

SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

RELAÇÃO ENTRE ACIDEZ E OUTROS ATRIBUTOS QUÍMICOS EM SOLOS COM TEORES ELEVADOS DE MATÉRIA ORGÂNICA ⁽¹⁾

ADIERSON GILVANI EBELING ⁽²⁾; LÚCIA HELENA CUNHA DOS ANJOS ^(3*); DANIEL VIDAL PEREZ ⁽⁴⁾;
MARCOS GERVASIO PEREIRA ⁽³⁾; GUSTAVO SOUZA VALLADARES ⁽⁵⁾

RESUMO

O elevado teor de matéria orgânica dos Organossolos confere-lhes características edáficas próprias, que podem ser contrastantes em relação ao observado em solos minerais. Devido à forte interação entre a matéria orgânica e os elementos a ela adsorvidos, os métodos de rotina em fertilidade do solo podem não avaliar de forma adequada a acidez nos Organossolos. Os objetivos deste trabalho foram caracterizar e estabelecer relações entre atributos do complexo sortivo e a acidez em solos com alto teor de carbono. Foram avaliados doze perfis, onze Organossolos e um Cambissolo, de diferentes Estados brasileiros, coletados de 2000 a 2002. Os perfis foram separados em ambientes de várzeas e planícies litorâneas e solos de ambiente altimontano e planalto. Além da caracterização dos perfis, segundo métodos da Embrapa, o pH foi analisado por diferentes métodos e foram determinados os teores de C, usando um analisador elementar (C_CHN), e a matéria orgânica pelo método da mufla (MO_mufla). Pelos resultados, verifica-se que os métodos de determinação de pH em água, em KCl e o pH SMP podem ser usados para expressar a acidez desses solos. Observou-se alta correlação entre o pH SMP e a acidez potencial. Os teores de C_CHN e de MO_mufla tiveram correlação significativa, porém negativa, com o pH em água e positiva com os valores T e H. O comportamento diferenciado da acidez dos solos, em função do ambiente de formação, indica ser importante esta separação no manejo da acidez e na avaliação da fertilidade em Organossolos.

Palavras-chave: Organossolos, turfa, pH, carbono orgânico, análise de solos.

⁽¹⁾ Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao CPGA-CS, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Recebido para publicação em 6 de julho de 2006 e aceito em 28 de setembro de 2007.

⁽²⁾ Bolsista de Doutorado do CNPq. E-mail: adiersonge@gmail.com;

⁽³⁾ Departamento de Solos, UFRRJ. BR 465 km 7, 23890-000 Seropédica (RJ). E-mail: lanjdos@ufrj.br (*) Autora correspondente; gervasio@ufrj.br. Bolsistas de Produtividade do CNPq.

⁽⁴⁾ Embrapa Solos, Rua Jardim Botânico 1024, 22460-000, Rio de Janeiro (RJ). E-mail: daniel@cnps.embrapa.br

⁽⁵⁾ Embrapa Monitoramento por Satélite, Av. Soldado Passarinho, 303, Jardim Chapadão, 13070-115 Campinas (SP). E-mail: gustavo@cnpm.embrapa.br.

ABSTRACT

RELATIONSHIP BETWEEN ACIDITY AND OTHER CHEMICAL ATTRIBUTES OF SOILS WITH HIGH ORGANIC MATTER CONTENT

The high levels of organic matter in Histosols grant them peculiar characteristics that are contrasting when compared to mineral soils. Due to the strong interaction between organic matter and adsorbed elements, the routine methods in soil fertility may not evaluate properly Histosols soil acidity. The objectives of this study were to characterize and establish relationships between attributes of the sorption complex and soil acidity, in soils with high organic carbon. The study was developed with twelve soil profiles from different Brazilian states, sampled from 2000 to 2002; eleven profiles were classified as Histosols and one as Inceptisol. The profiles were grouped according to formation environment in soils from coastal and river plains, and soils from high altitude mountainous areas and flat highlands. Besides characterization of soil profiles, according to Embrapa methods, pH was measured by different methods. The amount of carbon was measured using an elemental analyzer (C_CHN), and organic matter (OM) was quantified using a furnace. The results showed that pH measured in water, KCl, and SMP solutions might be equally used to evaluate soil acidity. A high correlation between soil pH by SMP and potential acidity was observed. Levels of C_CHN and OM showed significant correlation with pH in water, though negative, and with CEC and H values, these with positive values. The differences in soil acidity between the two soil groups, according to the formation environment, indicate that this separation is important for managing soil acidity, and evaluating Histosols soil fertility.

Key words: Histosols, peat soils, soil pH, organic carbon, soil analysis.

