

Características químicas de um Gleissolo sob diferentes sistemas de uso, nas margens do rio Guamá, Belém, Pará

Chemical characteristics of a Gleysoil under different soil use systems along the Guamá river banks in Belém, Pará

Elessandra Laura Nogueira Lopes^I

Antônio Rodrigues Fernandes^{II}

Catherine Grimaldi^{III}

Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo^{IV}

Tarcísio Ewerton Rodrigues^V

Max Sarrazin^{VI}

Resumo: Foram estudados os efeitos do uso do solo sobre a fertilidade, em Gleissolo sob três diferentes sistemas de manejo. As coletas foram feitas antes do período chuvoso nos seguintes sistemas de manejo: área cultivada com arroz (*Oriza sativa* L.) há aproximadamente 40 anos, com algumas interrupções ao longo deste período, com o cultivo algumas vezes mecanizado e uso de aração e gradagem; área sob pastagem de canarana erecta lisa (*Echinochloa pyramidalis* Hitch.), formada há cerca de 20 anos sem uso de adubações ou calagens; e área sob vegetação natural de floresta típica das áreas de várzea alta. As amostras de solo foram coletadas em dez pontos a partir de um transecto nas áreas, em quatro profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm. Os resultados demonstraram que o solo em condições naturais, de modo geral, apresentou atributos químicos que variaram de bons a muito bons, o que demonstra um grande potencial para o uso agrícola. O cultivo agrícola dos solos das várzeas do rio Guamá provocou uma redução da concentração de P e de K. O sistema de uso com pastagem apresentou maior sustentabilidade da fertilidade do que o sistema sob cultivo com arroz, visto que, além da melhoria das características químicas, a matéria orgânica elevou-se, também, em relação ao sistema natural.

Palavras chave: Sistemas de manejo do solo. Características químicas. Fertilidade. Matéria orgânica.

Abstract: The effect of the use of the soil on the fertility has been studied, in Gleysoil under three different management systems. Collections had been made before the rainy period in the following handling systems: rice (*Oriza sativa* L.) plantation area, cultivated for approximately 40 years, with some interruptions in during this period. Some times the culture was mechanized, with use of plowshare and harrow; pasture area with plantation of canarana (*Echinochloa pyramidalis* Hitch.), cultivated for 20 years, without the use of fertilizers; and lowland area with natural vegetation. The samples of soil were collected in ten points, set by using the transect methodology, to four depths 0-10, 10-20, 20-30 and 30-40 cm in each point. The results demonstrate that the soil under natural conditions, presented chemical characteristics which insure to the soil a high potential for the agricultural use. The agricultural culture of the lowland soil in the Guamá River provoked a reduction in the concentration of P and K. The soil usage system with pasture presented better sustainability on it fertility than the system with rice cultivation, beyond the improvement of the chemical characteristics and raise in the organic matter concentration, when related to the natural vegetation system.

Keywords: Soil handling system. Chemical characteristics. Fertility. Organic matter.

^I Universidade Rural da Amazônia. Doutoranda em Ciências Agrárias. Belém, Pará, Brasil (elessandra@hotmail.com).

^{II} Universidade Rural da Amazônia. Belém, Pará, Brasil (antonio.fernandes@ufrpa.edu.br).

^{III} Institut National de la Recherche Agronomique. Rennes, France (grimaldi@rennes.inra.fr).

^{IV} Museu Paraense Emílio Goeldi. Belém, Pará, Brasil (ruivo@museu-goeldi.br).

^V Embrapa Amazônia Oriental. Belém, Pará, Brasil (tarcisio@cpatu.embrapa.br).

^{VI} Institut de Recherche pour le Développement. Paris, France.



INTRODUÇÃO

A necessidade de aumentar a produção agrícola brasileira resulta na expansão de áreas cultivadas, tanto no meio rural quanto em áreas urbanas. Para isso, é essencial o aproveitamento de áreas com potencial agrícola e que ainda se encontrem pouco exploradas, a exemplo das várzeas amazônicas. Os solos destas várzeas podem apresentar uma maior ou menor fertilidade em função da natureza dos sedimentos e nutrientes aportados pelas águas dos rios.

Entre as várzeas de grande importância para a região amazônica, encontram-se as do rio Guamá, uma vez que apresentam grandes possibilidades para exploração intensiva com culturas de ciclo curto e por situarem-se às proximidades de grandes centros urbanos. Nestas várzeas a fertilidade natural é renovada periodicamente pelo aporte de sedimentos organo-minerais, proporcionando uma fonte inesgotável de nutrientes para as culturas (MASCARENHAS; MODESTO JÚNIOR, 1998).

Entre as principais culturas exploradas nestas várzeas destaca-se o arroz (*Oriza sativa* L.), cuja produtividade atinge 4.500 kg ha⁻¹, com casca, nos primeiros anos de cultivo consecutivos e sem adubação (LIMA; TOURINHO; COSTA, 2000). A introdução de espécies forrageiras é outra importante atividade desenvolvida com sucesso nos solos de várzeas, pois espécies como a canarana de Paramaribo (*Echinochloa polystachya* Hitch.) e a canarana erecta lisa (*Echinochloa pyramidalis* Lam.) têm apresentado rendimentos de 16.440 e 15.315 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de matéria seca, respectivamente (NASCIMENTO; CAMARÃO; SALIMOS, 1988).

