

SEÇÃO IV - FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

VARIAÇÃO TEMPORAL E VERTICAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM GLEISSOLO DO RIO GUAMÁ CULTIVADO COM CANARANAS⁽¹⁾

Eliana Maria Acioli de Abreu⁽²⁾, Antonio Rodrigues Fernandes⁽³⁾
& Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo⁽⁴⁾

RESUMO

Os sedimentos transportados pelas águas barrentas do rio Guamá e a heterogeneidade dessas substâncias são responsáveis pela formação do solo e pela diversidade de características químicas na área inundável. Este trabalho teve como objetivo determinar os atributos físicos e químicos de um solo de várzea baixa do rio Guamá, em diferentes épocas, cultivado com canarana de Paramaribo (*Echinochloa polystachya* H.B.K) e canarana erecta lisa (*Echinochloa pyramidales* Lam). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 4 (quatro profundidades e quatro épocas de amostragem), com seis repetições. Amostras compostas de solo foram coletadas em seis pontos equidistantes, a partir de uma transeção, nas profundidades de 0–10, 10–20, 20–30 e 30–40 cm, nos meses de maio, agosto e novembro/2002 e fevereiro/2003. Foram determinados a granulometria, matéria orgânica, pH em H₂O, pH em KCl, P extraível, K trocável, Al trocável, Ca e Mg trocáveis e os micronutrientes: Cu, Mn, Zn e Fe. Os solos da área estudada estão inseridos na unidade dos Gleissolos e caracterizam-se por serem pouco desenvolvidos, mal drenados, normalmente ácidos, ocorrendo no perfil horizonte franco-argilo-siltoso. Houve influência da sazonalidade na composição química do solo; na época mais chuvosa e de inundação mais intensa da várzea, correspondente ao mês de fevereiro, observou-se aumento do pH nos teores de Cu e de Fe e decréscimos nos de Mg e de Al trocável; no período de menor umidade do solo, a saturação por bases e a CTC foram mais elevadas. O Fe foi o nutriente que apresentou maior variação nos seus teores com a inundação do solo, cujo aumento foi superior a 1.000 % no período de maior inundação do solo (fevereiro).

Termos de indexação: fertilidade do solo, sazonalidade, *Echinochloa polystachya*, *Echinochloa pyramidalis*.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em abril de 2004 e aprovado em janeiro de 2007.

⁽²⁾ Engenheira-Agrônoma, Mestre em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA. Caixa Postal 917, CEP 66077-530 Belém (PA). E-mail: elbreu@yahoo.com.br

⁽³⁾ Professor do Instituto de Ciências Agrárias, UFRA. E-mail: antonio.fernandes@ufra.edu.br

⁽⁴⁾ Pesquisadora da Coordenação da Ciência da Terra e Ecologia, Museu Paraense Emílio Goeldi. Avenida Perimetral 1901, CEP 66077-530 Belém (PA). Bolsista do CNPq. E-mail: ruivo@museu-goeldi.br

SUMMARY: TEMPORARY AND VERTICAL VARIATION OF CHEMICAL ATTRIBUTES OF A GLEYSOL OF THE GUAMÁ RIVER CULTIVATED WITH CANARANAS

*Sediments carried away by the muddy waters of the Guamá River and the heterogeneity of these substances are responsible for the soil formation and diversity of chemical characteristics in the periodically flooded areas. This study aimed at determining the physical and chemical attributes of a low floodplain (várzea) soil of the Guamá river, in different periods, cultivated with Paramaribo canarana (*Echinochloa polystachya* H.B.K) or canarana erecta lisa (*Echinochloa pyramidales* Lam). The experimental design was entirely randomized, in a 4 x 4 factorial scheme (4 depths and 4 sampling periods) with 6 replications. Composite soil samples were collected at six equidistant points from a transection, at depths of 0–10, 10–20, 20–30, and 30–40 cm in May, August and November/2002 and February/2003. Soil texture, organic matter, pH in H₂O, pH in KCl, extractable P, exchangeable K, Al, Ca, and Mg and the micronutrients Cu, Mn, Zn, and Fe were determined. The soil of the area under study is classified as Gleysol, i.e., little development, poorly drained, normally acid, with a silt-clay-loam horizon. The soil chemistry composition was affected by seasonality. During the rainy season and when the most intense flooding occurred in the floodplain, in February, the pH, Cu and soluble iron concentrations increased and Mg and exchangeable aluminum decreased. During lower soil humidity periods base saturation and CTC were higher. Iron was the nutrient that showed the greatest variation in the flooded soil; the increases exceeded 1000 % during the period of more pronounced flooding (February).*

Index terms: Soil fertility, seasonality, Echinochloa polystachya, Echinochloa pyramidalis.