1. INTRODUÇÃO

O elevado teor de matéria orgânica dos Organossolos confere-lhes características físicas, químicas e biológicas próprias. Algumas delas resultam em efeitos contrastantes em relação aos observados em solos minerais. Como exemplo, os elevados teores de alumínio e baixos valores de pH, características indesejáveis em solos minerais, geralmente, têm menor impacto negativo no desenvolvimento das plantas, devido ao elevado poder tampão da matéria orgânica. Ainda, altos valores de saturação por Al ocorrem, simultaneamente, com altos níveis de Ca e, principalmente, de Mg no complexo sortivo desses solos. A avaliação da reação do solo e a determinação dos níveis de fertilidade do solo são aspectos importantes no uso agrícola de todos os solos, mas têm um caráter especial nos Organossolos (PEREIRA et al., 2005).

Em grande parte dos Organossolos e em alguns solos com horizonte superficial com alto teor de matéria orgânica, constata-se elevada acidez, com valores de pH de 3,5 a 4,5. Entretanto, ao contrário do que ocorre em solos minerais, em Organossolos o pH está mais relacionado ao teor de ácidos orgânicos e à presença de sulfeto de ferro e outros compostos de enxofre oxidáveis do que ao alumínio (ANDRIESSE, 1984; LUCAS, 1982; LEPSCH et al., 1990).

A acidez do solo é dividida em três componentes: a) acidez ativa que corresponde à atividade dos íons hidrogênio em solução e determinada através de potenciômetro ou medidor de pH; b) acidez trocável que corresponde, normalmente,

à quantidade de Al^{3+} adsorvido aos colóides do solo; e c) acidez potencial que corresponde à soma da acidez trocável com os íons hidrogênio adsorvidos na superfície dos colóides, utilizando uma solução-tampão.

Com base nesses conceitos, então, desenvolveram-se critérios para recomendação de calagem para neutralização da acidez do solo. A maioria dos Estados brasileiros adota o critério do alumínio trocável, geralmente associado à necessidade de elevar Ca^{2+} e Mg^{2+} (COSCIONE et al., 2001).

Nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, a recomendação de calagem é feita com base no método do pH SMP (KAMINSKI, 1974; ERNANI e ALMEIDA, 1986). Já em São Paulo, a necessidade de calagem é determinada por método baseado na correlação entre o valor do pH em $CaCl_2$ e a saturação por bases do solo, estabelecido, inicialmente, por CATANI e GALLO (1955) e, posteriormente, modificado por QUAGGIO et al. (1985).

Os critérios de recomendação de calagem, em geral, foram desenvolvidos a partir de resultados obtidos para solos minerais. Ao serem aplicados em Organossolos e solos com elevado teor de matéria orgânica, resultam em recomendação de doses elevadas de calcário, aumentando a atividade biológica no solo, pela adição de nutrientes, e acelerando o processo de mineralização da matéria orgânica. Métodos e critérios diferenciados devem ser testados para esses solos, em especial para avaliar a acidez e recomendação de calagem.

É objetivo deste trabalho caracterizar e estabelecer relações entre atributos do complexo sortivo e os relacionados à acidez em Organossolos e em solo com elevado teor de carbono orgânico, coletados em diferentes Estados brasileiros.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho foram utilizados onze perfis de Organossolos e um de Cambissolo com A Húmico, coletados em diferentes regiões do Brasil, no período de 2000 a 2002, totalizando 36 horizontes (Tabela 1), sendo alguns deles compostos por materiais de natureza mineral e não orgânica. Em cada horizonte

dos perfis foram coletadas amostras deformadas e indeformadas. As amostras de terra foram secadas ao ar, destorroadas e passadas por peneira com malha de 2,0 mm, para obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA). Os materiais foram caracterizados quanto às propriedades químicas segundo o Manual de Métodos de Análises de Solos (EMBRAPA, 1997).

A determinação do pH foi feita potenciométricamente na suspensão solo: solução 1:2,5 em água, KCl 1 mol L⁻¹ e CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ com tempo de contato não inferior a uma hora, de acordo com EMBRAPA (1997). A determinação do pH pelo método do pH SMP foi feita segundo RAIJ e QUAGGIO (1983).