Este tipo de solo, por ser originado de sedimentos com grande heterogeneidade quanto à composição granulométrica e mineralógica, apresenta uma diversidade muito grande de características químicas (FAGERIA; BARBOSA FILHO; ZIMMERMANN, 1994). Uma característica dominante nestes solos, entretanto, é a má drenagem ou hidromorfismo, embora aqueles situados em terraços ou níveis mais

elevados (várzea alta) possam apresentar-se melhor drenados (CURI; RESENDE; SANTANA, 1988).

Os processos de oxidação-redução que ocorrem nos solos de várzeas alteram as características químicas, inclusive a dinâmica dos nutrientes (FAGERIA, 1989; PONNAMPERUMA, 1972). Deste modo, sua utilização sem o devido conhecimento de suas peculiaridades pode resultar em sérios problemas à sustentabilidade dos agroecossistemas. Ao serem submetidos a sistemas de cultivos mais intensivos, podem apresentar problemas relativos à fertilidade, com destaque para a redução no conteúdo de matéria orgânica e suprimento de nutrientes, principalmente N e P (GUILHERME; CURI; GUEDES, 1989), apesar da deposição de sedimentos. Além disto, aumentos das concentrações de ferro e de manganês podem atingir níveis tóxicos para as culturas (FERREIRA; MODESTO JÚNIOR; BOTELHO, 1998; MORAES, 1973).

O conhecimento das variações provocadas pelo uso do solo nos atributos químicos constitui um importante passo para que se possa empregar um manejo mais adequado e contornar possíveis limitações advindas de sua utilização.

Considerando a dimensão física territorial ocupada pelas várzeas na Amazônia, aproximadamente 25 milhões de hectares de terras irrigáveis (RODRIGUES; OLIVEIRA, 1996), com potencial para expansão da fronteira agrícola, assim como as poucas informações disponíveis sobre as alterações nas características químicas promovidas pelo uso agrícola, este trabalho tem como objetivo avaliar o impacto causado nas características químicas de Gleissolos de várzea alta sob diferentes formas de uso.

MATERIAL E MÉTODOS

As áreas de estudo ficam localizadas às margens do rio Guamá no município de Belém, Pará. No campus da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) encontra-se área com cultura anual de arroz



(*Oriza sativa* L.) (1° 27' 54" S e 48° 26' 37" W) e área sob vegetação natural (1° 27' 09" S e 48° 26' 12" W). A área sob pastagem de canarana erecta lisa (*Echinochloa pyramidalis* Hitch.) (1° 28' 515" S e 48° 23' 45"W) está na fazenda Ilha Grande.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Afi, que corresponde a climas tropicais úmidos, sem estação fria e com temperatura média do mês menos quente acima de 18°C, onde a menor precipitação mensal é sempre superior a 60 mm e o total pluviométrico é geralmente superior a 2.000 mm (BASTOS, 1972, 1982).

O solo das áreas de estudo é um Gleissolo Háplico (EMBRAPA, 1999), que compreende a classe de solos minerais, hidromórficos, pouco desenvolvidos, apresentando horizonte glei (Tabela 1).

Foram coletadas amostras de solos em várzea alta, antes do período chuvoso, nos três sistemas de uso do solo: área com cultura anual de arroz que vem sendo cultivada há aproximadamente 40 anos, com pequenos pousios (dois a três anos) ao longo deste período, cujo cultivo foi mecanizado por três a quatro vezes, com uso de aração e gradagem ou enxada rotativa; área sob pastagem de canarana erecta lisa, formada a cerca de 20 anos, sem uso de adubações ou calagens; e área sob vegetação natural que corresponde a uma floresta típica das áreas de várzea alta.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x4 (3 sistemas de uso do solo e 4 profundidades), com dez repetições.

As amostras de solo foram coletadas em dez pontos de um transecto em cada área, em 4 profundidades (0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm). Depois de secas ao ar, as amostras foram passadas em peneiras com malha de 2 mm e levadas para análise no laboratório

As análises químicas do solo (pH em água 1:2,5 e KCl, P extraível, K trocável, Na trocável, matéria orgânica, Al trocável e Ca + Mg trocáveis) seguiram a metodologia proposta pela Embrapa (1997). Al foi extraído com solução de KCl 1 mol L⁻¹ e o H+Al com CH₃COO₂Ca 0,5 mol L⁻¹ e determinados por titulometria com solução de NaOH 0,025 mol L⁻¹; Ca + Mg (mesmo extrator do alumínio) foi determinado por titulometria com solução de EDTA 0,0125 mol L⁻¹); P, Na e K foram extraídos por Mehlich I (HCl 0,05mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹), sendo que o P foi determinado por colorimetria (comprimento de onda 660 nm) e K e Na foram determinados por fotometria de chama.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SANEST (ZONTA; MACHADO, 1991). Foi determinada, ainda, por regressão linear múltipla a capacidade de troca de cátions (CTC) em função da argila e matéria orgânica para avaliar a contribuição de cada fração, tomando como referência a maior significância. Como a contribuição significativa foi da argila, determinou-se a CTC por quilo de argila, considerando a CTC por dm³ de solo e a densidade do solo.

Tabela 1. Caracterização granulométrica da camada de 0-40 cm, de Gleissolos do rio Guamá cultivado com arroz (SM1), com pastagem (SM2) e sob vegetação natural (SM3) Belém, Pará.

Sistema de Manejo	AREIA		SILTE	ARGILA	Classe textural
	GROSSA	FINA			
	g kg ⁻¹				
SM1	1,56	8,81	705,45	284,10	Franco-siltoso
SM2	2,21	6,84	602,62	389,77	Franco-argilo-siltoso
SM3	1,75	5,33	746,65	244,76	Franco-siltoso

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os solos analisados apresentaram características químicas significativamente diferentes, em função dos sistemas de uso do solo e das profundidades.

