

ALTERAÇÕES NAS CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO EM SOLOS CULTIVADOS COM ARROZ IRRIGADO NO RIO GRANDE DO SUL⁽¹⁾

Gustavo Kruger Gonçalves⁽²⁾ & Egon José Meurer⁽³⁾

RESUMO

Os solos utilizados para a cultura de arroz irrigado por alagamento no Estado do Rio Grande do Sul são oriundos de diferentes materiais de origem, os quais conferem diferentes características mineralógicas e químicas, que alteram de forma diferenciada a disponibilidade de P para a cultura. Com o objetivo de verificar essas diferenças na disponibilidade de P para o arroz em solos oriundos de diferentes materiais de origem, conduziu-se um experimento fatorial, delineado em blocos ao acaso, em que cinco solos foram submetidos à ausência ou presença de superfosfato triplo. Os solos derivados de sedimentos de arenito e granito (Planossolos) apresentaram redução mais rápida do Fe com liberação do P adsorvido, quando comparados aos solos derivados de sedimento de basalto. Os Planossolos apresentaram maior quantidade de P acumulado no arroz que o Vertissolo e Chernossolo, sem ou com a adição de superfosfato triplo. A adição de superfosfato triplo resultou em maior quantidade de P acumulado na planta para todos os solos.

Termos de indexação: superfosfato triplo, óxidos de Fe, redução em solos.

SUMMARY: *PHOSPHORUS CONCENTRATION CHANGES IN SOILS UNDER FLOODED RICE IN RIO GRANDE DO SUL, BRAZIL*

Soils used for production of flooded rice in the state of Rio Grande do Sul are originated from different parent materials, resulting in different characteristics that affect P availability for the crop. The aim of this paper was to verify the differences in P availability for rice in soils

⁽¹⁾ Parte da tese de Doutorado em Ciência do Solo do primeiro autor apresentada à Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Recebido para publicação dezembro de 2008 e aprovado em novembro de 2009.

⁽²⁾ Professor da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul e Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – PUC/RGS. E-mails: gustavo-goncalves@uergs.edu.br; gustavo.goncalves@puers.br

⁽³⁾ Professor Associado do Departamento de Solos, UFRGS. E-mail: egon.meurer@ufrgs.br

originated from different parent materials. The experiment was carried out in a complete randomized block design, where five soils were exposed to absence or presence of triple superphosphate. In the soils derived from sandstone and granite sediment a faster Fe reduction and release of adsorbed P was observed than in soils originated from basalt. The amount of accumulated P in rice was higher in the Planosol than the Vertisol and Mollisol, with and without triple superphosphate application. Triple superphosphate fertilization resulted in greater amounts of P accumulated in all soils.

Inedex terms: triple superphosphate, iron oxides, reduction in soils.

INTRODUÇÃO

A recomendação de adubação fosfatada para a cultura do arroz irrigado em solos do Rio Grande do Sul foi obtida em estudos de calibração em experimentos de campo, realizados entre as décadas de 1970 e 1980, em solos derivados de arenito, siltito e granito, pertencentes à classe de Planossolos. Os experimentos mencionados proporcionaram a obtenção do teor crítico de 6 mg dm^{-3} (extraídos com solução Mehlich-1), ocorrendo a partir daí uma generalização daquela recomendação para todos os solos, estando estes classificados como alagados no Sistema de Recomendações de Adubação e de Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFSRS/SC, 2004). Entretanto, a expansão do arroz irrigado para outras regiões agrícolas, como as localizadas na fronteira oeste do RS, possibilitou a utilização de solos oriundos de sedimento de basalto, os quais, provavelmente, proporcionam variações nas características mineralógicas e químicas da solução do solo e, conseqüentemente, alteram a disponibilidade de P de maneira diferenciada em relação aos Planossolos.

Sousa (2001) observou, em um Plintossolo oriundo de sedimento de basalto, que a redução do Mn e do Fe foi mais lenta que num Planossolo. Resultados semelhantes foram observados por Gonçalves et al. (2008), os quais constataram que num Cambissolo oriundo de sedimento de basalto também ocorreu solubilização diferenciada do P em relação a um Planossolo.