INTRODUÇÃO

Nos solos de várzeas, principalmente naqueles que passam por inundação periódica, sob influência das marés, ocorrem alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas, que determinam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Apesar dos efeitos benéficos da inundação, a biodisponibilidade dos nutrientes é alterada pelas reações de oxirreduções (Ponnamperuma, 1972). Ocorre empobrecimento do N no solo pela redução do nitrato a nitrito (denitrificação), resultando em deficiências desse nutriente para as plantas mesmo após o período de inundação. A dinâmica do P está intimamente ligada à redução de compostos de Fe e ao aumento do pH, verificando-se geralmente aumento na sua disponibilidades com a inundação. Outros macronutrientes, como K, Ca e Mg, têm suas disponibilidades aumentadas pela inundação, atribuídas ao deslocamento dos sítios de troca para a solução, principalmente pelo Fe²⁺, Mn²⁺ e NH₄⁺. Os micronutrientes – Cu, Zn, Mn, Mo, Fe e B – podem apresentar problemas de excesso ou deficiência no solo, em razão principalmente das mudanças de pH, acarretando dificuldades para o desenvolvimento dos vegetais (Ponnamperuma, 1977).

Os solos de várzea do rio Guamá resultam do depósito de sedimentos por meio das inundações, e sua fertilidade é renovada periodicamente pelo carreamento de sedimentos organominerais em suspensão nas águas de inundação, que atuam como fonte de nutrientes para culturas (Mascarenhas &

Modesto Junior, 1998) e pastagens (Camarão et al., 1998). Espécies forrageiras como a canarana de Paramaribo (*Echinochloa polystachya* Hitch) e a canarana erecta lisa (*Echinochloa pyramidalis* Lam.) têm apresentado bom rendimento quando cultivadas nesses solos (Camarão & Souza Filho, 1999).

As variações provocadas nas características físicas, químicas e biológicas dos solos de várzeas do rio Guamá, decorrentes da deposição periódica de sedimentos, devem ser consideradas quando se deseja uma utilização sustentável desse ecossistema. É importante conhecer a magnitude dessas variações para efetuar um manejo mais adequado e contornar possíveis limitações no uso sustentável desses solos (Lima et al., 2000). Essas áreas permanecem inundadas durante grande parte do ano e mantêm nível elevado de umidade.

Este trabalho teve como objetivo determinar os atributos físicos e químicos de um solo de várzea baixa do rio Guamá em diferentes épocas e cultivado com as forrageiras canarana de Paramaribo e canarana erecta lisa, sob pastejo rotativo.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo fica localizada em Belém, Pará, na margem direita do rio Guamá, campus da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), em

área de várzea baixa, cultivada com as espécies canarana de Paramaribo (*Echinochloa polystachya* H.B.K) e canarana erecta lisa (*Echinochloa pyramidalis* Lam).

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Afi, que corresponde a climas tropicais úmidos sem estação fria. Os valores médios anuais de temperatura oscilam entre 29 e 34 °C, e as mínimas, entre 16 e 24 °C. Os índices de umidade relativa do ar raramente são menores que 70 %, oscilando em torno de 90 %. A menor precipitação mensal é sempre superior a 60 mm, e o total pluvial, é geralmente, superior a 2.000 mm (Bastos & Pacheco, 2001).

O experimento foi localizado em Gleissolo Háptico eutrófico textura argilo/siltosa (Quadro 1), em pastagens com três anos de implantação, sob pastejo rotativo, com piquetes de 0,6 ha, pastejados por 10 animais da raça Pitangueiras, com entrada a cada 40 dias e permanência de 12 dias.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 4 (quatro profundidades e quatro épocas de amostragem), com seis repetições nas áreas de cada forrageira.

Amostras compostas – oriundas de quatro subamostras simples de solo – foram coletadas sempre antes do retorno do gado para a área, em seis pontos equidistantes a partir de uma transeção, nas profundidades de 0–10, 10–20, 20–30 e 30–40 cm, nos meses de maio, agosto e novembro/2002 e fevereiro/2003.

No período mais chuvoso (janeiro a abril) a área fica completamente saturada e, nas marés altas, há inundação, formando uma lâmina de água que varia de 10 a 20 cm. Em maio, o solo permanece muito úmido, saturando com a maré alta, e entre agosto e novembro ocorre baixa do lençol freático, mas o solo permanece úmido.

As amostras de solo foram secas ao ar, passadas em peneira de 2 mm e analisadas. As análises químicas do solo (pH em água e em KCl, MO, N total, P extraível, K, Ca, Mg e Al trocáveis (Cu, Fe, Mn e Zn), seguiram o método descrito pela Embrapa (1997). Os micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn foram extraídos pelo Mehlich-1 e determinados por espectrofotometria de absorção atômica, e o N, pelo método de Kjeldahl (Raij, 2001). A partir dos teores dos elementos, determinaram-se a saturação por Al (m %), a soma de bases, a saturação por bases e a CTC efetiva a pH 7,0.

A amostragem de solo para análise granulométrica foi feita apenas em maio de 2002. As amostras foram coletadas pouco antes do retorno do gado, em seis pontos equidistantes a partir de uma transeção em quatro profundidades, nas duas áreas, com seis repetições. As amostras foram secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm. A granulometria foi determinada pelo método da pipeta (Day, 1965).

Os resultados foram submetidos à análise de variância, sendo aplicado o teste de Duncan a 5 % para comparar os dados nos diferentes períodos do ano. Utilizou-se o sistema de análises estatísticas SANEST (Zonta & Machado, 1991).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise granulométrica

Nas áreas de estudo, a fração granulométrica dominante foi o silte. A textura foi classificada como argilo-siltosa nas camadas de 0–0,10 e 0,10–0,20 m, em ambas as áreas, e como franco-argilo-siltosa nas camadas de 0,20–0,30 e 0,30–0,40 m (Quadro 1). As pequenas variações apresentadas ao longo das camadas não levam, contudo, a diferenciá-las da classe textural argilosa, a qual é considerada para o perfil.