Verificou-se que os solos nos três sistemas de manejo estudados possuem acidez elevada, sendo que ocorreu aumento do pH em água, em geral, com a profundidade do solo, fato que pode estar relacionado ao aumento dos cátions básicos no mesmo sentido (Tabela 2).

Na área de cultivo do arroz, os valores de pH em água foram significativamente menores em todas as profundidades em relação aos demais sistemas de cultivo, exceto para a camada mais superficial (0-10 cm) e a mais profunda (30-40 cm). Tais valores estão abaixo de 5 nas três primeiras profundidades do solo amostrado, indicando solos muito ácidos e que podem apresentar toxidez de alumínio para várias culturas (Tabela 2).

Os valores do pH em KCl foram sempre inferiores aos valores do pH em água em todos os sistemas de uso e em todas as profundidades do solo amostrado (Tabela 2). Este fato indica que nos colóides predominam cargas elétricas negativas e que a capacidade de troca catiônica é maior que a aniônica (TOMÉ JÚNIOR, 1997; GAMA, 1998).

Valores baixos de pH decorrem, em regiões de clima tropical, do forte intemperismo das rochas, devido às temperaturas elevadas e precipitações abundantes que levam à lixiviação das bases associadas. Outro fator a contribuir para os baixos valores de pH é o elevado teor de óxidos de ferro e alumínio nos solos (REICHARDT, 1985; CARVALHO; COSTA, 1992).

No caso das áreas de várzeas em estudo, além desses fatores, a alternância entre inundação (meses de março e setembro) e vazante, o tipo do material dos sedimentos, principalmente, o orgânico, podem

Tabela 2. Valores de pH em H₂O e KCl, soma de bases (S), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por alumínio (m) e matéria orgânica (MO) de um Gleissolo do rio Guamá cultivado com arroz (SM1), com pastagem (SM2) e sob vegetação natural (SM3), em diferentes profundidades.

Sistema de manejo	pH		S	CTC	m	MO
	H ₂ O	KCl				
0-10 cm						
SM1	4,48bC	3,41bA	5,22bC	11,55bC	34,94aA	34,62bA
SM2	4,52bC	3,36bB	7,00aC	13,92aC	24,07bA	54,95aA
SM3	4,69aC	3,64aA	6,46aB	12,47bBC	21,35bB	52,48aA
10-20 cm						
SM1	4,67bB	3,42aA	5,64bC	11,70bC	33,15aA	34,75abA
SM2	4,98aB	3,54aA	12,71aB	17,43aB	8,41cB	38,61aB
SM3	4,91aB	3,43aB	6,26bB	11,59bC	27,58bA	30,86bB
20-30 cm						
SM1	4,88bB	3,40bA	7,71bB	13,50bB	27,23aB	25,36 aB
SM2	5,13aA	3,61aA	15,03aA	19,22aA	7,37bB	27,68 aC
SM3	5,10aA	3,36bB	7,02bAB	12,94bAB	28,89aA	24,55 aC
30-40 cm						
SM1	5,10aA	3,45abA	11,45bA	16,59bA	17,90bC	34,13aA
SM2	4,94bA	3,54aA	15,02aA	19,69aA	10,82cB	28,81abC
SM3	5,10aA	3,37bB	8,04cA	13,85cA	27,20aA	25,38bBC

Letras minúsculas comparam os sistemas de manejo e maiúsculas comparam as profundidades no sistema de manejo, pelo teste de Duncan a 5%.



contribuir para uma estabilização do pH a valores mais baixos (PONNAMPERUMA, 1972; LEON; ARREGOCÉS, 1981).

A quantidade de bases e a capacidade de troca de cátions apresentaram valores altos a muito altos em todos os sistemas de manejo do solo, segundo índices propostos por Ribeiro, Guimaraes e Alvarez (1999). Houve diferenças significativas, para estes atributos, entre os sistemas de manejo estudado, apresentando o sistema sob pastagem a maior soma de bases e a maior CTC em todas as profundidades estudadas. Os maiores valores da CTC no sistema sob pastagem podem ser atribuídos aos maiores valores da matéria orgânica nesse sistema. A matéria orgânica contribui para formação de muitas cargas negativas no solo, assim, a elevação dos teores aumenta a CTC (BAYER; BERTOL, 1999). Além disto, o maior conteúdo de argila no solo do sistema sob pastagem contribuiu para o aumento da CTC, uma vez que a fração argila é um importante componente da CTC do solo.

Com o aumento da profundidade houve incremento da soma de bases em todos os sistemas de manejo, decorrente do acréscimo significativo da concentração de magnésio.

A saturação por alumínio teve uma grande variação ao longo do perfil em todos os sistemas de manejo, apresentando valores de muito baixo a médio (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999) (Tabela 2). As maiores saturações por alumínio ocorreram no sistema de cultivo com arroz, nas camadas de 0-10 cm (34,94%) e 10-20 cm (33,15%), com diferença significativa para os demais sistemas. O sistema sob pastagem apresentou os menores valores para saturação por alumínio a partir da profundidade de 10 cm, fato decorrente da maior soma de bases presentes na CTC do solo, ou, ainda, a incorporação de material vegetal, inclusive verde, através de animais (FRANCHINI *et al.*, 1999), pode ter contribuído para isto.