A redução dos óxidos férricos a óxidos ferrosos com liberação do P adsorvido é considerada por inúmeros pesquisadores o fator principal para o aumento da disponibilidade de P em solos reduzidos. Esse mecanismo também envolve o consumo de H^+ , aumentando o pH da solução (Ponnamperuma, 1972). Outros fatores que podem contribuir com o aumento na disponibilidade de P em solos ácidos são os seguintes: redução do Mn^{4+} a Mn^{2+} com liberação do P adsorvido em solos com predominância de óxidos de Mn de baixa cristalinidade (Shahandeh et al., 2003), dissolução dos fosfatos minerais secundários (Pierzynski et al., 2005), acréscimo no fator difusibilidade (Kirk et al., 2003), mineralização do P orgânico na rizosfera (Yoshida, 1978) e complexação

de cátions por ácidos orgânicos, promovendo a dessorção de P (Kpombekou & Tabatabai, 1994).

Este trabalho foi realizado partindo-se da hipótese de que os solos oriundos de sedimento de arenito e granito, representados pelos solos da classe Planossolo, por apresentarem menores teores de oxi-hidróxidos de Mn e de Fe, possuem rápida solubilização de Mn e de Fe e, conseqüentemente, maior disponibilidade de P nos estádios iniciais de alagamento do solo, promovendo maior teor de P acumulado, quando comparados aos solos oriundos de sedimento de basalto, representados pelo Chernossolo, Vertissolo e Luvisolo. Estes últimos, por apresentarem maiores teores de oxi-hidróxidos de Mn e Fe, possuem uma lenta solubilização de Fe e P com o decorrer do alagamento do solo, promovendo menor teor de P. Em razão do exposto, este trabalho teve por objetivo verificar a influência das características mineralógicas e químicas do solo na disponibilidade de P para a cultura de arroz em solos do Rio Grande do Sul derivados de sedimento de arenito, granito e basalto.

MATERIAL E MÉTODOS

Conduziu-se um experimento em recipientes de vidro, em casa de vegetação no Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS, no período de dezembro de 2005 a fevereiro de 2006, utilizando-se amostras dos seguintes solos coletados no Estado do Rio Grande do Sul: Planossolo hidromórfico eutrófico solódico (SXes), coletado no município de Pelotas; Planossolo hidromórfico eutrófico arênico (SXea), coletado no município de Restinga Seca; Luvisolo crômico pálico abrupto, coletado no município de Itaqui; Vertissolo ebânico órtico típico, coletado no município de Alegrete; e Chernossolo ebânico carbonático vértico, coletado no município de Alegrete (Quadro 1). A determinação das formas dos óxidos de Fe foi feita segundo método de Mehra & Jackson (1960) e Schwertmann (1964), ao passo que a capacidade máxima de adsorção de P foi obtida pela linearização da Isoterma de Langmuir, a qual se encontra descrita em Ranno (2004). O experimento constituiu-se de um fatorial 5×2 , delineado em blocos ao acaso, com três repetições, em que foram estudados os fatores e doses

especificados a seguir: solos: Planossolos (SXes e SXea), Luvisso, Vertissolo e Chernossolo; superfosfato triplo: ausência e presença (39,30 mg kg⁻¹ de P).