A textura siltosa dominante é indicativa de solo pouco evoluído. As variações frequentes do regime hídrico condicionam a oscilação do lençol freático, que, permanecendo próximo à superfície, impede o desenvolvimento do solo (Embrapa, 1999).

Elevado teor de silte foi encontrado por Freire et al. (1991) em estudos pedológico-fisiográficos de um solo Gley Pouco Húmido, nas várzeas do rio Guamá. Mattar et al. (2002) também demonstraram a ocorrência de solos com dominância siltosa na várzea desse mesmo rio, confirmando os resultados encontrados neste trabalho.

Atributos químicos do solo considerando a variação temporal e em profundidade

Os solos cultivados com as duas forrageiras apresentaram acidez elevada nas diferentes épocas do ano, independentemente do período em que ocorre inundação (fevereiro a maio) ou não (agosto a novembro) (Quadro 2). Os nutrientes nos solos apresentaram grande variabilidade temporal e vertical, o que, em parte, é justificado por se tratar de um ambiente diferenciado, o qual permanece inundado bom período do ano, com redução da inundação de forma diferenciada, em razão do acúmulo de água em locais mais baixos ou com excesso de pisoteio do gado.

No período em que os solos passam por maior inundação (fevereiro) observaram-se os maiores valores de pH em KCl, sem diferença estatística significativa, e as menores concentrações de N, de Mg e de Al; a MO e as concentrações do P e do Ca variaram nas épocas do ano, não estando associadas a maior ou menor inundação ou a um determinado período do ano (Quadros 2 e 3).

A forte acidez dos solos pode estar relacionada ao elevado teor de MO não decomponível, que caracteriza um grande poder-tampão. Nesse sentido, Meek & Grass (1975) sugerem que a MO decomponível é o fator mais

Quadro 1. Frações granulométricas do Gleissolo do rio Guamá, cultivado com canarana de Paramaribo e canarana erecta lisa, em quatro profundidades de amostragem

Profundidade (m) e espécie	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Textura
0-0,10					
canarana de Paramaribo	13	8	496	482	Argilo-siltosa
canarana erecta lisa	15	8	499	461	Argilo-siltosa
0,10-0,20					
canarana de Paramaribo	12	6	561	421	Argilo-siltosa
canarana erecta lisa	33	7	548	413	Argilo-siltosa
0,20-0,30					
canarana de Paramaribo	9	5	514	473	Argilo-siltosa
canarana erecta lisa	11	3	540	446	Franco-argilo-siltosa
0,30-0,40					
canarana de Paramaribo	5	3	544	448	Franco-argilo-siltosa
canarana erecta lisa	6	2	596	396	Franco-argilo-siltosa

Quadro 2. Médias dos resultados da análise química do Gleissolo do rio Guamá, cultivado com canarana de Paramaribo e canarana erecta lisa, amostrado em maio, agosto e novembro/ 2002 e fevereiro/ 2003, em quatro profundidades

Profundidade	Canarana Paramaribo				Canarana Erecta Lisa			
	Maio	Agosto	Nov.	Fev.	Maio	Agosto	Nov.	Fev.
m								
pH (KCl)								
0-0,10	3,5 A	3,3 A	3,7 A	4,0 A	3,5 A	3,4 A	3,7 A	4,1 A
0,10-0,20	3,4 A	3,3 A	3,6 A	4,0 A	3,4 A	3,3 A	3,6 A	4,1 A
0,20-0,30	3,3 A	3,2 A	3,4 A	3,9 A	3,4 A	3,2 A	3,6 A	4,1 A
0,30-0,40	3,3 A	3,2 A	3,4 A	3,7 A	3,5 A	3,1 A	3,9 A	4,3 A
N, g kg ⁻¹								
0-0,10	3,8 A	3,4 A	3,4 A	1,2 B	2,8 B	4,0 A	3,0 B	1,0 C
0,10-0,20	2,8 B	3,6 A	3,1 AB	1,1 C	1,8 B	3,8 A	2,2 B	0,9 C
0,20-0,30	2,3 B	2,8 A	2,0 B	1,1 C	1,4 B	2,4 A	1,2 B	0,7 C
0,30-0,40	1,8 B	2,6 A	1,5 B	0,7 C	1,1 B	1,9 A	0,8 B	0,7 B
MO, g kg ⁻¹								
0-0,10	77,1 A	62,4 B	52,8 C	48,9 D	44,1 C	56,0 A	45,2 BC	48,8 B
0,10-0,20	54,5 A	54,5 A	40,0 B	45,9 B	22,9 C	48,1 A	28,5 B	28,1 B
0,20-0,30	59,7 A	50,6 B	24,6 D	32,6 C	16,7 B	34,3 A	15,1 B	14,5 B
0,30-0,40	31,1 B	46,2 A	19,4 C	21,9 C	12,9 B	18,7 A	4,5 D	9,5 C
P, mg dm ⁻³								
0-0,10	8,8 A	4,4 C	6,5 B	9,1 A	3,0 B	6,2 A	3,2 B	5,8 A
0,10-0,20	6,8 AB	3,8 B	4,7 BC	7,3 A	1,5 D	6,2 A	2,5 C	3,8 B
0,20-0,30	4,4 B	2,9 C	3,7 B	5,3 A	1,0 C	4,6 A	1,3 C	2,4 B
0,30-0,40	3,7 A	2,7 B	3,7 AB	3,7 A	0,9 B	3,9 A	1,1 B	1,6 B
K, cmolc dm ⁻³								
0-0,10	0,18 B	0,19 B	0,40 A	0,52 A	0,25 A	0,23 A	0,23 A	0,26 A
0,10-0,20	0,19 B	0,18 B	0,28 B	0,53 A	0,20 B	0,26 A	0,22 B	0,22 B
0,20-0,30	0,19 A	0,20 A	0,27 A	0,26 A	0,20 B	0,29 A	0,20 B	0,19 B
0,30-0,40	0,19 A	0,20 A	0,23 A	0,21 A	0,18 B	0,26 A	0,19 B	0,19 B