Pode-se observar que o sistema cultivado com arroz apresentou os menores conteúdos de matéria orgânica

(34,62g kg⁻¹) na camada superficial (0-10 cm), diferindo estatisticamente dos demais sistemas (Tabela 2). Dificilmente um solo utilizado com agricultura e onde ocorreu preparo convencional apresentará teores mais elevados de matéria orgânica do que em condições de não preparo do solo ou naturais. A diminuição do teor de matéria orgânica em cultivos contínuos pode ser atribuída à maior decomposição da matéria orgânica humificada, por possibilitar maior mineralização, e ao menor retorno de resíduos vegetais ao solo (JUO; LAL, 1979). Outro aspecto que pode ter contribuído para redução da matéria orgânica foi a destruição dos agregados pelos implementos, que exporá a matéria orgânica protegida fisicamente do ataque microbiano, promovendo perda de carbono (CAMPARDELLA; ELLIOTT, 1993).

Os teores de matéria orgânica diminuíram com o aumento da profundidade do solo em todos os sistemas de uso do solo, exceção apenas no sistema de arroz, onde a redução ocorreu apenas na camada de 20-30 cm. A redução mais acentuada da camada superficial para as subseqüentes é normal ou esperada, pois está relacionada com a maior deposição superficial dos resíduos vegetais e animais (DERPSCH *et al.*, 1991; LONGO; ESPÍNDOLA, 2000), assim como pela natureza superficial das raízes das espécies nas áreas de várzeas.

Na Figura 1, ao serem analisados os diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono, pode-se observar que o sistema de cultivo com arroz provocou uma diminuição da quantidade de carbono na camada em que houve maior perturbação do solo (0-10 cm), indicando perda do carbono. No entanto, nas camadas subseqüentes, ocorreu uma acumulação do carbono superior a da vegetação natural. Por outro lado, no sistema do uso com pastagem, houve acúmulo de carbono no perfil do solo, indicando que este sistema funciona como depósito de carbono da atmosfera. Cabe ressaltar que neste sistema o teor de argila do solo é maior que nos demais, o que pode ter contribuído para o maior acúmulo de carbono.

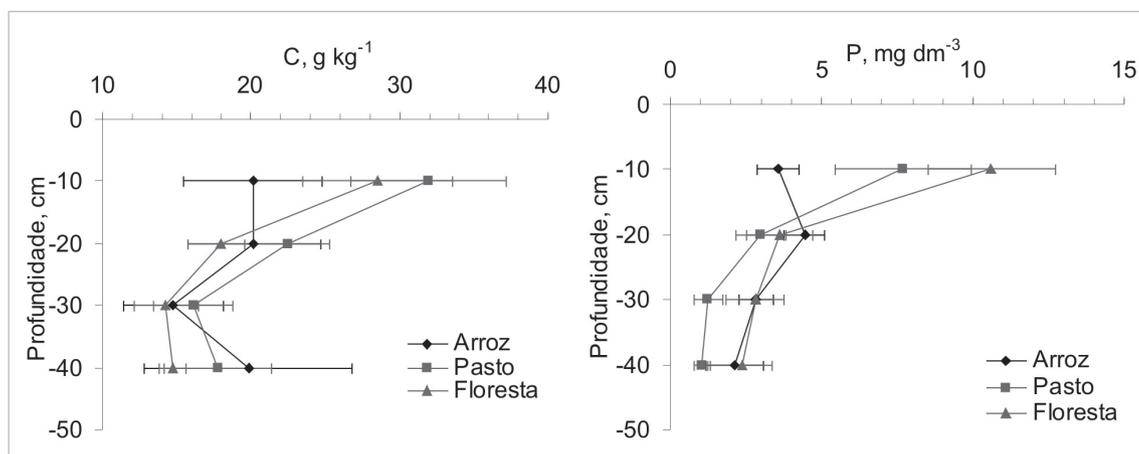


Figura 1. Concentração de carbono orgânico (média e desvio padrão) e de fósforo disponível de um Gleissolo do rio Guamá cultivado com arroz, com pastagem e sob vegetação natural em diferentes profundidades.

Pesquisas têm demonstrado que sistemas de uso que perturbam ou degradam o solo funcionam como fonte de carbono para a atmosfera (CORAZZA *et al.*, 1999; MACEDO, 1995; CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1993), enquanto que os sistemas que não o fazem ou apresentam alto potencial produtivo (pastagens) funcionam como depósito de carbono (CORAZZA *et al.*, 1999; LAL; KEMBLE; STEWART, 1995; FISHER *et al.*, 1994).

Observou-se que as concentrações de fósforo (P) apresentaram-se de muito baixa a baixa (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999) em ambos os sistemas de uso do solo (Figura 1). Os maiores valores foram constatados no sistema sob vegetação natural (10,60 mg dm⁻³), seguido do cultivado com pastagem (7,69 mg dm⁻³), na profundidade de até 10 cm. No solo sob cultivo do arroz houve uma redução acentuada da concentração de P, na camada superficial. No entanto, ocorreram reduções expressivas da concentração de P com a profundidade em todos os sistemas de manejo, proporcionalmente ao ocorrido com a matéria orgânica. Tal fato pode ser explicado devido ao fato de mais de 50% do P total ocorrer na forma orgânica nos solos de várzeas (SAH; MIKKELSEN; HAFEZ, 1989).

As baixas concentrações de P disponível nestes solos podem estar relacionadas à alta concentração de

alumínio (Al) trocável (Figura 2), que na forma de óxido, conduz a uma severa fixação de P (ALVIM, 1982; DIAS FILHO; SERRÃO, 1987; VIEIRA, 1988). Segundo Vieira *et al.* (1993), outro fator também a contribuir para a baixa concentração de P disponível é a grande quantidade de óxidos hidratados de ferro e manganês, o que pode indicar que o íon fosfato está ligado a eles.