Tabela 1. Localização e classificação dos perfis de Organossolos e Cambissolo coletados em vários Estados do Brasil

Símbolo Perfil (1)	Ambiente (2)	Município	Posição (S, N)		Classificação (3)
AL-2	1	Coruripe	10° 7'S	36° 12'N	Organossolo Tiomórfico Hêmico típico
BA-2	1	Ituberá	13° 42'S	38° 59'N	Organossolo Tiomórfico Hêmico terrico
RJ-3	1	São José da Boa Morte	22° 34'S	42° 42'N	Organossolo Háplico Hêmico terrico
RS-4	1	Viamão	30° 10'S	50° 49'N	Organossolo Tiomórfico Sáprico típico
SC-2	1	Governador Celso Portela	27° 21'S	48° 37'N	Organossolo Tiomórfico Hêmico típico
DF-1	2	Guará II	15° 48'S	48° 1'N	Organossolo Háplico Sáprico típico
MG-2	2	Coronel Pacheco	21° 35'S	43° 17'N	Organossolo Háplico Hêmico terrico
MS-2	2	Porto Morumbi	23° 49'S	54° 5'N	Organossolo Tiomórfico Sáprico terrico
PR-2	2	Tijucas do Sul	25° 53'S	49° 8'N	Organossolo Háplico Sáprico típico
RJ-1	2	Parque Nacional Itatiaia	22° 22'S	44° 48'N	Cambissolo Húmico Distrófico típico
RJ-4	2	Nova Friburgo	22° 18'S	42° 31'N	Organossolo Háplico Sáprico terrico
SP-1	2	Taubaté	23° 4'S	45° 33'N	Organossolo Háplico Sáprico terrico

(1) Estados brasileiros: AL: Alagoas; BA: Bahia; DF: Distrito Federal, Brasília; MG: Minas Gerais; MS: Mato Grosso do Sul; PR: Paraná; RJ: Rio de Janeiro; RS: Rio Grande do Sul; SC: Santa Catarina; SP: São Paulo.

(2) Ambiente: 1- Baixada litorânea e Várzeas; 2- Planaltos e Ambientes de Altitude. (3) SiBCS, Embrapa (2006).

A determinação da acidez extraível com solução de KCl 1 mol L⁻¹ foi realizada em triplicata para cada amostra de solo sendo quantificado segundo EMBRAPA (1997). Para medir a acidez total foi usada uma solução tamponada de acetato de cálcio 1 mol L⁻¹ em pH 7,0 na proporção de 1:15, e titulada a acidez com NaOH 0,025 mol L⁻¹. Para a extração do Al o pH da solução de KCl 1 mol L⁻¹, foi ajustado para 5,0, mediante a adição de algumas gotas de HCl 1 mol L⁻¹, para garantir que as extrações ocorressem em meio adequado e sob condições reprodutíveis, eliminando as impurezas, de efeito tamponante, que podem ser encontradas nesse reagente (CANTARELLA et al., 1981).

O carbono do solo foi determinado pelo método CHN (C_CHN) e usando mufla. No primeiro

método de combustão a seco, o carbono total foi quantificado usando um analisador elementar Modelo Perkin Elmer 2400 CHNS. Foram utilizadas amostras de solo de 5,0 mg (mais ou menos 0,1 mg) e acetoneida como substância de referência. No método da mufla, também de combustão e com base em diferença de massa, uma amostra de solo (de 5 a 10 g), previamente seca em estufa (105 °C/24 horas), foi macerada e peneirada, como descrito por EMBRAPA (1997), com modificações segundo EMBRAPA (2006). Depois de pesada, a amostra foi colocada em mufla e deixada por 6 horas a 600 °C; decorrido esse tempo, a amostra foi novamente pesada. O conteúdo de matéria orgânica foi determinado por diferença de massa em relação à amostra original seca em estufa (MO_mufla).

Foram utilizadas técnicas de estatística descritiva, com auxílio de gráficos para representar as propriedades químicas dos solos.

As inferências sobre os resultados foram efetuadas com base em análises de regressão linear simples e correlação de Pearson. Foram realizadas análises de correlações entre os valores de pH pelos diferentes métodos testados com o Al^{3+} trocável, saturação por bases, acidez potencial, carbono total e matéria orgânica.

Os coeficientes de correlação (r) foram testados através do teste T de student. Para a acidez potencial e o pH SMP também foi realizada a análise de regressão dos dados, onde o coeficiente r foi testado mediante estatística F. Todas as análises estatísticas foram testadas com probabilidade de 0,01, 0,05 e 1 %.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comportamento do pH determinado em água, KCl, CaCl_2 e pH SMP (Tabela 2) não foi distinto do que é observado em solos com domínio de material de solo mineral. Em geral, os valores de pH em água foram os maiores e os em KCl os menores. Esses resultados são atribuídos ao efeito da solução de KCl, que, em contato com a amostra de terra, induz a troca de cátions devido à maior concentração dos íons K^+ , liberando íons H^+ e Al^{3+} para a solução, com conseqüente aumento da acidez.