Médias seguidas de mesma letra na linha, dentro de cada espécie cultivada, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 %.

Quadro 3. Médias dos resultados da análise química do Gleissolo do rio Guamá, cultivado com canarana de Paramaribo e canarana erecta lisa, amostrado em maio, agosto e novembro/ 2002 e fevereiro/ 2003, em quatro profundidades

Profundidade	Canarana Paramaribo				Canarana Erecta Lisa			
	Maio	Agosto	Nov.	Fev.	Maio	Agosto	Nov.	Fev.
m	Ca, cmol _c dm ⁻³							
0-0,10	4,4 B	3,9 B	5,6 A	4,7 B	3,3 B	3,3 B	7,1 A	4,3 B
0,10-0,20	5,2 A	4,0 B	5,7 A	5,1 A	3,4 C	3,2 C	7,7 A	5,7 B
0,20-0,30	5,9 A	4,2 B	6,2 A	5,5 A	3,8 C	2,8 C	6,0 A	6,6 A
0,30-0,40	5,3 B	4,4 C	5,0 BC	7,3 A	4,5 A	2,6 C	5,2 A	3,7 B
	Mg, cmol _c dm ⁻³							
0-0,10	3,1 BC	3,9 A	4,0 A	2,7 C	5,9 A	3,5 C	4,6 B	2,9 C
0,10-0,20	3,6 AB	4,2 A	4,1 A	2,7 B	6,1 A	3,8 C	5,4 B	3,6 C
0,20-0,30	4,3 A	4,7 A	4,4 A	3,0 B	7,6 A	4,1 C	6,6 B	4,1 C
0,30-0,40	5,0 A	5,1 A	5,1 A	3,7 B	9,2 A	4,5D	7,3 B	5,5 C
	Al, cmol _c dm ⁻³							
0-0,10	1,8 B	2,7 A	1,3 B	1,2 B	1,5 B	2,5 A	1,0 C	0,8 D
0,10-0,20	2,1 B	2,8 A	1,8 C	1,1 D	1,8 B	2,7 A	1,3 C	0,7 D
0,20-0,30	2,4 AB	3,0 A	2,2 B	1,3 C	1,6 B	3,3 A	1,0 C	0,6 C
0,30-0,40	2,0 B	3,1 A	2,0 B	1,6 B	1,4 B	3,6 A	0,7 C	0,5 C
	V, %							
0-0,10	50,4 A	43,9 A	52,9 A	47,9 A	55,9 AB	41,6 C	59,8 A	53,9 B
0,10-0,20	50,5 A	47,9 A	53,4 A	51,5 A	63,2 A	43,7 B	66,4 A	62,0 A
0,20-0,30	57,1 A	50,1 A	57,8 A	53,8 A	70,9 B	45,6 C	73,8 A	69,6 B
0,30-0,40	64,3 A	54,9 A	65,0 A	62,1 A	77,7 B	48,6 C	84,2 A	79,4 AB
	m, %							
0-0,10	18,3 B	24,5 A	11,4 C	11,7 C	14,1 B	26,1 A	7,5 C	9,1 C
0,10-0,20	18,6 B	24,8 A	14,8 C	10,2 D	15,6 B	26,8 A	8,6 C	7,1 C
0,20-0,30	18,4 B	24,4 A	16,3 B	12,7 C	12,9 B	31,2 A	5,3 C	6,4 C
0,30-0,40	14,5 B	23,5 A	14,1 B	12,8 B	9,3 B	32,3 A	3,8 C	3,7 C

Médias seguidas de mesma letra na linha, dentro de cada espécie cultivada, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 %.

importante no processo de redução e, por conseguinte, do pH, em solos alagados. De acordo com Ponnampereuma (1972) e Guilherme et al. (1978), o efeito tamponante da MO e, ou, os elevados teores de óxidos de Fe (Pavan & Miyazawa, 1983) podem se constituir nos fatores determinantes para manutenção dos baixos valores de pH em solos que passam por inundação. Nessas condições, os solos alagados dificilmente atingem valores de pH acima de 6,5 (Ponnampereuma, 1972). Oliveira et al. (1993), estudando o efeito da inundação sobre as propriedades eletroquímicas de Gleissolos, constataram que os valores de pH foram pouco alterados durante o período de alagamento; esses solos apresentavam elevado teor de MO, o que gera forte poder-tampão.

