

VARIAÇÃO DO pH, DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E DA DISPONIBILIDADE DOS NUTRIENTES NITROGÊNIO, FÓSFORO, POTÁSSIO, CÁLCIO E MAGNÉSIO EM QUATRO SOLOS SUBMETIDOS A INUNDAÇÃO¹

JOSÉ FRANCISCO V. MORAES² e CLÁUDIO JOSÉ S. FREIRE³

SINOPSE.— São apresentados os efeitos da inundação sobre o pH, a condutividade elétrica e a liberação dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg de quatro solos arrozeiros do Rio Grande do Sul. O pH dos solos aumentou com o tempo de inundação. O aumento foi maior nos solos não adubados, indicando a influência dos fertilizantes sobre esta características físico-química.

A inundação dos solos causou o aumento da condutividade elétrica do percolado ao promover a liberação do nitrogênio, do fósforo, do potássio, do cálcio e do magnésio para a solução do solo. O nitrogênio aplicado ao solo como fertilizante foi perdido, em grande parte, nas primeiras semanas de submergência. A perda do nitrogênio acreditamos ter sido causada pelos processos de nitrificação e desnitrificação que ocorrem nos solos inundados. O fósforo aplicado ao solo foi fixado no início da inundação. A fixação do fósforo foi maior nos solos Pelotas e Vacacaí, os quais, posteriormente, apresentaram também menor liberação desse nutriente do que os solos Formiga e Formiga-Banhado.

Palavras chaves adicionais para índice: Solos de arroz, inundação, redução do solo, solução do solo, condições anaeróbias, condições aeróbias, nitrificação, desnitrificação, Fe²⁺ e Mn²⁺ intercambiável.

INTRODUÇÃO

Após a inundação do solo, o suprimento de oxigênio para os microrganismos é praticamente eliminado. Os organismos aeróbios do solo tornam-se inativos ou morrem e são substituídos pelos organismos anaeróbios verdadeiros ou facultativos. Esses organismos efetuam a decomposição da matéria orgânica, usando os componentes oxidados do solo como receptores de elétrons, reduzindo-os (Ponnamperuma 1964, Black 1968, Takai *et al.* 1956).

A redução do solo é acompanhada por modificações eletro-químicas. Ponnamperuma (1964), Black (1968) e Moraes (1972a) verificaram que o pH dos solos ácidos aumenta até alcançar valores estáveis entre 6,5 e 7,0 duas a três semanas depois da inundação.

Outro resultado da inundação, geralmente observado, é o aumento da condutividade elétrica da solução do solo. Garcia Lagos (1968) indica que a condutividade elétrica do extrato de um solo inundado aumenta nas fases iniciais da inundação, alcança um máximo e logo diminui. O aumento da condutividade elétrica dos solos, segundo Ponnamperuma (1964), é causado pela mobilização do Ca²⁺ e do Mg²⁺ nos solos neutros ou alcalinos, enquanto que nos solos ácidos é devido ao aumento do Fe²⁺ e ao deslocamento, principalmente, do Ca²⁺ e do Mg²⁺ das posições de troca.

Em condições de boa aeração, a presença do oxigênio não permite que o NH₄⁺ e o NO₂⁻ se acumulem no solo. A mineralização do N orgânico se processa até a

produção de nitratos. Ao contrário, em condições de anaerobiose, o processo praticamente termina com a produção de NH₄⁺ (Broadbent & Clark 1965, Black 1968). Conseqüentemente, o NH₄⁺ tende a se acumular nos solos inundados. Black (1968) encontrou que o conteúdo em NH₄⁺ de 39 solos aumentou de 20 a 80^u g/g de solo em duas semanas, quando estes foram incubados na ausência de oxigênio. Em um solo arenoso, bem suprido de matéria orgânica (6,22% de M.O.), Ponnamperuma (1964) determinou que o NH₄⁺ em solução atingiu concentrações de até 70 ppm em, aproximadamente, 75 dias de submergência, enquanto que nos solos argilosos e com baixo conteúdo de matéria orgânica (1,72% de M.O.) a concentração de N-amoniaco, na fase líquida, foi de apenas 5 ppm.

A liberação do amônio fixado no solo também contribui para aumentar a concentração deste nutriente em solução. Moore (1965) demonstrou a presença de amônio fixado, em alguns solos superficiais, em quantidades que variavam entre 158 e 300 ppm. Por outro lado, Allison *et al.* (1953) verificaram que a secação do solo aumenta a fixação do amônio e que o umedecimento causa a liberação do N-NH₄⁺ para a solução. A fertilização potássica e a fosfatada reduzem a fixação do amônio (Malquori & Radaelli 1960, Velazquez 1971).

A presença de grandes quantidades de Fe²⁺ nos solos inundados é citada por diversos investigadores (Mandal 1961, Cotoh & Yamashita 1966, Mahapatra & Patrick Jr. 1968). Pearsall (1950) observou, em um solo pantanoso, quantidades de Fe²⁺ intercambiável da ordem de 248 mg/100 g de solo seco. Isto significa que uma quantidade equivalente de cátions trocáveis, incluindo o K⁺, o NH₄⁺, o Ca²⁺, o Mg²⁺ e o Na⁺, foi deslocada para a solução do solo.

¹ Aceito para publicação em 18 de maio de 1973.

² Eng.º Agrônomo, M.Sc., da Seção de Solos do Instituto de Pesquisas Agropecuárias do Sul (IPEAS), Cx. Postal E, Pelotas, Rio Grande do Sul, e bolsista do Conselho Nacional de Pesquisas.

³ Eng.º Agrônomo da Seção de Química e Tecnologia do IPEAS.

Outra modificação importante que ocorre nos solos inundados é o aumento da disponibilidade do fósforo. De acordo com Ponnampertuma (1955), Black (1968) e Moraes (1972a), o fósforo solúvel e o fósforo extraído do solo aumentam logo depois da inundação. Trabalhos realizados no International Rice Research Institute (IRRI 1969, 1970) conduzem a esta mesma observação.