Os valores da acidez trocável (Al) e potencial do solo revelaram-se de alto a muito alto (1,16 e 2,94 cmol_c dm⁻³) e médio a alto (4,19 e 6,92 cmol_c dm⁻³), respectivamente, de acordo com índices propostos por Ribeiro, Guimaraes e Alvares (1999). Constataram-se diferenças significativas entre os sistemas de manejos e as profundidades do solo (Figura 2). Menores valores de acidez trocável ocorreram na área sob pastagem, principalmente a partir da profundidade de 10-20 cm, que são decorrentes das maiores concentrações de cátions trocáveis presentes na CTC do solo. Fageria, Barbosa Filho e Zimmermann (1994) constataram correlações significativa e negativa da concentração de Al com a soma de bases, em vários solos de várzea do Brasil. Por outro lado, o aumento expressivo de íons H⁺ na camada superficial proporcionou uma maior acidez potencial na área sob pastagem.

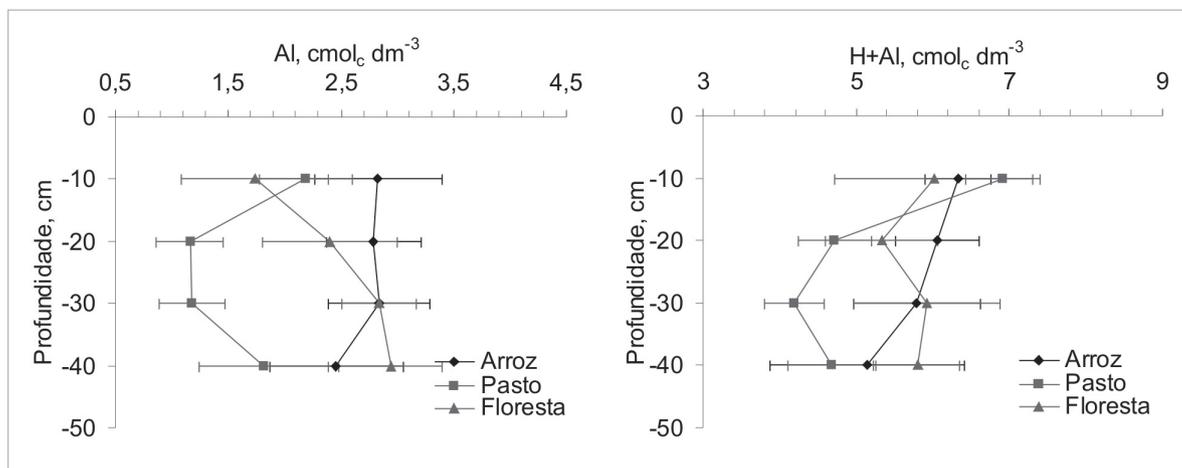


Figura 2. Concentração (média e desvio padrão) de alumínio trocável e da acidez potencial de um Gleissolo do rio Guamá cultivado com arroz, com pastagem e sob vegetação natural, em diferentes profundidades.

O maior valor de potássio (K) encontrado foi na área sob vegetação natural ($0,20 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), com valores propostos por Tomé Júnior (1997), apresentando-se médio até a profundidade de 30 cm e baixo na profundidade de 40 cm (Figura 3). No perfil estudado verifica-se que a utilização agrícola diminuiu consideravelmente a concentração de K até a profundidade de 30 cm. Nos sistemas de uso com arroz e com pastagem os valores foram baixos em todo o perfil (Figura 3), podendo constituir-se em limitação para a obtenção de elevadas produtividades quando submetidos a uma exploração agrícola mais intensiva. Fageria, Barbosa Filho e Zimmerman (1994), estudando as características químicas de dezoito solos de várzeas de diferentes estados brasileiros, constataram concentrações de K que variaram de 33 a 261 mg kg^{-1} , na camada de 0-20, com um valor médio de 124 mg kg^{-1} , considerado muito bom por Ribeiro, Guimarães e Alvares (1999). Já os valores observados neste estudo variaram de $0,203$ a $0,061 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

As atividades agrícolas aumentaram a concentração de Na no solo, possivelmente devido a menor utilização do elemento pelas espécies cultivadas (Figura 3). Embora o nível de Na nas águas do rio

Guamá elevem-se no período de menor precipitação pluviométrica, a concentração de Na no solo foi baixa ($0,68 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), o que não provocará nenhum efeito negativo para as culturas agrícolas.

De acordo com valores estabelecidos por Ribeiro, Guimarães e Alvares (1999), a concentração de cálcio trocável encontrado no solo, pode ser considerada média, independente do sistema de uso e da profundidade do solo, exceto na área sob vegetação natural, que a partir da profundidade de 10 cm apresentou valores baixos (Figura 4).

Houve diminuição do cálcio (Ca) com o aumento da profundidade na área cultivada com arroz e na área sob vegetação natural, já para a área sob pastagem houve um aumento significativo quando comparado aos outros sistemas de uso do solo. Tal fato pode ser justificado pelo enterrio do material pela pata do boi e devido, em parte, ao efeito da incorporação do esterco e urina animal (JORGE, 1985) ao longo dos anos de exploração desta área.

