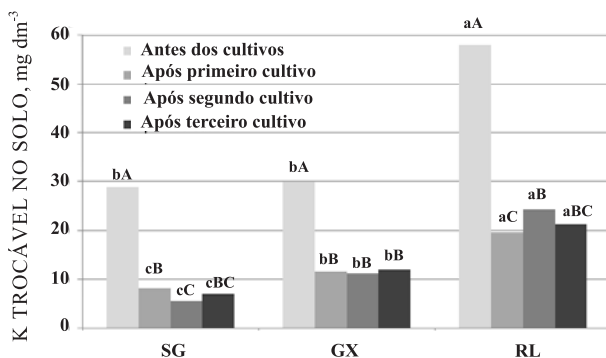


Figura 7. Potássio trocável no solo (Mehlich-1) antes e após os cultivos sucessivos de arroz irrigado em solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul: SG-Gleissolo Háplico, GX-Planossolo Háplico e RL-Neossolo Litólico-RL. Colunas seguidas de mesma letra minúscula, indicando cada cultivo e adubação, e colunas seguidas de mesma letra maiúscula, indicando cada cultivo e tipo de solo, não diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$, CV 5,45 %).

redução das reservas de K das formas não trocáveis (Chakravorti et al., 1987; Nachtigall & Vahl, 1991a; Meurer et al., 1996) pela elevada absorção dessas formas pelo arroz, especialmente no primeiro cultivo (Figura 5).

O maior potencial de tamponamento de K trocável do solo RL em relação aos demais, evidenciado pela manutenção de valores mais elevados dessa forma

(trocável) após os três cultivos (Figura 7), não se refletiu em maior capacidade de suprir K às plantas de arroz com K. Isto se tornou evidente pela não ocorrência de diferenças no K absorvido pelas plantas (Figura 5) no segundo e no terceiro cultivos nesse solo (RL) em relação ao GX no tratamento sem adição de K. É importante ressaltar que houve esse comportamento a despeito de o primeiro (RL) ter apresentado 20 e 24 mg dm⁻³ de K trocável anteriormente ao segundo e terceiro cultivos, respectivamente, e o GX metade desses valores (12 e 11 mg dm⁻³, respectivamente). Nessa situação, as formas não trocáveis supriram o arroz com de 94 a 100 % do K (Figuras 4 e 5).

Paralelamente à maior produção de matéria seca (Figura 3) e à maior demanda de K na sequência RL > GX > SG, houve também, nesta mesma ordem, maior contribuição do K não trocável nos três cultivos (Figura 5). Essa contribuição variou de 12 % no GX com adição de K a 72 % no RL sem adição de K no primeiro cultivo. A contribuição (relativa) de K não trocável aumentou com os cultivos, especialmente nos tratamentos sem a adição desse nutriente, porém adubados com N e P, cuja demanda por nutrientes aumentou pelo maior crescimento das plantas (Figuras 4 e 5). Contribuição significativa de K não trocável de diferentes solos de várzea do Rio Grande do Sul havia sido verificada por Castilhos & Meurer (2002) em um único cultivo de arroz em vasos. Essa contribuição foi diferente entre solos (Gleissolo > Chernossolo > Planossolo) e foi atribuída aos teores totais desse elemento nos solos, às contribuições diferenciadas das frações granulométricas e à ocorrência de minerais primários (feldspatos e micas) e secundários (esmectita e esmectita com polímeros de hidróxi-Al entrecamadas) que contêm K (Castilhos et al., 2002).

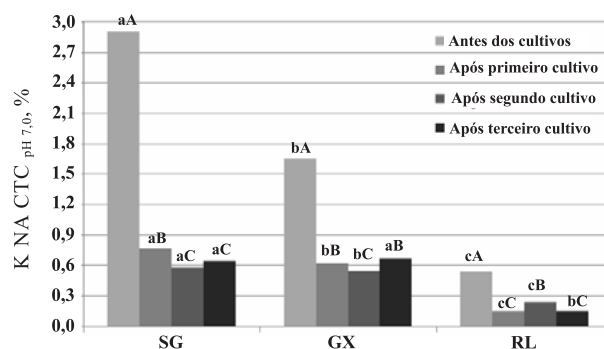


Figura 8. Relação percentual de potássio na CTC_{pH 7,0} do solo antes e após os cultivos sucessivos de arroz irrigado solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul: SG-Gleissolo Háplico, GX-Planossolo Háplico e RL-Neossolo Litólico. Colunas seguidas de mesma letra minúscula, indicando cada cultivo e adubação, e colunas seguidas de mesma letra maiúscula, indicando cada cultivo e tipo de solo, não diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$, CV 7,22 %).

CONCLUSÕES

1. Os solos se diferenciam na capacidade de suprir o arroz irrigado com K, sendo maior no Neossolo Litólico desenvolvido de rocha basáltica, em relação ao Gleissolo Háptico e ao Planossolo Háptico, desenvolvidos sobre sedimentos, havendo sempre contribuição de formas não trocáveis.

2. A capacidade de suprimento inicial (no primeiro cultivo) é determinada pelo teor de K trocável do solo e é inversamente relacionada à sua magnitude de resposta à adição de K ao solo.