Além dessas alterações que ocorrem nos solos em consequência do excesso de água e que favorecem a nutrição das plantas, outras acontecem, algumas das quais podem causar modificações nos processos de absorção dos nutrientes. Assim, se a redução do solo é intensa, os sulfatos são reduzidos a H_2S . Este ácido, ao atingir determinadas concentrações, afeta o funcionamento normal das raízes e inibe a absorção de água e nutrientes (Mitsui 1960, Moraes 1972b).

A ocorrência dos ácidos fórmico, acético, propiônico, butírico e outros produtos intermediários da decomposição anaeróbia da matéria orgânica, em concentrações suficientemente altas para inibir o crescimento do arroz, tem sido observada nos solos inundados (Yamane 1958, Mitsui *et al.* 1960, Tanaka & Navasero 1967).

Com o objetivo de estudar o efeito da inundação sobre o pH, a condutividade elétrica do percolado e a liberação dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg do solo, um experimento de incubação foi conduzido pelas Seções de Solos e de Química e Tecnologia do Instituto de Pesquisas Agropecuárias do Sul (IPEAS).

de cada tratamento foram colocados em vasos cônicos de plástico, e inundados. Usou-se o delineamento experimental completamente casualizado.

Diariamente era reposta a água perdida por evaporação e a cada semana, imediatamente após a coleta das amostras do percolado, se repunha nos vasos uma quantidade de água igual à retirada.

Os solos foram mantidos inundados por 18 semanas. Durante as primeiras oito semanas, a cada sete dias, efetuou-se a determinação do pH do solo e coletaram-se amostras do percolado para medir a condutividade elétrica e quantificar o nitrogênio, o fósforo, o potássio, o cálcio e o magnésio presentes na solução. Estas mesmas análises, com exceção da referente à condutividade elétrica do percolado, foram realizadas na 18.^a semana.

A determinação do pH dos solos foi realizada *in situ*, sempre a 4 cm de profundidade, com o potenciômetro Beckman, modelo II 2, com eletrodos de vidro e de calomelano. A condutividade elétrica do percolado dos solos foi medida com a ponte de condutividade elétrica Beckman modelo RC 16 B 2.

As análises químicas da solução do solo foram realizadas no laboratório da Seção de Química e Tecnologia do IPEAS. O nitrogênio amoniacal foi analisado pelo método de Kjeldahl com destilação direta, seguindo-se o método descrito pela Association of Official Agricultural Chemists (AOAC 1965). O fósforo, o potássio,

QUADRO 1. Dados químicos de avaliação da fertilidade dos solos estudados

Solos	pH (1:2,5)	Al (g%)	Ca + Mg (g%)	K (ppm)	P (ppm)	M. O. (%)
Pelotas	5,2	1,0	5,0	96	1,6	2,19
Formiga	5,5	0,0	7,8	112	2,4	1,63
Vacacaí	5,4	1,0	7,7	88	1,7	2,19
Formiga-Banhado	5,8	0,0	8,0	100	1,0	1,89

MATERIAL E MÉTODOS

Foram usados quatro solos, o Pelotas, o Formiga, o Vacacaí e a associação de solos Formiga-Banhado, cuja classificação, segundo o mapa do levantamento de reconhecimento dos solos do Rio Grande do Sul (Divisão de Pesquisa Pedológica 1971), é a seguinte:

solo Pelotas: Planosol de textura argilosa, relevo plano e substrato de sedimentos de granito;

solo Formiga: Brunizem hidromórfico de textura média, relevo plano e substrato de sedimentos recentes lacustres;

solo Vacacaí: Planosol de textura média, relevo plano e substrato composto por sedimentos de arenito-siltito;

solo Banhado: Cley húmico de textura argilosa, relevo plano e substrato de sedimentos recentes.

Os solos foram analisados no laboratório de rotina e os dados são mostrados no Quadro 1.

Os tratamentos usados foram os de um fatorial completo 4 x 2 (quatro solos e dois níveis de fertilizante) em duas repetições. O adubo usado foi uma mistura de sulfato de amônio, fosfato de potássio e cloreto de potássio, nas quantidades de 0 - 0 - 0 e 100 - 120 - 100 kg/ha de N, P e K, respectivamente. Imediatamente depois de misturados com o adubo, 2 kg de solo

o cálcio e o magnésio foram determinados pelos métodos descritos por Lott *et al.* (1956).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

pH

Nas primeiras 24 horas de inundação o pH dos solos diminuiu, aumentando a partir daí até alcançar valores compreendidos entre 6,1 e 6,6 nos tratamentos não adubados, e entre 5,8 e 6,3 nos solos adubados, os quais se mantiveram mais ou menos estáveis até o final do experimento (Fig. 1 e 2). A estabilização do pH em seus valores máximos ocorreu, aproximadamente, aos 35 dias de inundação, com exceção do solo Vacacaí no tratamento sem adubo, cujo pH só se estabilizou aos 56 dias de submersão.

O aumento do pH foi maior no solo Vacacaí, intermediário no solo Formiga-Banhado e menor nos solos Pelotas e Formiga. A intensidade de variação do pH dos solos, depois da inundação, é dependente: a) do pH inicial do solo, b) da natureza e quantidade dos componentes oxidados do solo, e c) do tipo e quantidade de matéria orgânica. Segundo Black (1968), a causa principal do aumento do pH nos solos inundados

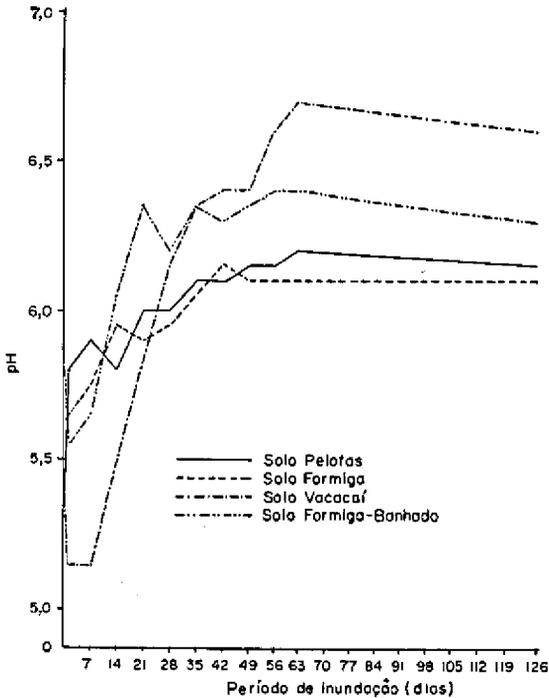


FIG. 1. Variação do pH dos solos não adubados durante o período de inundação.