A concentração de magnésio (Mg) variou entre os sistemas de manejo, sendo a maior constatada na área com pastagem ($12,44 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), o que pode estar relacionado, em parte, ao efeito da incorporação

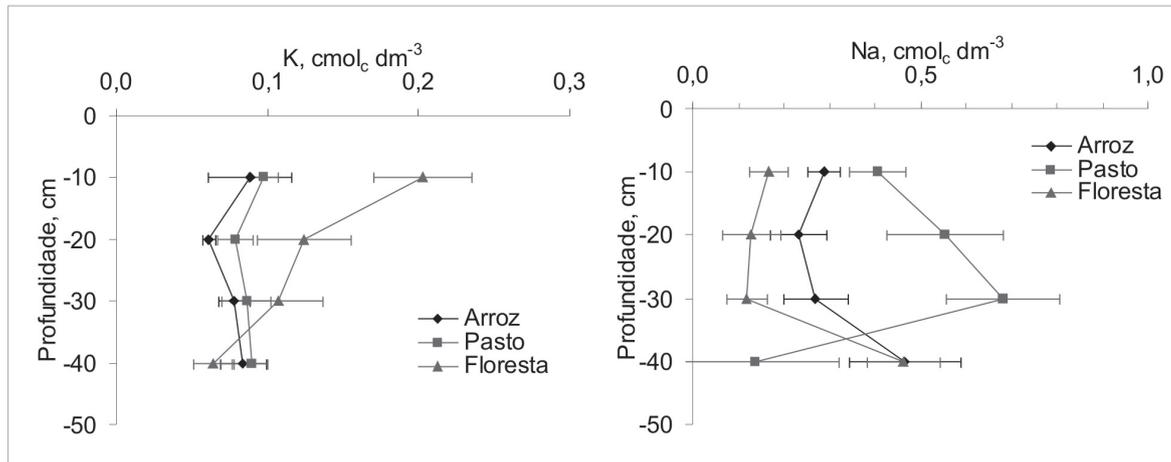


Figura 3. Concentração (média e desvio padrão) de potássio (K) e sódio (Na) de um Gleissolo do rio Guamá cultivado com arroz, com pastagem e sob vegetação natural, em diferentes profundidades.

do esterco animal (JORGE, 1985) ao longo dos anos de sua exploração (Figura 4). Os valores verificados para o Mg são bastante elevados, independente do sistema de uso e da profundidade do solo, fato que pode estar relacionado à incorporação ao solo do nutriente através da inundação pela água do rio Guamá, na qual foi constatada elevada concentração de Mg (LIMA, 1956).

Outro aspecto importante a destacar foi o aumento da concentração de Mg com a profundidade do solo em todos os sistemas estudados. Resultados semelhantes foram constatados por Carvalho (1994) em um Gleissolo de várzea do rio Guamá, campus da Embrapa, Pará e por Pimentel e Chaves (1993), ao estudarem um Gleissolo eutrófico do município de Monte Alegre, Pará. Estes últimos autores

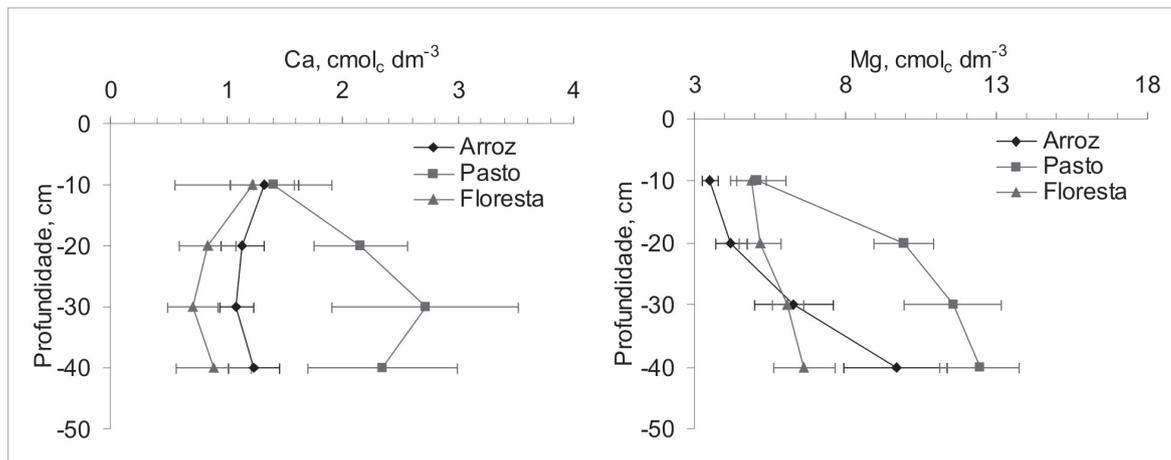


Figura 4. Concentração (média e desvio padrão) de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) de Gleissolos do rio Guamá cultivado com arroz, com pastagem e sob vegetação natural, em diferentes profundidades.

constatarem, também, um aumento de cálcio (Ca) em profundidade, o que poderia estar relacionado ao deslocamento para a subsuperfície, devido ao movimento descendente do lençol freático.

Camação e Marques (1995), ao avaliarem pastagem nativa de terra inundável, em várzea alta de Belém, Pará, encontraram $17,96 \text{ cmol}_c \text{ de Ca+Mg dm}^{-3}$ de solo, valor este maior que o encontrado neste trabalho para a mesma profundidade. Isto implica dizer que há na várzea alta um acúmulo destes nutrientes, o que pode estar relacionado à qualidade dos sedimentos depositados, os quais, em parte, são oriundos da cordilheira dos Andes e atingem as águas do rio Guamá via furo de Breves (LIMA; TOURINHO; COSTA, 2000), o que sugere a necessidade de pesquisas limnológicas, geomorfológicas e geológicas dirigidas para melhor entendimento da origem da colmatagem dos sedimentos nestas várzeas.