Os valores de pH em KCl 1 mol L^{-1} se correlacionaram (Tabela 3) com o pH em água e o pH SMP, tendo média de 3,9 e seus valores variando de 1,4 a 5,3. Para materiais orgânicos boa parte dessa acidez deve-se provavelmente à interferência na extração de Al^{3+} e H^+ , pela solução salina (KCl 1 mol L^{-1}), de moléculas orgânicas de radicais carboxílicos e fenólicos oriundos da MO (RAIJ et al., 1982). Ainda, no caso dos Organossolos com caráter tiomórfico, a acidez decorrente da formação do horizonte sulfúrico é indiferenciadamente titulada, segundo os métodos rotineiramente usados, como o descrito por CAMARGO et al. (1986).

Quanto à correlação entre os valores de pH determinados por diferentes métodos (Tabela 3), os coeficientes foram altamente significativos ($p < 0,01$). O coeficiente de correlação mais elevado (0,86) foi verificado entre o pH em água e em KCl 1 mol L^{-1} . LEPSCH et al. (1990), trabalhando com Organossolos do Vale do Ribeira Iguape (SP), verificaram correlações altamente significativas entre o pH em água e o pH em KCl 1 mol L^{-1} , sugerindo que o uso de solução salina seria eficaz para a determinação do pH em Organossolos.

Os valores de pH em CaCl_2 0,01 mol L^{-1} tiveram correlação altamente significativa (Tabela 3) com pH em água, pH em KCl 1 mol L^{-1} e pH SMP. Para Organossolos, os índices de pH em CaCl_2 0,01 mol L^{-1} são cerca de 0,5 unidade mais baixos em relação ao pH em água, enquanto que em solos minerais essa diferença é cerca de 0,6 unidade (RAIJ et al., 2001). O pH em CaCl_2 é considerado uma determinação mais precisa do que o pH em água, representado pela atividade do íon na solução do solo e bastante afetado por pequenas quantidades de sais presentes no solo (SCHOFIELD e TAYLOR, 1955; DAVEY e CONYERS, 1988).

Os valores de pH SMP tiveram correlação altamente significativa (Tabela 3) com pH em água, pH em KCl 1 mol L^{-1} e pH em CaCl_2 0,01 mol L^{-1} .

Segundo GALVÃO e VAHL (1996), em solos com elevada acidez, como nos Organossolos, é possível que o poder tampão seja alto o bastante para superar o poder tampão da solução SMP quando em contato com a amostra. Eventualmente, toda a acidez do solo poderia ser neutralizada, até o esgotamento. De acordo com DOLMAN e BUOL (1967) e Schnitzer e Gupta (1965), apud GALVÃO e VAHL (1996), os valores de pH em solos minerais variam com a relação sólido-líquido, tipo de reagente e tempo de reação, fatores estes que teriam menor importância em solos orgânicos. DOLMAN e BUOL (1967) consideram que o pH em solos orgânicos depende de fatores tais como Al hidrolisável, drenagem e ácidos orgânicos livres e do método de determinação. Como também salientam TIE e KUEH (1979), o pH e o poder tampão da solução são fundamentais na determinação da acidez potencial dos solos orgânicos.

Para avaliar a relação entre a acidez e outros atributos químicos dos Organossolos e solos ricos em matéria orgânica, foram calculados os coeficientes de correlação e de determinação do pH em água, pH em KCl, pH em CaCl_2 e pH SMP com as propriedades Valor T, Valor S, V%, acidez potencial e hidrogênio titulável (Tabelas 4 e 5).

Em todos os métodos de determinação do pH observaram-se correlação negativa e altamente significativa com o valor T. A acidez potencial e o Al^{3+} trocável revelaram correlações altamente significativas com todos os métodos, principalmente o pH em água e o pH em KCl, porém o mesmo não ocorreu para o Valor S (Tabelas 6 e 7). No Valor V% verificou-se correlação significativa a 5% de probabilidade com o pH em água e em KCl, mas com baixos coeficientes de correlação. Não foi observada correlação entre pH em CaCl_2 e os valores de saturação por bases.

Tabela 2. Valores de pH determinados pelos métodos: em água, KCl, CaCl₂ e SMP; valores de alumínio e de H+Al (em cmol_c kg⁻¹) para os perfis de Organossolos e Cambissolos