A concentração de N foi significativamente menor no período de maior inundação (fevereiro), em todas as profundidades de amostragens e nas duas áreas estudadas (Quadro 2). Em solos ácidos e anaeróbios com pH menor que 5,5, a taxa de nitrificação é muito

baixa, o que resulta em acumulação de amônia (NH₃), que pode ser perdida por volatilização, ou amônio (NH₄⁺), devido à pequena disponibilidade de O₂ necessário à conversão microbiana da amônia em nitrato (Silva et al., 1993). Além disso, o N na forma nítrica pode ser perdido por denitrificação, reduzindo assim sua concentração no solo. Esses autores observaram que o valor de pH crítico para o processo de nitrificação em Latossolos da região Sul de Minas Gerais situou-se em torno de 6,0, ou seja, abaixo desse valor a nitrificação é sensivelmente reduzida.

Houve variação expressiva do teor de MO e do P de acordo com o período de avaliação e as diferentes espécies cultivadas, com reduções em profundidade no perfil (Quadro 2). Elevados conteúdos de MO, principalmente nas camadas superficiais do solo, que variaram de 44,1 a 77,1 g kg⁻¹, foram observados nas áreas sob pastagens. O alto teor de MO encontrado é resultante do sistema radicular agressivo das pastagens e do acúmulo de dejetos animais, somado

às condições ambientais, pois em solos alagados o processo de adição de material orgânico é maior que a perda (decomposição desses materiais pelos microrganismos) (Tomé Junior, 1997). Não obstante, os teores de P em todas as épocas de amostragens e em quase todas as profundidades são considerados satisfatórios para o estabelecimento e a permanência de pastagens, segundo Salinas & Garcia (1985), que adotam a faixa de 2 a 5 mg dm⁻³ de P no solo como adequado.

A variabilidade ocorrida na MO e no P nas épocas de amostragens pode estar relacionada à grande variabilidade dentro das áreas, provocada pelos desníveis nas áreas e pelo excesso de pisoteio do gado, que leva a uma menor drenagem nesses locais, resultando em processos de oxirredução diferenciados. Como resultado, variações expressivas podem ter ocorrido de local para local de amostragem. Além disso, houve grande variação entre os solos, a qual pode estar relacionada à quantidade e à qualidade do material produzido pelas espécies. A canarana de Paramaribo apresentou maior produção de massa em todos os períodos de avaliação (Abreu et al., 2006), o que vai interferir na composição química do solo. De acordo com Silva et al. (2003), o efeito do alagamento sobre as concentrações dos nutrientes na solução depende da composição do solo, além da absorção de nutrientes pelas plantas. Por outro lado, ocorreu redução tanto da MO quanto do P com a profundidade de amostragem.

Os cátions K, Ca e Mg mostraram grande variação temporal e vertical. O K trocável apresentou teores dentro da faixa considerada média (Siqueira et al., 1987), com tendência de redução do período de inundação para aquele de menor umidade do solo (fevereiro/novembro), com pequenas variações de acordo com a profundidade do solo (Quadro 2). Esse fato pode estar relacionado à maior concentração de Fe na solução do solo, que pode deslocar parte dos cátions que estão adsorvidos na fase sólida, aumentando sua disponibilidade para as plantas (Vahl, 1999). A maior concentração na camada superficial se deve à grande absorção desse nutriente pelas plantas e também à grande liberação quando o material vegetal se decompõe e mineraliza na superfície, conclusão a que também chegaram Centurion et al. (1985).

De maneira geral, o teor de Ca trocável apresentou-se mais elevado no período de menor umidade, com valores que variaram de 5,0 a 7,7 cmol_c dm⁻³, com exceção dos valores de 7,3 cmol_c dm⁻³, observado na profundidade de 30–40 cm, e 6,6 cmol_c dm⁻³, na profundidade de 0,20–0,30 m, no período de maior inundação (Quadro 3), enquanto para o Mg o teor foi menor na época de maior inundação. Houve aumento do teor de Mg em profundidade nas duas áreas de pastagens. Resultados semelhantes foram encontrados por Carvalho (1995), em Gleissolo de várzea do rio Guamá, e por Lima et al. (2005), em

solos de várzea do Alto Solimões. Os valores de Ca e Mg são considerados muito bons (Ribeiro et al., 1999) e podem estar relacionados ao material de origem e com percolação para camadas subsuperficiais ao longo do tempo.

O teor e a saturação por Al foram significativamente maiores, em ambos os solos, no período de baixa do lençol freático (agosto), logo após as épocas de inundação e elevada umidade do solo (fevereiro e maio, respectivamente). Os menores valores ocorreram no período de maior inundação do solo (fevereiro), com exceção do Al no mês de maio, na profundidade de 0,20–0,30 m. Esse resultado contraria a afirmativa de alguns autores de que a solubilização de compostos de Fe e de Mn (Quadro 4) aumenta a solubilidade do Al e que esta solubilização se sobreporia à tendência de o Al hidrolisar e precipitar hidróxidos, em pH mais elevado, sob inundação. Valores elevados de Al trocável em solos de várzea (2,5 cmol_c dm⁻³) também foram obtidos por Lima et al. (2005), no Alto Solimões.