Amostras da camada superficial dos solos (0–20 cm) foram expostas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras de 2 mm de malha, sendo posteriormente colocadas em recipientes de vidro de 2,5 dm³ (unidade experimental), na quantidade de 2,2 kg de solo seco. A fonte de P utilizada foi moída e peneirada a 0,297 mm, para uniformizar o tamanho das partículas. À medida que as amostras do solo foram homogeneizadas, sem ou com superfosfato triplo, nas unidades experimentais, acomodaram-se os sistemas de coleta de solução desenvolvidos por Bohnen et al. (2005), de modo que ficassem a uma profundidade de 10 cm. Posteriormente, foram retirados 50 g de solo das unidades experimentais, para determinação dos teores de óxidos de Fe e de Mn (oxalato de amônio pH 6,0 e ditionito-citrato-bicarbonato de sódio) e também do P disponível (Mehlich-1). Após a aplicação dos tratamentos, os solos receberam oito sementes da cultivar IRGA 417 e foram mantidos com umidade gravimétrica em torno de 18 %, pela adição de água destilada até o estágio V3 (Counce et al., 2000). Neste estágio, foi realizado primeiramente o desbaste, deixando-se três plantas por unidade experimental. Depois disso, as unidades experimentais foram alagadas com água destilada, mantendo-se uma lâmina de água de 5 cm de altura durante 35 dias de alagamento. Aos 35 dias de alagamento, a parte aérea das plantas foi coletada a 1 cm da superfície do solo e seca em estufa à temperatura de 65 °C, por 72 h. Posteriormente, foi avaliada a produção de matéria seca por pesagem, sendo o tecido moído e nele determinadas as concentrações de P pelos métodos descritos por Tedesco et al. (1995).

Aos 7, 21 e 35 dias de alagamento, foram coletados e filtrados 20 mL de solução diretamente em frascos de vidro, onde previamente colocaram-se 2 mL de HCl 1,1 mol L⁻¹, para que a concentração final de HCl da amostra ficasse em torno de 0,1 mol L⁻¹, possibilitando, dessa maneira, a análise em laboratório das concentrações de Mn e Fe, por espectroscopia de absorção atômica (Perkin Elmer, 403), e de P, por colorimetria (Varian series 634).

As concentrações de Mn, Fe e P na solução nos períodos de alagamento avaliados, bem como os teores de P acumulados na parte aérea das plantas de arroz foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e as médias dos tratamentos, comparadas pelo teste de Duncan a 5 %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise de variância referente às concentrações de Mn na solução aos 7, 21 e 35 dias de alagamento, foi observada interação significativa entre os fatores estudados (Quadro 2). Nesses períodos, observou-se que tanto na ausência como na presença de superfosfato triplo os solos oriundos de sedimento de basalto (Chernossolo, Vertissolo e Luvisso) apresentaram as maiores concentrações de Mn em relação aos solos da classe Planossolo. Isso deve-se aos maiores teores de óxidos de Mn de baixa cristalinidade extraídos por oxalato de amônio nos solos oriundos de sedimento de basalto, quando comparados aos solos da classe Planossolo (Quadro 1). Essa forma de Mn é preferencialmente utilizada pelas bactérias anaeróbias durante a redução dos óxidos mangânicos a óxidos manganosos, de maior solubilidade (Munch & Ottow, 1980). Resultados semelhantes foram

Quadro 1. Atributos das amostras dos solos utilizados no experimento

Classificação taxonômica (Embrapa, 2006)	Material de origem	Argila	MO	pH H ₂ O	K	P ⁽¹⁾	Saturação Al ³⁺	FeO ₆ ⁽¹⁾	Fed ⁽²⁾	MnO ₆ ⁽¹⁾	Mnd ⁽²⁾	CMAP
Planossolo háplico eutrófico solódico (SXes)	Granito	200	22	4,7	61	3,0	8,9	0,37	5,50	0,12	1,65	132
Planossolo háplico eutrófico arênico (SXea)	Arenito	120	14	5,3	75	15,0	0,0	0,19	3,10	0,18	2,00	73
Luvisso crômico pálico abruptico	Basalto	230	17	4,3	80	2,5	13,5	0,92	8,00	0,36	2,20	455
Vertissolo ebânico órtico típico	Basalto	320	43	5,5	102	2,9	0,0	1,35	10,70	0,49	2,20	556
Chernossolo ebânico carbonático vértico	Basalto	280	26	4,9	114	2,7	3,1	1,45	10,80	0,70	2,60	588

⁽¹⁾ Extração com Mehlich-1. ⁽²⁾ Extração com oxalato de amônio a pH 6. ⁽³⁾ Extração com ditionito-citrato-bicarbonato.