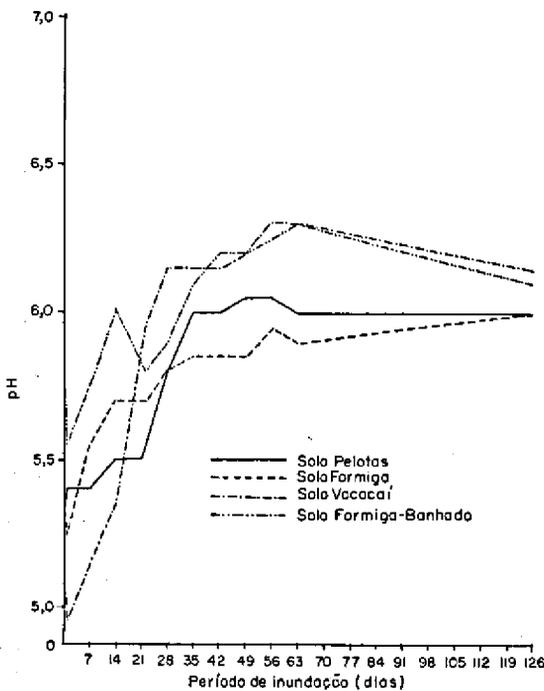


FIG. 2. Variações do pH dos solos adubados durante o período de inundação.

é, aparentemente, a neutralização do solo pelos grupos hidroxilos ativados pela redução dos óxidos ou hidróxidos de ferro à forma mais solúvel de Fe-ferroso. Acreditamos, portanto, que a estabilização do pH do solo Vacacaí em valores mais altos do que os observados nos outros solos foi devida ao seu maior conteúdo em ferro, o qual não foi determinado mas se infere pela deposição de Fe^{2+} na sua superfície.

A diminuição do pH no primeiro dia de inundação é, segundo Ponnampertuma (1964), o resultado do acúmulo de CO_2 e da produção de ácidos orgânicos na capa reduzida dos solos.

Condutividade elétrica

Foi observado que a condutividade elétrica do percolado dos solos não adubados (Fig. 3) aumentou nas primeiras semanas de inundação, alcançou um máximo e logo diminuiu. No caso dos solos adubados (Fig. 4), a condutividade elétrica do percolado foi elevada no início da submergência e diminuiu com o transcurso do tempo até atingir valores semelhantes aos dos tratamentos sem adubo.

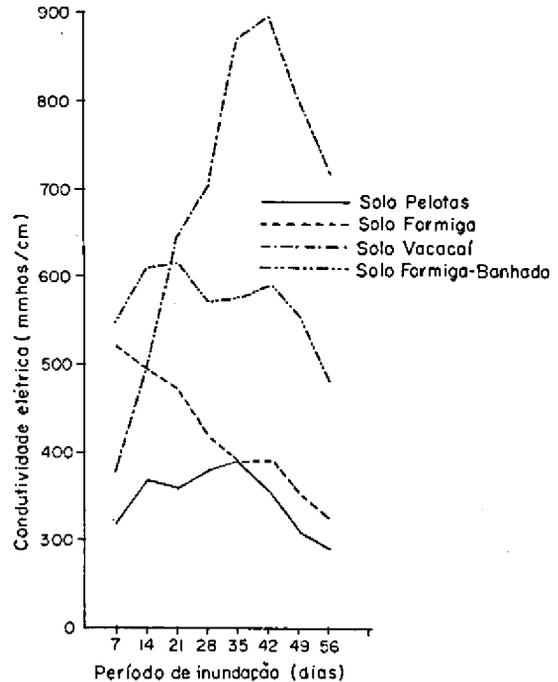


FIG. 3. Variação da condutividade elétrica da solução dos solos não adubados durante o período de inundação.

Entre as causas principais da variação da condutividade elétrica podem ser citadas: o aumento na solubilidade do fósforo e o deslocamento do NH_4^+ , do Ca^{2+} e do Mg^{2+} do complexo de intercâmbio para a solução do solo, pelo Fe^{2+} e Mn^{2+} (Fig. 5 a 7). Ponnampertuma (1955) afirma que o acúmulo de CO_2 nos solos inundados contribui para o aumento da condutividade elétrica do percolado ao aumentar a concentração de bicarbonatos.

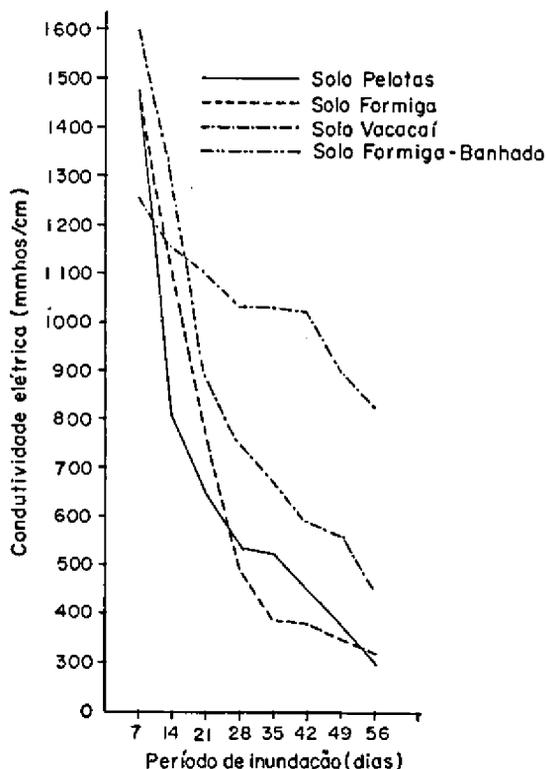


FIG. 4. Variação da condutividade elétrica da solução dos solos adubados durante o período de inundação.