Ao ser analisada a contribuição das frações argila e orgânica para a capacidade de troca de cátions (CTC), através de regressão linear múltipla, obteve-se a seguinte equação: $CTC = 6,549 + (0,0299Arg) - (0,0247MO)$, com probabilidade menor do que 0,001 para argila e probabilidade de 0,155 para MO. Tal resultado sugere que a variação do teor de argila explica melhor a alteração da CTC, ou seja, a argila tem maior contribuição para a CTC deste solo do que a matéria orgânica.

A capacidade de troca de cátion de um solo resulta da proporção de seus diferentes colóides e de sua natureza argilo-húmicos. No presente estudo foi observado que os valores da CTC variaram de 37,03 a $56,69 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de argila, o que sugere a presença nos solos, também, de argilomineral 2:1, como a illita (Tabela 3). Argilominerais 1:1, como a caulinita, apresentam CTC que varia de 3-15 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de argila, valores insuficientes para explicar a CTC devido à argila, diferentemente dos argilominerais 2:1, que apresentam CTC bem mais elevada, a exemplo da illita, que varia de 20-40 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (SOLTNER, 1983).

CONCLUSÕES

O solo em condições naturais, de modo geral, apresentou atributos químicos que variaram de bons a muito bons, o que demonstra um grande potencial para o uso agrícola.

O cultivo agrícola dos solos das várzeas do rio Guamá provocou uma redução da concentração de P e de K.

O sistema de uso com pastagem apresentou maior sustentabilidade da fertilidade do que o sistema sob cultivo com arroz, visto que, além da melhoria das características químicas, a matéria orgânica também se elevou em relação ao sistema natural.

Tabela 3. Capacidade de troca de cátions (CTC), devido à argila, de Gleissolos do rio Guamá cultivado com arroz (SM1), com pastagem (SM2) e sob vegetação natural (SM3), em diferentes profundidades.

Profundidades	Sistema de Manejo		
	SM1	SM2 CTC, $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de argila	SM3
0-10 cm	51,30	51,46	53,71
10-20 cm	53,17	40,76	49,16
20-30 cm	43,73	39,69	56,43
30-40 cm	43,41	37,03	56,69

REFERÊNCIAS

- ALVIM, Paulo de Tarso. 1982. Potencial da Produção Agropecuária na Região Amazônica. In: SÁNCHEZ, Pedro A. *et al.* **Produção de Pastagens em Solos Ácidos dos Trópicos**. Brasília, DF: CIAT, EMBRAPA. p. 29-40.
- BAYER, C.; BERTOL, I. 1999. Características químicas de um Cambissolo Húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase a matéria orgânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, n. 3, p. 687-694.
- BASTOS, Terezinha Xavier. 1982. **O clima da Amazônia brasileira segundo Koppen**. Belém: EMBRAPA-CPATU. 4 p.
- BASTOS, Terezinha Xavier. 1972. **O estado atual do conhecimento das condições climáticas da Amazônia brasileira**. Belém: IPEAN. p. 68-122.
- CAMARÃO, Ari Pinheiro; MARQUES, José Ribamar Felipe. 1995. **Gramíneas nativas de terra inundável do trópico úmido Brasileiro**. Belém: EMBRAPA-CPATU. 62 p.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. 1993. Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and native grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 57, p. 1071-1076.
- CARVALHO, Eduardo Jorge Maklouf. 1994. **Efeito de sistemas de preparo sobre a matéria orgânica e algumas propriedades físicas em solos Glei pouco húmico da Amazônia Oriental**. 184 f. Tese (Doutorado), Piracicaba.
- CARVALHO, Eduardo Jorge Maklouf; COSTA, Milton Paulino da. 1992. **Manejo de solo de várzea do rio Guamá com tração animal e microtrator**. [S.l.]: EMBRAPA/CPATU. 6 p. Pesquisa em andamento.
- CORAZZA, E. J. *et al.* 1999. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, n. 2, p. 425-432.
- CURI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D. P. 1988. Solos de várzea de Minas Gerais. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 13, n. 152, p. 3-10.
- DERPSCH, R. *et al.* 1991. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Eschborn: GTZ, IAPAR. 272 p. (Boletim, 145).
- DIAS FILHO, Moacir Bernardino; SERRÃO, Adilson. 1987. **Limitações de fertilidade do solo na recuperação de pastagens degradadas em capim colômbio (*Panicum maximum* Jacq.) em Paragominas, na Amazônia oriental**. Belém: EMBRAPA. 19 p. (Boletim de pesquisa, n. 87).
- EMBRAPA. 1999. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 412 p. Centro Nacional de Pesquisa de Solos Rio de Janeiro, RJ.
- EMBRAPA. 1997. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS. 212 p. (Documentos, 1). Centro Nacional de Pesquisa de Solos Rio de Janeiro, RJ.
- FAGERIA, N. K. 1989. Química de solos de várzea. In: DECHEN, A. R.; CARMELLO, Q. A. de C.; FLOSS, E. L. (Coord.). SIMPÓSIO AVANÇADO DE SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 2., Piracicaba, 1989. **Anais...** Campinas, Fundação Cargill. p. 93-114.
- FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P.; ZIMMERMANN, F. J. P. 1994. Caracterização química e granulométrica de solos de várzea de alguns estados brasileiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 29, n. 2, p. 267-274, fev.
- FERREIRA, Waldemar de Almeida *et al.* 1998. **Efeito da inundação sobre as propriedades de um Glei pouco húmico de várzea do rio Guamá nos municípios de Belém e Santa Isabel, PA**. Belém: Embrapa-CPATU. 29 p.
- FISHER, M. J. *et al.* 1994. Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. *Nature*, v. 371, p. 236-238.
- FRANCHINI, J. C. *et al.* 1999. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v. 23, p. 533-542.
- GAMA, Marcos André Piedade. 1998. **Determinação da acidez potencial e da calagem em solos do nordeste paraense**. 72 f. Dissertação (Mestrado), Piracicaba.
- GUILHERME, L. R. G.; CURI, N.; GUEDES, G. A. A. Calagem e disponibilidade de fósforo para o arroz irrigado cultivado em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 13, n. 3, p. 341-347, set./dez.
- JORGE, José Antônio. 1985. **Física e manejo dos solos tropicais**. Campinas: Instituto campineiro de Ensino Agrícola. 328 p.
- JUO, A. S. R.; LAL, R. 1979. The effect of fallow and continuous cultivation on the chemical and physical properties of an Alfisol in western Nigeria. *Plant Soil*, v. 47, p. 567-584.
- LAL, R.; KIMBLE, J.; STEWART, B. A. 1995. World soils as a source or sink for radiatively-active gases. In: LAL, R. *et al.* (Ed.). **Soil management and greenhouse effect**. Boca Raton: CRC Lewis Publishers. p. 1-7.
- LÉON, L. A.; ARREGOCÉS, O. 1981. **Química de los suelos inundados: guia de estudio**. Cali, Colombia: CIAT. 35 p.
- LIMA, Rubens Rodrigues. 1956. **A agricultura nas várzeas do estuário do Amazonas**. Belém, PA: Instituto agrônomo do norte. 160 p.
- LIMA, Rubens Rodrigues; TOURINHO, Manoel Malheiros; COSTA, José Paulo Chaves da. 2000. **Várzeas flúvio-marinhas da Amazônia brasileira: características e possibilidades agropecuárias**. Belém: FCAP, SDI. 342 p.
- LONGO, Regina M.; ESPÍNDOLA, Carlos R. 2000. Alterações em características químicas de solos da região Amazônica pela introdução de pastagens. *Acta Amazonica*, v. 30, n. 10, p. 71-80.
- MACEDO, M. C. M. 1995. Pastagens no ecossistema cerrados: pesquisa para o desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO SOBRE PASTEGENS NOS ECOSISTEMAS BRASILEIROS, REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 32., 1995, Brasília. **Anais...** Brasília, DF: SBZ. p.28-62.