Perfil	Horizonte	pH água	pH KCl	pH CaCl ₂	pH SMP	Al	H + Al
AL-2	Hdojp	3,2	4,1	3,1	3,6	0,6	40,0
	Hdoj1	3,0	3,4	2,3	2,8	1,3	49,3
	Hdoj2	3,2	3,7	2,8	4,3	6,0	30,9
	Hoj	1,7	1,4	3,0	1,4	6,1	75,6
BA-2	Hdoj1	3,4	3,1	1,8	2,6	3,3	78,9
	Hdoj2	3,2	2,8	1,6	2,3	3,7	67,8
	Hdoj3	2,5	2,8	1,8	3,2	8,5	88,6
RJ-3	Hdp	4,8	4,0	3,2	4,0	2,4	25,6
	Hdo 1	5,3	4,6	3,2	4,6	1,1	20,0
	Hdo2	4,9	4,8	3,5	5,2	1,0	19,6
	Hdo	5,1	4,2	3,2	4,6	1,0	33,5
RS-4	Hdpj	3,0	2,8	1,6	2,4	5,5	89,1
	Hdj	3,2	2,9	2,5	2,8	3,8	70,3
	Hdoj	3,6	3,8	2,9	3,9	0,9	46,9
SC-2	Hdoj1	3,6	3,2	2,3	3,2	2,2	49,7
	Hdoj2	3,3	3,3	2,1	3,3	2,1	44,2
DF-1	Hdp	5,9	4,1	4,7	4,1	0,0	12,2
	Hd1	5,4	4,2	3,7	4,2	0,3	29,0
	Hd2	5,6	5,3	3,7	4,6	0,1	38,3
MG-2	Hd	5,1	4,6	4,2	5,9	1,3	13,2
	2Hd	5,1	4,6	4,3	5,6	0,3	23,8
MS-2	Hd1	4,4	4,1	3,3	5,3	1,6	24,4
	Hd2	4,3	4,1	3,1	4,8	2,2	34,5
PR-2	Hdp1	4,4	3,4	3,5	5,0	0,7	34,8
	Hdp2	4,1	4,0	3,1	4,9	4,5	63,2
	Hdp3	4,5	4,2	3,3	4,2	2,9	54,5
RJ-1	A1	5,1	3,8	5,1	4,5	0,5	24,1
	A2	5,1	4,0	5,1	4,9	0,2	19,6
	Bi	5,0	4,0	5,0	4,5	0,2	28,2
	2Bi	5,1	4,1	5,1	4,8	1,3	24,8
RJ-4	Hdp1	5,5	4,4	4,3	4,8	0,1	20,3
	Hdp2	5,9	4,9	4,1	4,9	0,0	20,3
	Hdp3	5,9	4,6	4,0	3,9	0,0	16,8
	Hd	5,8	4,4	3,9	4,7	0,0	32,0
SP-1	Hdp1	5,2	4,4	3,2	4,6	0,4	58,2
	Hdp2	5,1	4,4	3,5	4,2	0,3	41,7
Média	-	4,4	3,9	3,4	4,1	1,8	40,1

Estados brasileiros: AL: Alagoas; BA: Bahia; DF: Distrito Federal, Brasília; MG: Minas Gerais; MS: Mato Grosso do Sul; PR: Paraná; RJ: Rio de Janeiro; RS: Rio Grande do Sul; SC: Santa Catarina; SP: São Paulo.

Tabela 3. Coeficientes de correlação e determinação entre os diferentes valores de pH em função do método de determinação, para os perfis de Organossolos e Cambissolos

Equação	r	R ²	Significância (%)
$pH_{\text{água}} = 0,6739x + 0,4715pH_{\text{CaCl}_2}$	0,74	0,54	0,01
$pH_{\text{água}} = 0,6039x + 1,2078pH_{\text{KCl}}$	0,86	0,75	0,01
$pH_{\text{água}} = 0,695x + 1,0293pH_{\text{SMP}}$	0,76	0,57	0,01
$pH_{\text{KCl}} = 0,7406x + 0,4747pH_{\text{CaCl}_2}$	0,57	0,32	0,01
$pH_{\text{KCl}} = 1,0966x - 0,1518pH_{\text{SMP}}$	0,82	0,68	0,01
$pH_{\text{SMP}} = 0,6579x + 0,6491pH_{\text{CaCl}_2}$	0,66	0,44	0,01

Tabela 4. Valores de T, S, teor de hidrogênio, V%, matéria orgânica determinada pela mufla (MO_mufla) e carbono determinado pelo CHN (C_CHN), nos perfis de Organossolos e Cambissolos