Apesar de ter havido redução do teor de Al no período de inundação do solo, os valores aumentaram em profundidade na área cultivada com canarana de Paramaribo e diminuíram na área com canarana erecta lisa. Os valores estão na faixa considerada tóxica para a maioria das culturas, segundo o padrão de interpretação sugerido por Malavolta (1985). Embora o solo sob as pastagens tenha apresentado valores elevados de acidez, a saturação por Al encontra-se numa faixa considerada baixa, porém com grandes alterações de acordo com o período do ano (Quadro 3).

Na maioria das épocas de amostragem, o solo apresentou saturação por bases superior a 50 %, considerando as diversas profundidades, o que o caracteriza como solo eutrófico (Quadro 3), com elevada CTC (Quadro 4). De maneira geral, a saturação por bases e a CTC foram mais elevadas no período de menor umidade do solo (novembro).

Os teores dos micronutrientes mostraram variação temporal significativa (Quadro 4). Para o Cu e o Fe, maiores teores ocorreram no período de maior inundação do solo (fevereiro), em todas as profundidades de amostragem, ao passo que para o Mn menores teores foram observados no período de menor umidade do solo (novembro).

O teor de Fe foi muito elevado no período mais chuvoso e de maior inundação (fevereiro). A solubilidade deste elemento é afetada pelo estado de oxirredução que ocorre no solo inundado. Dessa forma, o Fe³⁺ é reduzido a Fe²⁺, que é preferencialmente absorvido pelas plantas. Entretanto, em solos ácidos, que geralmente apresentam grande quantidade de Fe na fase sólida, quando inundados, a concentração pode atingir níveis muito elevados, podendo provocar toxidez nas plantas. Resultados semelhantes foram obtidos, em solos de várzea do rio Guamá, por Ferreira et al. (1998). A redução dos compostos de Fe³⁺ a compostos de Fe²⁺ é a transformação química mais importante

Quadro 4. Médias de resultados da análise química do Gleissolo do rio Guamá, cultivado com canarana de Paramaribo e canarana erecta lisa, amostrado em maio, agosto e novembro/ 2002 e fevereiro/ 2003, em quatro profundidades

Profundidade	Canarana Paramaribo				Canarana Erecta Lisa			
	Maio	Agosto	Nov.	Fev.	Maio	Agosto	Nov.	Fev.
m	CTC _{efetiva} , cmol _c dm ⁻³							
0-0,10	17,3 B	17,2 B	20,5 A	13,9 C	16,0 B	17,1 B	19,6 A	16,2 B
0,10-0,20	15,7 C	17,0 B	20,4 A	15,6 C	18,3 B	17,9 B	19,5 A	16,7 C
0,20-0,30	16,6 B	16,2 B	21,2 A	15,6 B	18,4 A	18,6 A	19,4 A	16,6 B
0,30-0,40	17,8 B	15,6 C	21,2 A	18,2 B	18,6 A	18,2 A	18,9 A	18,3 A
	Cu, mg dm ⁻³							
0-0,10	11,7 B	8,5 B	4,7 C	12,5 A	7,0 B	7,7 B	4,5 C	8,9 A
0,10-0,20	12,1 B	8,7 C	5,0 D	14,8 A	6,4 C	7,8 B	4,8 D	8,6 A
0,20-0,30	11,3 B	8,4 C	5,3 D	15,2 A	5,4b C	7,5 B	4,4 C	10,5 A
0,30-0,40	9,9 B	8,5 C	4,7 D	13,2 A	4,6 C	6,3 B	3,9 C	8,6 A
	Fe, mg dm ⁻³							
0-0,10	295,1 B	296,8 B	283,9 B	3552,3 A	290,7 B	286,7 B	278,7 B	3471,9 A
0,10-0,20	295,1 B	296,5 B	284,5 B	3526,9 A	281,7 B	286,0 B	281,4 B	3437,5 A
0,20-0,30	294,3 B	296,1 B	285,0 B	3477,7 A	283,3 B	289,2 B	274,7 B	2884,9 A
0,30-0,40	290,4 B	293,6 B	283,2 B	3219,4 A	273,3 B	289,5 B	267,6 B	1950,6 A
	Mn, mg dm ⁻³							
0-0,10	104,6 A	114,6 A	57,2 B	43,4 C	95,7 B	119,1 A	47,1 D	69,3 C
0,10-0,20	98,3 A	106,3 A	48,8 B	43,4 B	87,8 B	116,5 A	47,2 C	77,7 B
0,20-0,30	93,6 A	99,4 A	45,6 B	39,4 B	96,0 A	99,8 A	52,2 B	97,8 A
0,30-0,40	101,3 A	92,2 A	46,1 B	46,3 B	96,2 A	101,1 A	44,8 C	70,8 B
	Zn, mg dm ⁻³							
0-0,10	75,9 A	54,1 B	45,5 C	39,7 D	55,7 A	53,5 A	35,7 B	26,9 C
0,10-0,20	64,6 A	53,3 B	41,3 C	28,5 D	29,6 B	75,2 A	25,1 BC	22,9 C
0,20-0,30	50,0 A	40,0 B	30,3 C	21,4 D	13,4 C	71,1 A	16,4 C	33,2 B
0,30-0,40	45,0 A	35,1 B	21,7 C	17,3 C	12,4 C	51,6 A	10,1 C	26,0 B

Médias seguidas de mesma letra na linha, dentro de cada espécie cultivada, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 %.

que ocorre nos solos inundados de várzea, pois, além de aumentar a solubilidade do elemento, altera o pH e a disponibilidade de outros nutrientes no solo (Fageria, 1984).