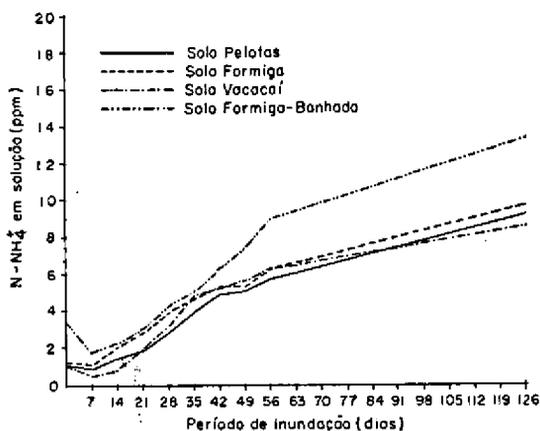


FIG. 5. Concentração do nitrogênio na solução dos solos não adubados durante o período de inundação.

A diminuição dos valores da condutividade elétrica da solução dos solos adubados se atribui à reação dos fertilizantes com os compostos do solo. Foi observado, durante o desenrolar do experimento, que o percolado dos solos adubados era incolor e hialino, enquanto que o dos solos não fertilizados era fortemente colorido, indicando a presença de compostos orgânicos em suspensão.

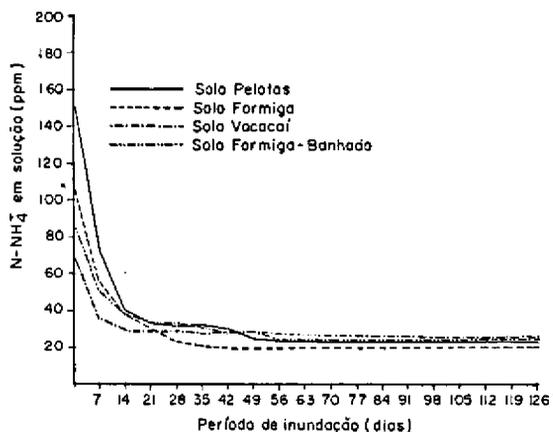


FIG. 6. Concentração do nitrogênio na solução dos solos adubados durante o período de inundação.

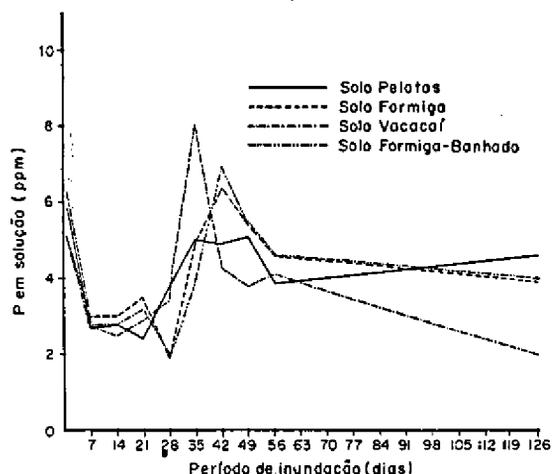


FIG. 7. Concentração do fósforo na solução dos solos não adubados durante o período de inundação.

Nitrogênio

Os resultados obtidos da determinação do $N-NH_4^+$ na solução dos solos são mostrados nas Fig. 5 e 6. A quantidade de nitrogênio amoniacal, nos quatro solos estudados, aumentou com o tempo de inundação. O aumento foi maior no solo Formiga-Banhado cuja concentração no início da inundação era de 3,0 ppm e passou para 13,4 ppm aos 126 dias de submergência. Nos solos Pelotas, Vacacaf e Formiga, os aumentos foram menores e os valores finais situaram-se entre 8,5 e 9,5, também aos 126 dias depois de inundados (Fig. 5).

A Fig. 6 mostra os resultados obtidos da análise quantitativa do nitrogênio na solução dos solos adubados. Aí se observa que a concentração do $N-NH_4^+$, determinada nas primeiras 24 horas de submergência, foi muito elevada em todos os solos. Aos sete dias de inundação esses valores eram muito inferiores aos inicialmente determinados e continuaram a diminuir até a 3.^a semana, quando apresentaram valores que se mantiveram estáveis até o final do estudo.

A observação das Fig. 5 e 6, nos levou a acreditar que, além da decomposição da matéria orgânica, a liberação do nitrogênio do solo causou o aumento da concentração do $N-NH_4^+$ no percolado.

A diminuição da concentração do nitrogênio, nos solos adubados, parece ter sido devida, principalmente, à perda deste nutriente em forma de gás. A saturação do solo, com água, somente é completada vários dias depois da inundação e o ar retido nos poros permite a oxidação do NH_4^+ à forma de nitrato. Do mesmo modo, o oxigênio que penetra no solo, através da água de inundação, mantém uma zona oxidada na superfície do solo onde os processos de nitrificação também ocorrem. Os nitratos aí produzidos, ao se difundirem para as zonas reduzidas do solo, sofrem o processo de desnitrificação à forma de nitrogênio gasoso, incluindo o NO_2 , o N_2O e N_2 . Estes gases escapam do solo e se perdem na atmosfera. Trabalhos do IRRI (1970) sugerem que a bactéria *Nitrosomonas europaea* oxida o $N-NH_4$ a nitrato nos solos reduzidos.

Fósforo

A concentração do fósforo no percolado dos solos aumentou com o tempo de submergência, mas o aumento não foi igual nos quatro solos que formavam o experimento. A liberação do fósforo observada no solo Vacacai foi a mais intensa e o valor máximo observado foi de 8 ppm. O solo Pelotas mostrou a menor liberação de P, a qual não ultrapassou os 5,1 ppm, enquanto que a maior concentração de P determinada na solução dos solos Formiga e Formiga-Banhado foi de 6,4 e 6,9 ppm, respectivamente (Fig. 7).