Perfil*	Horizonte	Valor T	Valor S	V	H	MO_mufla	C_CHN
		————— cmol _c kg ⁻¹ —————		%	cmol _c kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹
AL-2	Hdojp	42,5	2,54	6	34,0	530,9	305,8
	Hdoj1	51,6	2,32	5	43,2	916,2	508,1
	Hdoj2	33,2	2,37	7	26,8	873,5	454,7
	Hoj	75,3	2,57	2	65,7	290,0	120,7
BA-2	Hdoj1	88,3	9,46	11	75,6	909,5	525,3
	Hdoj2	72,1	4,34	6	64,1	963,2	528,5
	Hdoj3	96,8	8,25	9	80,1	739,9	369,9
RJ-3	Hdp	48,7	23,20	48	23,2	604,9	339,8
	Hdo 1	47,7	27,77	58	18,9	717,9	314,9
	Hdo2	43,8	24,17	55	10,0	750,1	332,3
	Hdo	59,3	25,87	44	32,5	684,3	288,5
RS-4	Hdpj	97,1	8,03	8	83,6	762,7	425,7
	Hdj	88,4	18,19	84	66,5	678,3	482,2
	Hdoj	66,8	20,03	66	46,0	868,9	490,0
SC-2	Hdoj1	56,5	6,90	46	47,5	864,5	460,0
	Hdoj2	52,1	7,89	47	42,1	939,8	528,1
DF-1	Hdp	33,2	21,05	42	12,2	186,9	101,7
	Hd1	34,9	5,92	17	28,8	265,2	132,4
	Hd2	57,1	18,90	33	38,2	370,2	196,6
MG-2	Hd	15,2	2,08	14	11,9	209,2	114,8
	2Hd	28,8	5,05	18	23,5	407,3	206,4
MS-2	Hd1	27,9	3,51	13	22,8	291,2	121,1
	Hd2	40,7	6,21	15	32,3	337,5	189,3
PR-2	Hdp1	44,1	9,37	21	34,1	278,7	144,1
	Hdp2	27,9	3,51	13	22,8	291,2	121,1
	Hdp3	57,9	3,49	6	51,6	485,4	270,0
RJ-1	A1	75,3	2,57	2	65,7	290,0	120,7
	A2	96,8	8,25	9	80,1	739,9	369,9
	Bi	97,1	8,03	8	83,6	762,7	425,7
	2Bi	51,6	2,32	5	43,2	916,2	508,1
RJ-4	Hdp1	33,2	2,37	7	26,8	873,5	454,7
	Hdp2	52,1	7,89	15	42,1	939,8	528,1
	Hdp3	88,3	9,46	11	75,6	909,5	525,3
	Hd	66,8	20,03	30	46,0	869,0	490,0
SP-1	Hdp1	25,4	0,66	3	24,7	153,6	55,3
	Hdp2	59,3	25,87	44	32,5	684,3	288,5

* Estados Brasileiros: AL, Alagoas; BA, Bahia; DF, Distrito Federal, Brasília; MG, Minas Gerais; MS, Mato Grosso do Sul; PR, Paraná; RJ, Rio de Janeiro; RS, Rio Grande do Sul; SC, Santa Catarina; SP, São Paulo.

Os coeficientes de correlação e de determinação entre os valores de pH determinados pelos diferentes métodos e os teores de carbono determinados pelo CHN e da matéria orgânica determinada pela mufla e o Al³⁺ trocável e H⁺ extraível (Tabela 6 e 7) revelam correlação negativa e significativa para MO_mufla e C_CHN em relação ao

pH para todos os métodos, com maiores valores absolutos dos coeficientes de correlação e de determinação para o pH em CaCl₂. As correlações entre Al e pH foram negativas e altamente significativas a 0,01 %. Os resultados indicam que com o aumento dos teores de matéria orgânica ocorre redução dos valores de pH.

Tabela 5. Coeficientes de correlação dos valores de pH e algumas propriedades químicas dos solos

Equação	r	R ²	Significância(%)
Valor T= - 16,943x + 124,54 _{pHágua}	-0,75	0,55	0,01
Valor T= - 24,141x + 143,7 _{pHKCl}	-0,74	0,54	0,01
Valor T= - 18,716x + 112,45 _{pHCaCl2}	-0,74	0,54	0,01
Valor T= - 18,943x + 127,67 _{pHSMP}	-0,77	0,59	0,01
Valor S= 0,7703x + 4,8543 _{pHágua}	0,10	0,01	Não significativo
Valor S= 1,4908x + 2,4483 _{pHKCl}	0,14	0,01	Não significativo
Valor S= - 1,4073x + 13,003 _{pHCaCl2}	-0,17	0,02	Não significativo
Valor S= 0,1248x + 7,7521 _{pHSMP}	0,01	0,00	Não significativo
Valor V%= 5,1146x - 5,4294 _{pHágua}	0,33	0,11	5
Valor V%= 7,1731x - 10,767 _{pHKCl}	0,32	0,10	5
Valor V%= 1,3867x + 12,565 _{pHCaCl2}	0,08	0,00	Não significativo
Valor V%= 3,7962x + 1,5612 _{pHSMP}	0,23	0,05	Não significativo
H + Al= -17,713x + 119,68 _{pHágua}	0,80	0,64	0,01
H + Al= -25,632x + 141,25 _{pHKCl}	0,80	0,64	0,01
H + Al= -17,309x + 99,45 _{pHCaCl2}	0,70	0,49	0,01
H + Al= -19,067x + 119,91 _{pHSMP}	0,79	0,62	0,01
H titulável= -15,778x + 108,74 _{pHágua}	0,78	0,60	0,01
H titulável= -23,522x + 130,64 _{pHKCl}	0,79	0,62	0,01
H titulável= -15,688x + 91,623 _{pHCaCl2}	0,69	0,46	0,01
H titulável= -17,581x + 111,41 _{pHSMP}	0,79	0,61	0,01