3. A capacidade de suprimento no tempo (segundo e terceiro cultivos) é determinada predominantemente pela saturação por K na troca ($K/CTC_{pH\ 7,0}$) e pelo suprimento de formas não trocáveis, especialmente de feldspatos potássicos, esmectitas e esmectitas com hidróxi-Al entrecamadas.

LITERATURA CITADA

- BARBER, S. Soil bioavailability: A mechanistic approach. New York, John Wiley & Sons, 1995. 414p.
- CASTILHOS, R.M.V. & MEURER, E.J. Suprimento de potássio de solos do Rio Grande do Sul para arroz irrigado por alagamento. R. Bras. Ci. Solo, 26:977-982, 2002.
- CASTILHOS, R.M.V.; MEURER, E.J.; KÄMPF, N. & PINTO, L.F.S. Mineralogia e fontes de potássio em solos no Rio Grande do Sul cultivados com arroz irrigado. R. Bras. Ci. Solo, 26:579-587, 2002.
- CHAKRAVORTI, S.P.; BIDDAPPA, C.C. & PATNAIK, S. Dynamics of potassium in submerged soils growing rice (*Oryza sativa* L.) 2. Change in forms of soil potassium and the relationship with its uptake by rice under continuous cropping. J. Potassium Res., 3:98-106, 1987.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFSRS/SC. Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre, SBCS-Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.
- GENRO JUNIOR, S.A.; SCHOENFELD, R.; ANGHINONI, I.; MARCOLIN, E. & MACEDO, V. Resposta do arroz irrigado à adubação potássica em função da capacidade de troca de cátions do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 5., Pelotas, 2007. Anais. Pelotas, Sociedade Sul Brasileira de Arroz Irrigado, 2007. p.583-585.
- KÄMPF, N.; AZEVEDO, A. C. & COSTA JR., M. I. Estrutura básica de argilominerais 2:1 com hidróxi-Al entrecamadas em Latossolo Bruno do Rio Grande do Sul. R. Bras. Ci. Solo, 19:185-190, 1995.
- MACHADO, A.O. Adubação e calagem para a cultura do arroz irrigado no Rio Grande do Sul. Pelotas, Embrapa-CPATB, 1993. 63p. (Boletim de Pesquisa, 2)
- MACHADO, M.O. & PÖTTKER, D. Adubação mineral (NPK) de arroz irrigado em solos de Santa Catarina. Florianópolis, Empasc, 1979. (Não Publicado)
- MELO, V.F.; COSTA, L.M.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. & FONTES, M.P.F. Formas de potássio e de magnésio em solos do Rio Grande do Sul, e sua relação com o conteúdo na planta e com a produção de mudas de eucalipto. R. Bras. Ci. Solo, 19:165-171, 1995.
- MEURER, E.J. & ANGHINONI, I. Disponibilidade de potássio e sua relação com parâmetros de solo. R. Bras. Ci. Solo, 17:377-382, 1993.
- MEURER, E.J.; KÄMPF, N. & ANGHINONI, I. Fontes potenciais de potássio em alguns solos do Rio Grande do Sul. R. Bras. Ci. Solo, 20:41-47, 1996.
- NACHTIGALL, G.R. & VAHL, L.C. Capacidade de suprimento de potássio dos solos da Região Sul do Rio Grande do Sul. R. Bras. Ci. Solo, 15:37-42, 1991a.
- NACHTIGALL, G.R. & VAHL, L.C. Dinâmica da liberação de potássio dos solos da Região Sul do Rio Grande do Sul. R. Bras. Ci. Solo, 15:43-47, 1991b.
- NACHTIGALL, G.R. & RAIJ, B.van. Análise e interpretação do potássio no solo. In: YAMADA, T. & ROBERTS, T. Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba, POTAFÓS, 2005. p.93-118.
- PINTO, L.F.S.; LAUS NETO, J.A. & PAULETTO, E.A. Solos de várzea no Sul do Brasil cultivados com arroz irrigado. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.75-95.
- PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. Adv. Agron., 24:29-96, 1972.
- SCHERER, E.E. Níveis críticos de potássio para a soja em Latossolo Húmico de Santa Catarina. R. Bras. Ci. Solo, 22:57-62, 1998.
- SILVA, D.N.; MEURER, E.J.; KÄMPF, N. & BORKERT, C.M. Mineralogia e formas de potássio em dois Latossolos do Estado do Paraná e suas relações com a disponibilidade para as plantas. R. Bras. Ci. Solo, 19:433-439, 1995.
- SILVA, J.R.T. & MEURER, E.J. Disponibilidade de potássio para as plantas em solos do Rio Grande do Sul em função da capacidade de troca de cátions. R. Bras. Ci. Solo, 12:137-142, 1988.
- SIMONETE, M.A. Efeito residual da adubação potássica do azevém sobre o arroz subsequente em plantio direto. Pelotas, Universidade Federal de Pelotas, 1998. 40p. (Tese de Mestrado)
- STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C. & SCHNEIDER, P. Solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Emater-RS, 2008. 222p.

- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análise de solos, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5)
- VERMA, T.S.; BHAGAT, R.M. & KAMLA, K. Evaluation of chemical methods for the determination of available potassium in waterlogged soils; (1) Potassium availability indexes in relation to potassium fractions. *J. Potassium Res.*, 10:12-22, 1994.