Quadro 2. Concentração de Mn na solução do solo aos 7, 21 e 35 dias de alagamento, em função dos tratamentos utilizados

Solo	Superfosfato triplo	
	Sem	Com
	————— Mn, mg L ⁻¹ —————	
	7 dias	
Planossolo – SXes	2,63 aD	2,59 aC
Planossolo – SXea	2,11 aE	1,94 aD
Luvissolo	3,20 aC	3,89 aB
Vertissolo	4,72 aB	3,03 bC
Chernossolo	5,76 aA	4,60 bA
	21 dias	
Planossolo – SXes	2,20 aC	2,20 aC
Planossolo – SXea	1,60 aD	1,60 aD
Luvissolo	8,90 aA	8,37 bA
Vertissolo	8,13 aB	7,10 bB
Chernossolo	9,33 aA	8,17 bA
	35 dias	
Planossolo – SXes	2,09 aC	2,00 aC
Planossolo – SXea	1,77 aC	1,70 aC
Luvissolo	8,34 aB	7,40 bB
Vertissolo	12,14 aA	11,41 bA
Chernossolo	12,08 aA	11,12 bA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si (Duncan, 5 %).

observados por Sousa (2001) e Gonçalves et al. (2008), os quais observaram em um solo da classe Planossolo menores concentrações de Mn na solução quando comparados a dois solos oriundos de sedimento de basalto (Plintossolo e Cambissolo), durante 88 dias de alagamento.

Na análise de variância relativa às concentrações de Fe na solução aos 7, 21 e 35 dias de alagamento, também foi observada interação significativa dos fatores estudados, assim como já mencionado para o Mn. Aos 7 e 21 dias de alagamento, observou-se que tanto na ausência como na presença de superfosfato triplo os solos da classe Planossolo apresentaram maiores concentrações de Fe na solução, em relação aos oriundos de sedimento de basalto (Quadro 3), o que se deve ao estágio mais avançado de redução do Fe nos Planossolos em comparação com os solos Luvissolo, Vertissolo e Chernossolo. A maior intensidade das reações de redução dos óxidos mangânicos a óxidos manganosos, que ocorreu aos sete dias de alagamento nos Planossolos (Quadro 2), favoreceu, a partir desse período, a redução dos óxidos férricos a óxidos ferrosos, enquanto os solos oriundos de sedimento de basalto mostraram menores concentrações de Fe na solução, pois as reações de redução dos óxidos mangânicos a óxidos manganosos não atingiram o equilíbrio até os 21 dias de alagamento (Quadro 2).

Aos 35 dias de alagamento, observou-se que tanto na ausência como na presença de superfosfato triplo os solos oriundos de sedimento de basalto apresentaram maiores concentrações de Fe na solução quando comparados aos solos da classe Planossolo. Os solos Luvissolo, Vertissolo e Chernossolo, por apresentarem maiores teores de Fe extraídos por oxalato de amônio, não mostraram estabilização da redução dos óxidos férricos a óxidos ferrosos. Já os Planossolos apresentaram maior intensidade de redução do Fe aos 20 dias de alagamento, mantendo-se os valores semelhantes até o final do experimento. Sousa (2001) observou, durante 88 dias de alagamento, aumento gradual na concentração de Fe na solução de um Plintossolo oriundo de sedimento de basalto.

Quanto às concentrações de P na solução aos 7, 21 e 35 dias de alagamento (Quadro 4), também houve interação significativa entre os fatores estudados. Aos 7 e 21 dias de alagamento, observou-se que tanto na ausência como na presença de superfosfato triplo o Planossolo SXea apresentou maiores concentrações de P na solução em relação aos demais. Isso se deve ao maior teor de P disponível obtido por Mehlich-1 neste solo (Quadro 1). Além disso, os Planossolos apresentaram maiores concentrações de P na solução em relação aos solos oriundos de sedimento de basalto (Luvissolo, Vertissolo e Chernossolo). Isso

Quadro 3. Concentração de ferro na solução do solo aos 7, 21 e 35 dias de alagamento, em função dos tratamentos utilizados