Os valores máximos de P, no percolado dos solos, ocorreram 5 a 6 semanas depois da inundação e a estes se seguiu um período de diminuição da concentração do fósforo solúvel. Com exceção do Solo Vacacai, a quantidade de fósforo solúvel determinada aos 126 dias foi aproximadamente igual à observada aos 56 dias de iniciado o experimento.

Nos solos adubados verifica-se que a quantidade de fósforo, analisada no primeiro dia de estudo, foi menor do que a aplicada como fertilizante (Fig. 8). Estes dados indicam que parte do fósforo do fertilizante foi

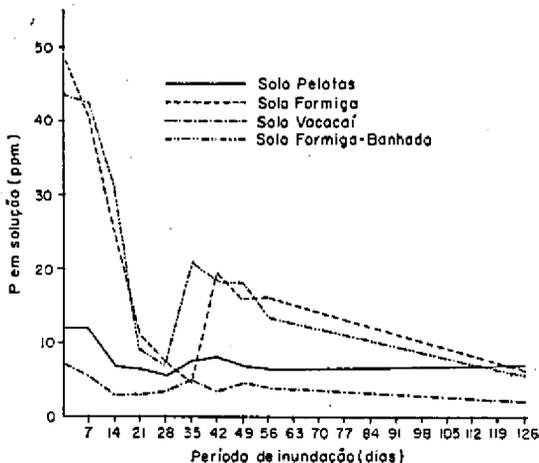


Fig. 8. Concentração do fósforo na solução dos solos adubados durante o período de inundação.

fixada imediatamente depois de misturado com o solo. Quantitativamente, a fixação do fósforo foi maior nos solos Vacacai e Pelotas e menos intensa nos solos Formiga e Formiga-Banhado. Entretanto, a quantidade de P fixado nestes dois últimos solos aumentou com o transcurso do tempo até se igualar à dos dois primeiros, quatro semanas após. Os resultados obtidos neste trabalho concordam com os obtidos anteriormente (Moraes 1972a).

A semelhança do observado nos tratamentos sem adubo, a concentração de fósforo no percolado dos solos adubados aumentou entre a 5.^a e 6.^a semanas de estudo. Neste caso, os solos Pelotas e Vacacai foram os que apresentaram a menor liberação.

Entre os fatores responsáveis pela maior disponibilidade do fósforo nos solos inundados, podem ser citados, entre outros, o aumento do pH e, principalmente, a redução do fosfato férrico à forma mais solúvel de fosfato ferroso. A diminuição posterior da quantidade de P no percolado é, segundo Ponnampertuma (1964), devida à reabsorção dos fosfatos pela argila ou pelo hidróxido de alumínio.

Potássio

A semelhança do fósforo, a quantidade de potássio presente na solução dos solos não adubados foi bastante elevada no início da inundação, mostrando teores que variavam entre 45 e 55 ppm (Fig. 9). Esses valores diminuíram na primeira semana de estudo e aumentaram, novamente, a partir da segunda semana. Depois de alcançar valores máximos, 5 a 6 semanas após a submergência, a concentração do potássio no percolado decresceu outra vez. A análise efetuada aos 126 dias mostrou que a quantidade de potássio na solução dos solos Formiga e Formiga-Banhado foi, aproximadamente, igual àquela determinada aos 56 dias, enquanto que nos solos Vacacai e Pelotas foi maior.

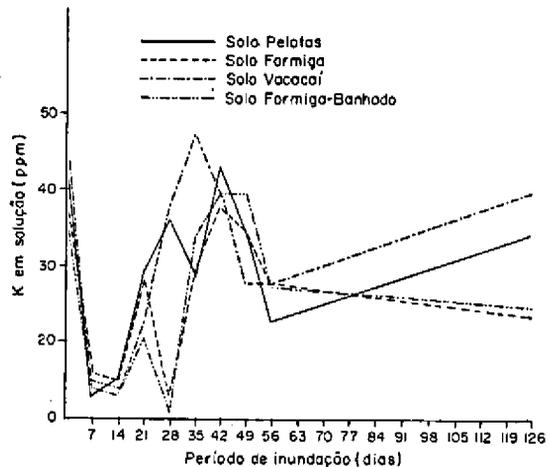


Fig. 9. Concentração do potássio na solução dos solos não adubados durante o período de inundação.

Como no caso anterior, a concentração de K na solução dos solos adubados diminuiu nas primeiras semanas de inundação (Fig. 10). Entretanto, a liberação posterior do K foi menos intensa do que a observada nos tratamentos sem adubo.

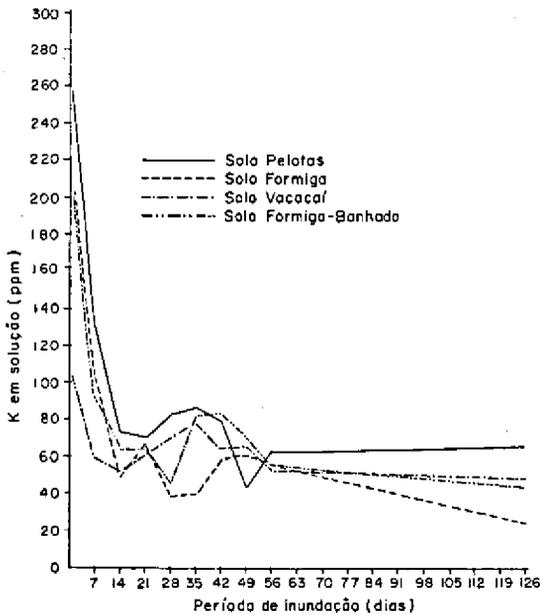


FIG. 10. Concentração do potássio na solução dos solos adubados durante o período de inundação.