Os valores da acidez potencial (H + Al) foram altos em todos os solos, variando de 12,2 a 89,1 cmol_c kg⁻¹, sendo maiores do que os valores mencionados por DOLMAN e BUOL (1967). Segundo esses autores, o teor de H⁺ nos Organossolos varia de 0 a 2,5 cmol_c kg⁻¹, em solos bem drenados, e de 2 a 12 cmol_c kg⁻¹ nos solos com má drenagem. A maior parte da acidez trocável extraída com KCl em solos minerais é devida à hidrólise do Al³⁺. Nos Organossolos, é provável que grande parte desta acidez seja devida ao teor de H⁺, o que significa que a relação Al/H + Al nestes solos pode ser ainda menor do que a observada por GALVÃO e VAHL (1996). Os teores de Al nos solos estudados não são altos, o que corrobora a hipótese de que a acidez nos Organossolos é devida principalmente ao H⁺ proveniente dos compostos orgânicos e da hidrólise de outros compostos, como os de enxofre.

O teor de matéria orgânica correlacionou positiva e significativamente (p<0,05) com o teor de hidrogênio extraível e com acidez potencial (Tabela 6 e 7), ou seja, quanto maior o teor de matéria orgânica nos Organossolos maior tenderá a ser sua acidez.

Pela análise de correlação entre os parâmetros pH SMP e acidez potencial observou-se correlação altamente significativa (Figura 1). Assim, a acidez potencial dos Organossolos (medida através dos teores de H + Al extraíveis do solo em pH 7,0) pode

ser determinada pelo pH SMP, que é mais simples e operacional do que o método da EMBRAPA (1997), conforme já preconizado por RAIJ e QUAGGIO (1983). A relação entre estes parâmetros foi explicada por uma equação logarítmica, cuja correlação curvilínea simples obtida foi negativa e a curva de regressão estimada adequou-se ao modelo logarítmico.

Ajustes exponenciais foram efetuados por QUAGGIO et al. (1985) para solos de São Paulo, SOUSA et al. (1989) para solos do Cerrado e PAVAN et al. (1996) no Paraná. A diferença entre as equações apresentadas por esses autores e a obtida neste trabalho deve-se, principalmente, aos elevados teores de matéria orgânica nos Organossolos.

Em solos da Região Sul do Brasil, ESCOSTEGUY e BISSANI (1999) concluíram que as diferenças observadas entre as equações determinadas nos diversos locais decorriam de variações nos solos quanto à granulometria, ao tipo de mineral, ao teor e tipo de matéria orgânica e ao pH, entre outros atributos. SILVA et al. (2002), aplicando o pH SMP para estimar a acidez potencial em solos do norte de Minas Gerais, verificaram que o emprego de equações propostas para outras regiões e Estados brasileira superestimava as quantidades de H+Al, e atribuíram aos solos estudados menor acidez potencial que outros solos.

Tabela 6. Coeficientes de correlação e de determinação entre valores de pH pelos diferentes métodos, teor de matéria orgânica, teores de carbono, Al³⁺ trocável e acidez potencial

Equação	r	R ²	Significância (%)
$pH_{\text{água}} = -0,0024x + 5,6039_{MO_Mufla}$	-0,6397	0,4088	0,01
$pH_{\text{água}} = -0,0044x + 5,5415_{CO_CHN}$	-0,6726	0,4524	0,01
$pH_{\text{água}} = -0,3x + 5,1421_{Al}$	-0,7618	0,5804	0,01
$pH_{KCl} = -153,9x + 1081,1_{MO_Mufla}$	-0,4066	0,1654	0,05
$pH_{KCl} = -97,147x + 629,4_{CO_CHN}$	-0,4436	0,1968	0,01
$pH_{KCl} = -2,5445x + 12,032_{Al}$	-0,7578	0,5743	0,01
$pH_{CaCl_2} = -151,33x + 1105_{MO_Mufla}$	-0,5320	0,2831	0,01
$pH_{CaCl_2} = -144,64x + 734,78_{CO_CHN}$	-0,8609	0,7412	0,01
$pH_{CaCl_2} = -1,5818x + 7,2761_{Al}$	-0,7294	0,5321	0,01
$pH_{SMP} = -211,64x + 1375,9_{MO_Mufla}$	-0,6638	0,4407	0,01
$pH_{SMP} = -134,72x + 820,52_{CO_CHN}$	-0,7221	0,536	0,01
$pH_{SMP} = -1,4861x + 8,1506_{Al}$	-0,6109	0,3733	0,01
$pH_{Al} = 83,232x + 316,24_{MO_Mufla}$	0,6314	0,3987	0,01
$pH_{Al} = 49,866x + 154,67_{CO_CHN}$	0,6492	0,4215	0,01
$pH_{Al + Al} = 8,1138x + 168,63_{MO_Mufla}$	0,5888	0,3467	0,01
$pH_{H + Al} = 5,0714x + 55,664_{CO_CHN}$	0,6375	0,4065	0,01
$pH_{H + Al} = 0,0752x - 1,037_{Al}$	0,7186	0,5165	0,01