- MASCARENHAS, Raimundo Evandro Barbosa; MODESTO JÚNIOR, M. de S. 1998. **Plantas daninhas de Várzea do rio Guamá/PA**. Belém: EMBRAPA, CPATU. 52 p. (Boletim de pesquisa, 186).
- MORAES, J. F. V. 1973. Efeitos da inundação do solo II: influência sobre a absorção de nutrientes e o crescimento do arroz (*Oryza sativa*). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 8, n. 7, p. 103-8.
- NASCIMENTO, Cristo Nazaré B.; CAMARÃO, Ari Pinheiro; SALIMOS, E. P. 1988. **Avaliação de gramíneas forrageiras em área de mangue da ilha de Marajó**. Belém: Embrapa, CPATU. 18 p.
- PIMENTEL, Gladys Beatriz Martinez; CHAVES, Rui de Souza. 1993. Produtividade do Caupi sob diferentes sistemas de manejo de um solo de várzea do Médio Amazonas Paraense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 1, p. 135-138.
- PONNAMPERUMA, F. N. 1972. The chemistry of submerged soil. **Advances in Agronomy**, New York, v. 24, p. 28-96.
- AJ, Bernardo Van *et al.* 1987. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargil. 107 p.
- REICHARDT, Klaus. 1985. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. Campinas: Fundação Cargil. 466 p.
- RIBEIRO, Antonio Carlos; GUIMARÃES, Paulo de Tácito Gontijo; ALVAREZ, Victor Hugo. 1999. **Recomendações para o uso de corretivo e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do solo do estado de Minas Gerais. 359 p. 5º Aproximação.
- RODRIGUES, Tarcísio Everton; OLIVEIRA, Raimundo Cosme de. 1996. Solos de várzeas da Amazônia: uso e potencialidade. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 22., 1996, Manaus. **Palestras...** Manaus: Universidade do Amazonas. p. 215-221.
- SAH, R. N.; MIKKELSEN, D. S.; HAFEZ, A. A. 1989. Phosphorus behavior in flooded drained soils II: iron transformation and phosphorus sorption. **Soil Science Society of America Journal**, v. 53, p.1729-1732.
- SOLTNER, Dominique. 1983. **Les bases de la production végétale**. 12. ed. [S.l.:s.n.]. 456 p. (Collection: Sciences et techniques agricoles).
- TOMÉ JÚNIOR, Juarez Barbosa. 1997. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: agropecuária. 270 p.
- VIEIRA, Lúcio Salgado. 1988. **Manual da Ciência do Solo: com Ênfase aos solos Tropicais**. 2. ed. São Paulo: Agronômica Ceres. 464 p.
- VIEIRA, Lúcio Salgado *et al.* 1993. Formas de fósforo em solos de Estado do Pará I: latossolo Amarelo, textura média da parte noroeste da Região Bragantina. **Boletim da FCAP**, Belém, n. 21, p. 65-75, dez.
- ZONTA, Elio Paulo; MACHADO, Amauri Almeida. 1991. **Sistema de análise estatística para microcomputadores (SANEST)**. Pelotas: UFPel, Departamento de Matemática e Estatística. 101 p.

Recebido: 17/08/2004
Aprovado: 14/11/2005