Os resultados obtidos para Cu e Mn são discordantes dos dados apresentados por outros autores. Silva (1993), avaliando nutrientes em várzea inundada do rio Guamá, demonstrou redução do teor de Cu à medida que aumentava o pH do meio. Ponnampereuma (1972) afirmou que, apesar de o Cu não ser afetado pelas reações de oxirredução, nos solos ácidos o aumento do pH e a formação de sulfetos podem causar a redução da solubilidade deste elemento.

Para o teor de Mn sob as diferentes canaranas, os maiores valores não corresponderam à época de maior inundação (Quadro 4). No entanto, todos os valores obtidos estão numa faixa considerada muito alta mesmo para solos, inundados, somente observados em solos ácidos, ricos em Mn e em MO. Os valores encontrados nesta pesquisa são inferiores aos

constatados por Ferreira et al. (1998) em solos de várzea do rio Guamá.

O Zn no solo variou com as épocas do ano, com diferenças significativas. No entanto, os maiores teores não estão relacionadas aos períodos de maior ou menor inundação do solo. Com uma dinâmica no solo diferenciada da dos demais micros, o Zn teve o teor na camada superficial reduzido nas duas áreas, da primeira para a última amostragem, o que pode estar relacionado à maior exportação pelo pastejo do gado do que à deposição por meio dos sedimentos contidos nas águas de inundação (Quadro 4).

Muito embora a solubilidade do Zn seja alterada quando o solo é inundado, em razão das mudanças de pH, da redução do Fe e da liberação de agentes orgânicos complexantes (Ponnampereuma, 1972), neste trabalho o aumento do Zn no solo coincidiu com a diminuição do pH, principalmente no solo com canarana erecta lisa. Por sua vez, enquanto a elevação do pH reduz a solubilidade do Zn no solo, a redução

dos óxidos hidratados de Fe^{3+} e Mn^{4+} e a produção de substâncias orgânicas complexantes são responsáveis pelo aumento da solubilidade do elemento, o que pode explicar a variação de seu teor de acordo com as épocas do ano no solo com canarana de Paramaribo. A média dos teores de Zn é inferior aos encontrados por Ferreira et al. (1998) em solo de várzea do rio Guamá (PA).

CONCLUSÕES

1. Houve influência da sazonalidade na composição química do solo: na época mais chuvosa e de inundação mais intensa da várzea, correspondente ao mês de fevereiro, observou-se aumento no pH nos teores de Cu e Fe extraíveis por Mehlich-1 e decréscimo no Mg e no Al trocável; e no período de menor umidade do solo a saturação por bases e a CTC foram mais elevadas.

2. O Fe foi o nutriente que teve maior variação nos seus teores com a inundação do solo, com aumento de mais de 1.000 %, no período de maior inundação (fevereiro).