Solo	Superfosfato triplo	
	Sem	Com
	————— Fe, mg L ⁻¹ —————	
	7 dias	
Planossolo – SXes	40,27 aA	28,20 bA
Planossolo – SXea	26,00 aB	18,19 bB
Luvissolo	14,47 aC	13,27 aC
Vertissolo	2,62 aD	2,42 aD
Chernossolo	1,19 aD	1,10 aD
	21 dias	
Planossolo – SXes	75,30 aA	72,28 bA
Planossolo – SXea	62,11 aB	57,62 bB
Luvissolo	53,51 aC	46,41 bC
Vertissolo	12,32 aD	9,03 bD
Chernossolo	17,68 aD	15,37 bD
	35 dias	
Planossolo – SXes	65,50 aB	58,52 bB
Planossolo – SXea	57,93 aC	50,48 bC
Luvissolo	74,55 aA	62,38 bA
Vertissolo	40,63 aE	29,35 bD
Chernossolo	50,03 aD	37,13 bD

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si (Duncan, 5 %).

Quadro 4. Concentração de fósforo na solução do solo aos 7, 21 e 35 dias de alagamento, em função dos tratamentos utilizados

Solo	Superfosfato triplo	
	Sem	Com
	P, mg L ⁻¹	
	7 dias	
Planossolo – SXes	0,07 bB	0,20 aB
Planossolo – SXea	0,10 bA	0,29 aA
Luvissolo	0,03 bC	0,10 aC
Vertissolo	0,02 bC	0,09 aC
Chernossolo	0,02 bC	0,05 aD
	21 dias	
Planossolo – SXes	0,16 bA	0,42 aB
Planossolo – SXea	0,19 bA	0,71 aA
Luvissolo	0,09 bB	0,33 aC
Vertissolo	0,04 bB	0,22 aD
Chernossolo	0,05 bB	0,25 aD
	35 dias	
Planossolo – SXes	0,09 bB	0,38 aB
Planossolo – SXea	0,15 bA	0,58 aA
Luvissolo	0,09 bB	0,37 aB
Vertissolo	0,06 bB	0,32 aC
Chernossolo	0,08 bB	0,35 aBC

provavelmente deve-se ao fato de nos solos de basalto haver: (a) predominância das reações de redução dos óxidos mangânicos a manganosos, as quais pouco contribuem para o aumento das concentrações de P na solução (Quadro 2); (b) ausência, ou menor redução, dos óxidos férricos a ferrosos com liberação do P adsorvido (Quadro 3); e c) readsorção do P desorvido pela redução. Resultados semelhantes foram obtidos por Gonçalves et al. (2008), os quais avaliaram a solubilização de P em solos alagados sem a presença de plantas de arroz irrigado, durante 35 dias de alagamento. Nesse trabalho, sem a adição de fontes fosfatadas, o Planossolo e o Plintossolo apresentaram concentrações de P na solução variando de 0,03 a 0,10 e de 0,02 a 0,03 mg L⁻¹, respectivamente. Silva & Ranno (2005) avaliaram a liberação de nutrientes para a solução do solo em três solos de várzea submetidos ao alagamento por 60 dias. As concentrações de P na solução do Planossolo e Gleissolo variaram de 0,02 a 1 mg L⁻¹ e de 0,02 a 0,6 mg L⁻¹, respectivamente.

Aos 21 dias de alagamento, com a adição de superfosfato triplo, observou-se que o Luvissolo apresentou maiores concentrações de P que o Vertissolo e o Chernossolo. É provável que o P oriundo da solubilização do superfosfato triplo esteja sendo adsorvido com maior intensidade no Chernossolo e no Vertissolo do que no Luvissolo, já que este apresentou menor capacidade de adsorção de P em relação aos anteriores (Quadro 1).

Aos 35 dias de alagamento, observou-se que na ausência e presença de superfosfato triplo o Planossolo SXea apresentou maiores concentrações de P na solução em relação aos demais. Isso se deve às maiores concentrações de P na solução obtidas até os 21 dias de alagamento, mantendo-se os valores estabilizados até esse período. Na presença de superfosfato triplo, o Vertissolo apresentou menores concentrações de P na solução em relação aos solos das classes Planossolo e Luvissolo, em decorrência, provavelmente, da maior readsorção do P solubilizado no superfosfato triplo no Vertissolo em relação ao Planossolo e ao Luvissolo.