Acreditamos que a elevada concentração de potássio, determinada no início do experimento, foi causada pela secagem do solo e seu posterior umedecimento. O aumento na disponibilidade do K, observado durante o período de inundação, foi devido ao deslocamento deste cátion do complexo de intercâmbio para a solução, principalmente, pelo Fe^{2+} , NH_4^+ e Nn^{2+} . O ferro, pela quantidade que apresenta a maioria dos solos, tem grande importância na liberação dos cátions intercambiáveis.

Cálcio

A liberação do cálcio do solo foi bastante intensa, tanto nos solos não adubados como nos adubados (Fig. 11 e 12). Inicialmente, a concentração de cálcio na solução dos solos adubados foi maior do que nos solos

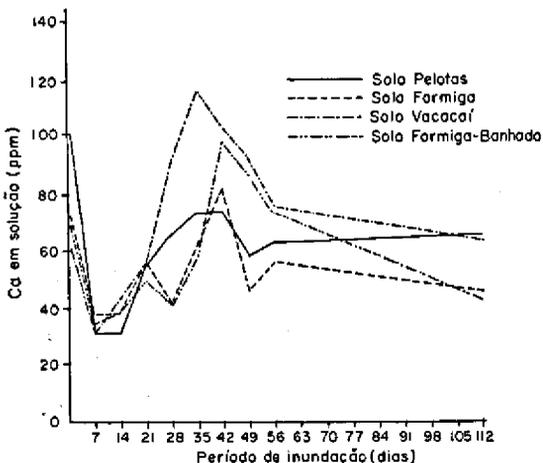


FIG. 11. Concentração do cálcio na solução dos solos não adubados durante o período de inundação.

não adubados. Acredita-se que essa diferença foi devida ao deslocamento do cálcio pelo K^+ e NH_4^+ aplicados ao solo como fertilizantes.

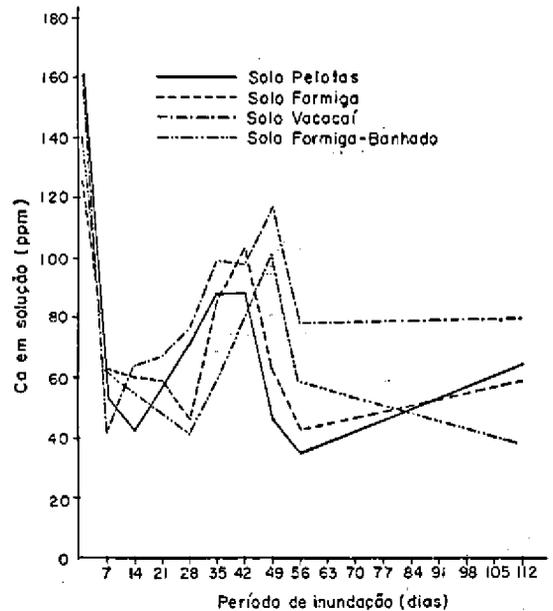


FIG. 12. Concentração do cálcio na solução dos solos adubados durante o período de inundação.

Os picos das curvas de liberação do cálcio para a solução ocorreram entre a 4.^a e 6.^a semanas nos solos não adubados, e entre 5.^a e 7.^a semanas nos adubados. Em ambos os casos, a concentração de cálcio determinada aos 126 dias foi mais ou menos igual àquela analisada aos 56 dias.

A mobilização do cálcio foi maior no solo Vacacai e menor no solo Pelotas e, acredita-se que tenha sido causada, principalmente, pelas reações de intercâmbio catiônico entre o Ca^{2+} intercambiável e o Fe-ferroso, produzido no solo. O CO_2 produzido no solo deve ter contribuído, também, para a liberação do Ca^{2+} .

A maior liberação do cálcio observada nos solos adubados deve-se à ação dos fertilizantes em deslocar o Ca^{2+} intercambiável para a solução do solo.

Magnésio

Nas Fig. 13 e 14 são mostrados os resultados da determinação química do magnésio na solução do solo. Depois de diminuir notavelmente, na primeira semana de submergência, a concentração de Mg no percolado dos solos aumentou e os valores máximos foram observados entre a 5.^a e 8.^a semanas de estudo.

A ação do fertilizante sobre a liberação do magnésio foi semelhante à observada em relação ao cálcio (Fig. 14). Tal como ocorreu com o cálcio, a liberação do magnésio nos solos adubados foi ligeiramente superior à observada nos solos não adubados. As causas da liberação do magnésio para a solução do solo, acredita-se terem sido as mesmas que causaram a liberação do cálcio.

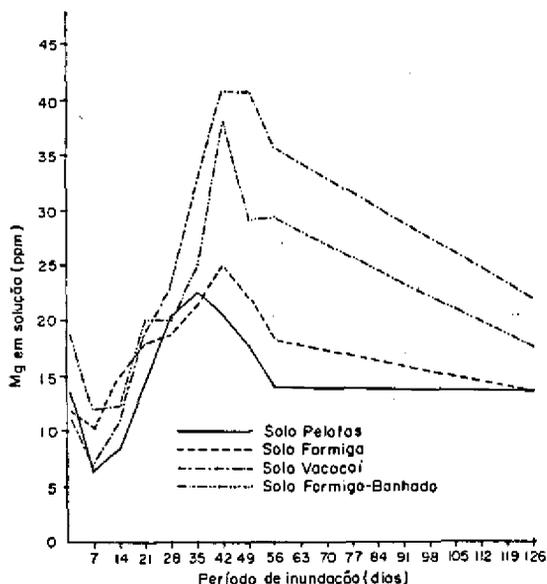


FIG. 13. Concentração do magnésio na solução dos solos não adubados durante o período de inundação.