LITERATURA CITADA

- ABREU, E.M.A.; FERNANDES, A.R.; MARTINS, A.R.A. & RODRIGUES, T.E. Produção de forragem e valor nutritivo de espécies forrageiras sob condições de pastejo, em solo de várzea baixa do Rio Guamá. *Acta Amaz.*, 36:11-18, 2006.
- BASTOS, T.X. & PACHECO, N.A. Informativo agrometeorológico 1998. Belém, Embrapa Amazônia Oriental, 2001. 57p. (Documento, 77)
- CAMARÃO, A.P. & SOUZA FILHO, A.P.S. Pastagens nativas da Amazônia. Belém, Embrapa. Amazônia Oriental, 1999. 150p.
- CAMARÃO, A.P.; MARQUES, J.R.F.; SERRÃO, E.A.S. & FERREIRA, W.A. Avaliação de pastagens nativas de várzeas do médio Amazonas. Belém, Embrapa - CPATU, 1998. 25p. (Boletim de Pesquisa, 181)
- CARVALHO, E.J.M. Efeito de sistemas de preparo sobre a matéria orgânica e algumas propriedades físicas em solos Glei Pouco Húmico da Amazônia Oriental. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1995. 184p. (Tese de Doutorado)
- CENTURION, J.F.; DEMATTÊ, J.L.I. & FERNANDES, F.H. Efeito de sistemas de preparo nas propriedades químicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. *R. Bras. Ci. Solo*, 9:267-270, 1985.
- DAY, P.R. Particle fractionation and particle - size analysis. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison, Agronomy Society of America, 1965. v.1. p.545-566.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (Documentos, 1)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, 1999. 412p.
- FAGÉRIA, N.K. Adubação e nutrição mineral da cultura de arroz. Rio de Janeiro, Embrapa, 1984. 341p.
- FAGÉRIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P.; CARVALHO, J.R.P.; RANGEL, P.H.N. & CUTRIM, V.A. Avaliação preliminar de cultivares de arroz para tolerância à toxidez de ferro. *Pesq. Agropec. Bras.*, 19:1271-1278, 1984.
- FERREIRA, W.A.; MODESTO JUNIOR, M.S.; BOTELHO, S.M. & MASCARENHAS, R.E.B. Efeito da inundação sobre as propriedades de um glei pouco húmico de várzeas do rio Guamá nos municípios de Belém e Santa Isabel, PA. Belém, Embrapa-CPATU, 1998. 29p. (Boletim de Pesquisa, 207)
- FREIRE, E.M.S.; GAMA, J.R.N.F. & MASCARENHAS, R.E.B. Caracterização pedológico-fisiográfica dos solos das várzeas do rio Guamá. In: *RELATÓRIO TÉCNICO ANUAL DO CENTRO DE PESQUISA AGROFLORESTAL DA AMAZÔNIA ORIENTAL*, 1991. Belém, Embrapa/CPATU, 1992. p.41-42.
- GUILHERME, L.R.G.; CURI, N. & GUEDES, G.A.A. Calagem e disponibilidade de fósforo para o arroz irrigado cultivado em casa de vegetação. *R. Bras. Ci. Solo*, 13:341-347, 1978.
- LIMA, H.N.; MELLO, J.W.V.; SCHAEFER, C.E.G.R. & KER, J.C. Dinâmica da mobilização de elementos em solos da Amazônia submetidos à inundação. *Acta Amaz.*, 35:317-330, 2005.
- LIMA, R.R.; TOURINHO, M.M. & COSTA, J.P.C. Várzeas flúvio-marinhas da Amazônia brasileira; características e possibilidades agropecuárias. Belém, FCAP/Serviço de Documentação e Informação, 2000. 342p.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Agronômica Ceres, 1985. 251p.
- MASCARENHAS, R.E.B. & MODESTO JUNIOR, M.S. Plantas daninhas de várzea do rio Guamá (PA). Belém, Embrapa/CPATU, 1998. 52p. (Boletim de Pesquisa, 186)
- MATTAR, R.M.V.C.; VIEIRA, L.S. & SILVA, G.R. Efeito da inundação sobre o pH e a disponibilidade de fósforo, sódio, ferro e manganês em um Glei pouco Húmico coletado na várzea do rio Guamá, Belém/PA. *R. Ci. Agr.*, 37:113-121, 2002.
- MEEK, B.D. & GRASS, L.B. Redox potential in irrigated desert soil as an indicator of aeration status. *Proc. Soil. Sci. Am.*, 39:870-875, 1975.
- OLIVEIRA, C.; VELLOSO, A.C.Z. & LEAL, J.R. Processos redox em um Glei Húmico do estado do Rio de Janeiro: I. Variações eletroquímicas. *R. Bras. Ci. Solo*, 17:17-22, 1993.
- PAVAN, M.A. & MIYAZAWA, M. Química de solos inundados. Londrina, IAPAR, 1983. Separata de Treinamento em arroz irrigado e alternativas agrícolas em várzeas. Londrina, IAPAR, 1983. p.5-20.

- PONNAMPERUMA, F.N. Comportamiento de elementos menores en suelos arroceros. In: IRRI. Anual Report for 1976. Los Banos, 1977.
- PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. *Adv. Agron.*, 24:29-96, 1972.
- RAIJ, B.van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agrônomo, 2001. 285p.
- RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H. Recomendações para o uso de corretivo e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.
- SALINAS, J.G. & GARCIA, R. Métodos químicos para el análisis de suelos y plantas forrajeras. Cali, CIAT, 1985. 28p.
- SILVA, C.; VALE, F.R.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V. & SIQUEIRA, J.O. Crescimento inicial do feijoeiro: efeito da acidez do solo e da adição de fertilizantes nitrogenados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Goiânia, 1993. Anais. Goiânia, 1993. p.33-34.
- SILVA, L.S.; SOUZA, R.O. & BOHNEN, H. Alterações no teores de nutrientes em dois solos alagados, com e sem plantas de arroz. *Ci. Rural*, 33:487-490, 2003.
- SILVA, S.B.E. Avaliação da disponibilidade de nutrientes em várzea inundada do rio Guamá. Belém, Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, 1993. 58p. (Tese de Mestrado)
- SIQUEIRA, O.J.F.; SHERER, E.E.; TASSINARI, G.; ANGHINONI, I.; PATELA, J.F.; TEDESCO, M.J.; MILAN, P.A. & ERNANI, P.R. Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Passo Fundo, Embrapa- CNPT, 1987. 100p.
- TOMÉ JÚNIOR, J.B. Manual para interpretação de análise de solo. Guaíba, Agropecuária, 1997. 247p.
- VAHL, L.C. Fertilidade de solos de várzeas. In: GOMES, A.S. & PAULETTO, E.A., ed. Manejo do solo e da água em áreas de várzeas. Pelotas, Embrapa Clima Temperado, 1999. p.119-162.
- ZONTA, E.P. & MACHADO, A.A. Sistema de análise estatística para microcomputadores (SANESTE). Pelotas, Universidade Federal de Pelotas, 1991. 101p.