Em todos os solos e períodos de alagamento, observou-se que a presença de superfosfato triplo promoveu maiores concentrações de P na solução, quando comparada à ausência de superfosfato triplo, o que se deve à solubilização do P contido no adubo fosfatado.

O P acumulado pelas plantas mostrou interação significativa dos fatores estudados (Quadro 5). Na ausência e presença de superfosfato triplo, o Planossolo SXea apresentou maior quantidade de P acumulado em relação aos demais. Isso se deve à maior concentração de P na solução obtida no solo Planossolo SXea na maior parte do período de alagamento, proporcionando maior produção de matéria seca e concentração de P na parte aérea, em relação aos demais (Quadros 6 e 7).

Segundo Fageria & Stone (2003), as plantas de arroz absorvem 50 % do P necessário no estágio inicial de crescimento, quando atinge somente 20 % do crescimento total (Fageria, 1984). Devido à maior exigência do P na fase inicial de crescimento e à baixa mobilidade no solo, recomenda-se a aplicação integral desse elemento na semeadura (Scivittaro, 2006). Em relação aos solos com baixo teor de P disponível obtidos por Mehlich-1, o Planossolo SXes apresentou maior quantidade de P acumulado na planta em relação ao Vertissolo e Chernossolo, como consequência da maior concentração de P na solução obtida no solo Planossolo

Quadro 5. Valores de P acumulado na parte aérea das plantas de arroz, em função dos tratamentos

Solo	Superfosfato triplo	
	Sem	Com
	mg planta ⁻¹	
Planossolo – SXes	4,92 bB	13,52 aB
Planossolo – SXea	9,50 bA	18,92 aA
Luvissolo	3,02 bC	10,69 aC
Vertissolo	1,51 bCD	7,47 aD
Chernossolo	1,59 bC	8,38 aD

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si (Duncan, 5 %).

Quadro 6. Produção de matéria seca de plantas de arroz, em função dos tratamentos

Solo	Superfosfato triplo	
	Sem	Com
	———— g planta ⁻¹ ————	
Planossolo – SXes	1,97 bB	4,11 aA
Planossolo – SXea	2,53 bA	4,20 aA
Luvissolo	1,67 bB	3,82 aB
Vertissolo	1,26 bC	3,00 aD
Chernossolo	1,30 bC	3,32 aC

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si (Duncan, 5 %).

Quadro 7. Concentração de fósforo na parte aérea das plantas de arroz, em função dos tratamentos

Solo	Superfosfato triplo		Média
	Sem	Com	
	———— % (dag kg ⁻¹) ————		
Planossolo – SXes	0,25	0,33	0,29 B
Planossolo – SXea	0,38	0,44	0,41 A
Luvissolo	0,18	0,28	0,23 C
Vertissolo	0,12	0,25	0,19 D
Chernossolo	0,12	0,25	0,19 D
Médias	0,21 b	0,31 a	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si (Duncan, 5 %).

SXes em relação ao Vertissolo e Chernossolo até os 21 dias de alagamento, proporcionando maior concentração de P na parte aérea e produção de matéria seca em comparação aos solos Vertissolo e Chernossolo.

Na presença de superfosfato triplo, o Luvissolo apresentou maior quantidade de P acumulado na planta quando comparado ao Vertissolo e Chernossolo, em decorrência da maior concentração de P na solução obtida na maior parte do período de alagamento no Luvissolo em relação ao Vertissolo e ao Chernossolo, promovendo, provavelmente, maior concentração de P na parte aérea e produção de matéria seca no Luvissolo em relação ao Vertissolo e Chernossolo.

Em todos os solos, observou-se que a presença de superfosfato triplo promoveu maior quantidade de P acumulado na planta em relação à ausência de superfosfato triplo. Isso se deve à maior concentração de P na solução obtida em todos os períodos de alagamento com a presença de superfosfato triplo, resultando assim em maior concentração de P na parte aérea e produção de matéria seca em comparação com a ausência de superfosfato triplo.

CONCLUSÕES

1. Os solos oriundos de sedimentos de granito e de arenito (Planossolos) apresentaram liberação de P na solução mais rapidamente após o alagamento que os oriundos de sedimento de basalto (Luvissolo, Vertissolo e Chernossolo).