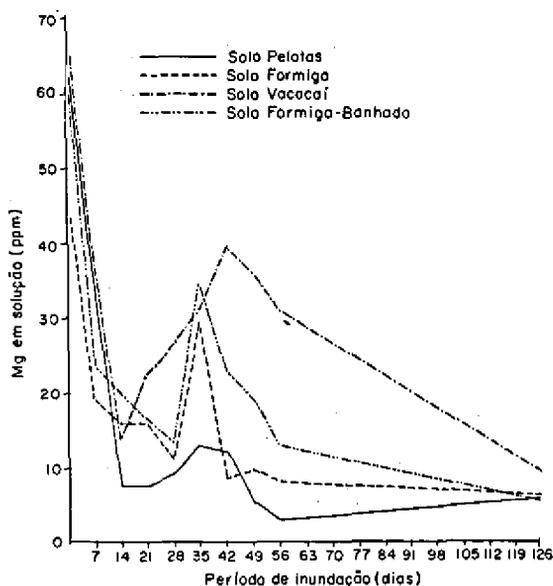


FIG. 14. Concentração do magnésio na solução dos solos adubados durante o período de inundação.

Análise dos solos ao final do experimento

Ao final do período de estudo os solos de todos os tratamentos foram analisados no laboratório de rotina. As amostras dos solos foram secadas na estufa para que a operação fosse rápida e se evitasse o contato prolongado das mesmas com o ar atmosférico. O tempo necessário para a secagem dos solos foi de 48 horas e os resultados obtidos são mostrados no Quadro 2.

O período de dois dias foi suficiente para que os solos apresentassem as características observadas antes da inundação (Quadros 1 e 2). O pH dos solos, cujos valores aumentaram durante o período de submergência, retornaram aos valores iniciais tão logo o solo esteve em contato com o ar atmosférico. Em relação ao alumínio, os dados do Quadro 2 mostram que a inundação dos solos causou a diminuição da quantidade de Al^{3+} trocável e o tempo de secagem parece não ter sido suficiente para aumentá-lo até as quantidades originalmente determinadas. A esta observação deve ser somada a quantidade de alumínio que foi extraída do solo por ocasião da coleta das amostras do percolado.

Os teores de Ca + Mg e de K determinados ao final do experimento, nos tratamentos sem adubo, e nos solos Pelotas e Formiga-Banhado adubados (Quadro 2), foram inferiores aos observados no início do estudo (Quadro 1). Acredita-se que a retirada destes nutrientes junto com o percolado dos solos e a refixação dos mesmos tenham sido os fatores responsáveis pela diferença observada. O teor mais elevado de potássio determinado nos solos adubados foi devido à aplicação deste nutriente como fertilizante e, também, à ação competitiva dos íons NH_4^+ pelos sítios de fixação do K^+ . Black (1968) afirma que a fixação do potássio diminui se aplicamos amônio ao solo.

No caso do fósforo, tal como ocorreu com o alumínio, o tempo de secagem não foi suficiente para que o mesmo fosse refixado e voltasse a apresentar os valores originais. Deve-se notar que os menores valores de fósforo assimilável foram determinados no solo Vacacai, o qual possui maior capacidade de fixação do fósforo do que os outros solos estudados.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente trabalho permitiram verificar que a inundação causou profundas modificações nas características físico-químicas e químicas dos solos, tais como pH, a condutividade elétrica do percolado e a solubilidade dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg. Todas estas modificações foram conseqüências das novas condições de óxido-redução que ocorreram nos solos depois da inundação. O pH dos solos ácidos aumentou nas primeiras semanas de submergência até alcançar valores que permaneceram estáveis até o final do experimento. A condutividade elétrica do percolado dos solos também aumentou. O aumento foi causado, principalmente, pelo deslocamento do Ca^{2+} , do Mg^{2+} , do K^+ e do NH_4^+ do complexo de intercâmbio para a solução do solo devido às reações entre o Fe^{2+} produzido no solo e os cátions trocáveis. No caso dos solos adubados, a condutividade elétrica do percolado foi alta no início do experimento mas diminuiu com o transcurso do tempo e os valores finais foram semelhantes aos observados na solução dos solos não adubados.

A disponibilidade do fósforo também foi alterada quando se modificaram as condições de óxido-redução dos solos. No presente trabalho foi observado que, à semelhança do potássio, do cálcio e do magnésio, a concentração do P em solução aumentou nas primeiras semanas de inundação, alcançou um máximo e logo diminuiu.

Muito importante para a nutrição do arroz é a produção e o acúmulo de H_2S e ácidos orgânicos que ocor-

QUADRO 2. Efeito da submergência e da adubação N, P e K sobre a fertilidade dos solos

Solos	pH (1:2,5)	Al (g%)	Ca + Mg (g%)	K (ppm)	P (ppm)	M. O. (%)
Pelotas						
0 — 0 — 0	5,4	0,6	3,1	52	7,5	2,40
100—120—100	5,4	0,0	2,0	124	46,5	2,40
Formiga						
0 — 0 — 0	5,6	0,0	8,0	76	22,3	2,49
100—120—100	5,6	0,0	6,8	160	40,0	2,45
Vacacaí						
0 — 0 — 0	5,3	0,4	7,4	46	4,9	1,40
100—120—100	5,3	0,3	7,6	154	11,0	1,63
Formiga-Banhado						
0 — 0 — 0	5,8	0,0	5,7	64	10,0	1,89
100—120—100	5,9	0,0	6,5	156	29,0	1,86

rem nos solos inundados. Estes compostos, ao atingirem determinadas concentrações, interferem nos processos de absorção da água e dos nutrientes (Moraes 1972b). Em todos os tratamentos foi intensa a produção de H₂S e de ácidos orgânicos. Entretanto, devido ao sistema de irrigação contínua, usado no Rio Grande do Sul, acreditamos que estes compostos não se acumulem no solo em quantidades que possam causar problemas sérios à produção orizícola. Por outro lado, este sistema de irrigação pode agravar a perda dos nutrientes do solo que são solubilizados quando se modificam as condições de oxido-redução.

As modificações que ocorreram nos solos, em consequência do excesso de água, não foram irreversíveis. Tão logo o solo foi colocado em contato com o ar atmosférico, voltou a apresentar as características físico-químicas e químicas que possuía antes de ser inundado.