2. A liberação de P mais rápida para a solução nos Planossolos proporcionou maior quantidade de P acumulado na planta do que a do Vertissolo e Chernossolo, sem ou com a adição de superfosfato triplo.

LITERATURA CITADA

- BOHNEN, H.; SILVA, L.S.; MACEDO, V.R.M. & MARCOLIN, E. Ácidos orgânicos na solução de um Gleissolo sob diferentes sistemas de cultivos com arroz irrigado. R. Bras. Ci. Solo, 29:475-480, 2005.
- COUNCE, P.A.; KEISLING, T.C. & MITCHELL, A.J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. Crop Sci., 40:436-443, 2000.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFSRS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. 394p.
- 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.
- FAGERIA, N.K. Adubação e nutrição mineral da cultura de arroz. Goiânia, Embrapa-CNPAP, 1984. 341p.
- FAGERIA, N.K. & STONE, L.F. Manejo do fósforo. In: FAGERIA, N.K.; STONE, L.F. & SANTOS, A.B., eds. Manejo da fertilidade do solo para o arroz irrigado. Santo Antonio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p.95-120.
- GONÇALVES, G.K.; SOUSA, R.O.; VAHL, L.C. & BORTOLON, L. Solubilização dos fosfatos naturais Pato de Minas e Arad em dois solos alagados. R. Bras. Ci. Solo, 32:2157-2164, 2008.
- KPOMBLEKOU, K. & TABATABAI, M.A. Effect of organic acids on release of phosphorus from phosphate the rocks. Soil Sci., 158:442-453, 1994.
- KIRK, G.J.D.; SOLIVAS, J.L. & ALBERTO, M.C. Effects of flooding and redox condition on solute diffusion in soil. Europ. J. Soil Sci., 54:617-624, 2003.
- MEHRA, O.P. & JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clay by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. Clays Clay Miner., 7:317-327, 1960.
- MUNCH, J.C. & OTTOW, J.C.G. Preferential reduction of amorphous to crystalline iron oxides by bacterial activity. Soil Sci., 129:15-21, 1980.

- PIERZYNSKI, G, M.; McDOWELL, R.M. & SIMS, J.T. Chemistry, cycling, and potential movement of inorganic phosphorus in soils. In: SIMS, J.T. & SHARPLEY, A.N., eds. Phosphorus: Agriculture and the environment. Madison, Soil Science Society of America, 2005. p.53-86.
- PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. *Adv. Agron.*, 24:29-96, 1972.
- SCHWERTMANN, U. Differenzierung der eisenoxide des bodens durch extraction mit ammoniumoxalat-losung. *Zeitschrift Pflanzenernahrung Bodenk.*, 105:194-202, 1964.
- SCIVITTARO, W.B. Otimização do uso de fertilizantes nas lavouras de arroz do RS. In: GOMES, A.S.; PETRINI, J.A. & FAGUNDES, P.R.R., eds. Manejo racional da cultura do arroz irrigado "Projeto Marca". Pelotas, Embrapa Clima Temperado, 2006. p.77-90.
- SHAHANDEH, H.; HOSSNER, L.R.; TURNER, F.T. Phosphorus relationships to manganese and iron in rice soils. *Soil Science*, Baltimore, 168: 489-500, 2003.
- SILVA, L.S. & RANNO, S.K. Calagem em solos de várzea e a disponibilidade de nutrientes na solução do solo após o alagamento. *Ci. Rural*, 35:1054-1061, 2005.
- SOUSA, R.O. Oxirredução em solos alagados afetada por resíduos vegetais. 2001. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 164p. (Tese de Mestrado)
- RANNO, S.K. Estimativa da disponibilidade de fósforo para a cultura da arroz irrigado em solos do Rio Grande do Sul. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2004. 139p. (Dissertação de Mestrado)
- YOSHIDA, T. Microbial metabolism of flooded soil. In: SOILS AND RICE, 1978. Los Baños, International Rice Research Institute, 1978. p.445-463.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 147p. (Boletim Técnico, 5)