REFERÊNCIAS

- Allison, F.E., Janet, H.D. & Roller, E.M. 1953. Availability of fixed ammonium in soils containing different clay minerals. *Soils Sci.* 75:361-382.
- Association of Official Agricultural Chemists 1965. Official methods of analysis of the Association of Official Agricultural Chemists, p. 17. In Horwitz, W. (ed.) *Assoc. Off. Agric. Chem.* 10th ed., New York.
- Black, C.A. 1968. *Soil-plant relationships*, 2nd ed. Wiley, New York. 792 p.
- Broadbent, F.E. & Clark, F. 1965. Denitrification. *Agronomy* 10:344-359.
- Divisão de Pesquisa Pedológica 1971. Mapa de levantamento de reconhecimento dos solos do Rio Grande do Sul. Min. Agricultura, Rio de Janeiro.
- García Lagos, R. 1968. La físico-química de los suelos inundados en relación con la nutrición del arroz. *Bola inf., Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo*. 35 p.
- Gotoh, S. & Yamashita, K. 1966. Oxidation-reduction potential of a paddy soil in situ with special reference to the production of ferrous iron, manganous manganese and sulphide. *Soil Sci. Pl. Nutr.* 12:230-238.
- International Rice Research Institute 1969. Annual Report. *IRRI*, Los Baños, Laguna, Philippines. 226 p.
- International Rice Research Institute 1970. Annual Report. *IRRI*, Los Baños, Laguna, Philippines. 265 p.
- Pesq. agropec. bras., Sér. Agron.*, 9:35-43, 1974
- Lott, W.L., Nery, J.P., Gallo, J.R. & Medcalf, J.C. 1956. A técnica de análise foliar aplicada ao cafeeiro. *Bolm* 79, Inst. Agron. Campinas, S. Paulo.
- Mahapatra, I.C. & Patrick Jr., W.H. 1968. Inorganic phosphate transformation in waterlogged soils. *Soil Sci.* 107:281-288.
- Malquori, A. & Radaelli, L. 1960. Phosphatolysis and ammonium fixation in soil. *Agrochimica* 4:288-298.
- Mandal, L.N. 1961. Transformation of iron and manganese in waterlogged soil. *Soil. Sci.* 91:121-126.
- Mitsui, S. 1960. Inorganic nutrition, fertilization and soil amelioration for lowland rice. 4th ed. Yodendo, Tokyo.
- Mitsui, S., Kumazawa, K. & Iishida, T. 1960. Dynamic studies on the nutrients uptake by crop plants. XXIII. The growth of rice plant with the use of poor drained soil as affected by the accumulation of volatile organic acids. *Soil Pl. Food* 5:196.
- Moore, A.W. 1965. Fixed ammonium in some Alberta soils. *Can. J. Soil Sci.* 45:112-115.
- Moraes, J.F.V. 1972a. Efeitos da inundação do solo. I. Influência sobre o pH, o potencial de oxido-redução e a disponibilidade do fósforo no solo. *Pesq. agropec. bras., Sér. Agron.*, 8:93-101.
- Moraes, J.F.V. 1972b. Efeitos da inundação do solo. II. Influência sobre a absorção de nutrientes e o crescimento do arroz, *Oriza sativa*. *Pesq. agropec. bras., Sér. Agron.*, 8:103-108.
- Pearsall, W.H. 1950. The investigation of wet soils and its agricultural implications. *Emp. J. exp. Agric.* 18:289-298.
- Ponnamperuma, F.N. 1955. The chemistry of submerged soils in relation to the growth and yield of rice. Ph.D. Thesis, Cornell University, Ithaca, New York.
- Ponnamperuma, F.N. 1964. Dynamic aspects of flooded soils, p. 295-328. In *Int. Rice Res. Inst.* (ed.) The mineral nutrition of the rice plant. Johns Hopkins Press, Baltimore.
- Takai, Y., Koyama, T. & Kamura, T. 1956. Microbial metabolism in reduction process of paddy soils. (Part I). *Soil Pl. Food* 2:63-68.
- Tanaka, A. & Navasero, S.A. 1967. Carbon dioxide and organic acids in relation to the growth of rice. *Soil Sci. Pl. Nutr.* 13:25-30.
- Velazquez, H.A. 1971. Determinación del amonio no intercambiable y la capacidad de fijación del amonio en distintos suelos de Mexico. Tese M.Sc., Colegio de Postgraduados, Escuela Nacional de Agricultura, México. 65 p.
- Yamane, I. 1958. Metabolism in muck paddy soil. 2. Determination of gases evolved from paddy field and estimation of decomposable organic matter. *Soil Pl. Food* 4:25-31.

ABSTRACT- Moraes, J.F.V.; Freire, C.J.S. [Variation of pH, specific conductance and N, P, K, Ca and Mg solubility in four flooded soils]. Variação do pH, da condutividade elétrica e da disponibilidade dos nutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio em quatro solos submetidos a inundação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Série Agronomia* (1974) 9, 35-43 [Pt, en] IPEAS, Cx. Postal E, Pelotas, RS, Brazil.

The work discussed in this paper deals with the effects of waterlogging on soil pH, specific conductance and on the concentrations of N, P, K, Ca and Mg in the percolates of four rice soils of Rio Grande do Sul. After flooding, the soil pH increased and the increase was greater in the unfertilized soils than that of the fertilized soils.

Flooding increased the specific conductance of the soil percolate by promoting the displacement of the nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium from the soil exchange complex to the soil solution. Almost all nitrogen applied to the soils was lost at the beginning of the experiment. The loss of nitrogen was caused by nitrification and denitrification processes that occur in paddy soils.

The phosphorus applied to the soils as fertilizer was fixed at the beginning of the flooding. The fixation on the phosphorus was greater in the Pelotas and Vacacaí soils than that observed in the Formiga and Formiga-Banhado soils. Only after reduction of the soil was the solubility of phosphorus increased.

Additional index words: Rice soils, flooding, soil reduction, soil solution, anaerobic conditions, aerobic conditions, nitrification, denitrification, exchangeable Fe^{2+} and Mn^{2+} .