C_CHN (g kg⁻¹)= Carbono pelo analisador elementar PerKin Elmer 2400 CHNS; MO_mufla (g kg⁻¹)= Combustão quantitativa por 6 horas a 600°C.

Tabela 7. Coeficientes de correlação e de determinação entre as propriedades do complexo sortivo e o teor de matéria orgânica

Equação	r	R ²	Significância (%)
Valor V%=5,1146x - 5,4294 _{pHágua}	0,3336	0,1113	5
Valor V%=-0,0937x + 51,088 _{valor T}	-0,0632	0,004	Não significativo
Valor V%=-0,5296x + 47,961 _{valor H}	-0,3939	0,1552	5
Valor S=0,0138x + 4,3161 _{pHágua}	0,1034	0,0107	Não significativo
Valor S=0,7122x + 43,586 _{valor T}	0,2345	0,055	Não significativo
Valor S=-0,3112x + 41,408 _{valor H}	-0,1126	0,0127	Não significativo
C_CHN=5,4133x - 3,3353 _{valor T}	0,7207	0,5195	0,01
C_CHN=5,0686x + 66,736 _{valor H}	0,6004	0,3605	0,01
MO_mufla=8,9895x + 58,615 _{valor T}	0,6909	0,4774	0,01
MO_mufla=7,9882x + 190,82 _{valor H}	0,5462	0,2984	0,01

C_CHN (g kg⁻¹)= Carbono pelo analisador elementar PerKin Elmer 2400 CHNS; MO_mufla (g kg⁻¹)= Combustão quantitativa por 6 horas a 600°C

O tamponamento da solução extratora é importante na determinação do H⁺ especialmente para Organossolos. Segundo JACKSON (1963), quanto mais forte o receptor de prótons, ou quanto mais fraco o ácido, maior a quantidade de H⁺ extraído do solo. Porém, o tamponamento da solução não é suficiente por si só. A tendência à variação do pH deve ser suficientemente grande para manter o pH próximo ao ponto em que se deseja o equilíbrio, o que é um aspecto limitante do uso de acetato de cálcio, que tem

tamponamento fraco. Em Organossolos, devido à elevada acidez o equilíbrio é estabelecido a um pH bem abaixo do pH da solução original (RAIJ et al., 2001).

Para avaliar a relação entre a acidez do solo e o ambiente de formação dos solos, os perfis foram divididos em dois grupos. O primeiro, com Organossolos em ambientes de várzeas e planícies litorâneas; no segundo, os Organossolos e o Cambissolo formados em ambientes de planalto e

regiões altimontanas. O hidrogênio e o teor de matéria orgânica apresentaram distribuição variável em função do ambiente. Foi, porém, possível perceber aumento nos teores de H^+ dos solos das várzeas e das planícies litorâneas (Litoral), comparados aos de planalto ou ambiente de altitude (Figura 2), proporcional à variação no teor de matéria orgânica nos dois ambientes (Tabela 3). Este resultado enfatiza a importância de diferenciar o ambiente de formação dos Organossolos ao avaliar a acidez e ao recomendar práticas agrícolas como a calagem.

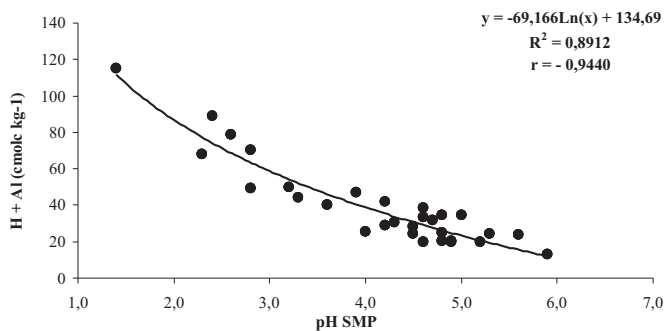


Figura 1. Relação entre a acidez potencial e o pH SMP de 30 horizontes de Organossolos e Cambissolo.

O Valor S variou de 0,66 (muito baixo) a 27,77 (alto) sendo a média de $9,91 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Tabela 4). Do total de 36 amostras de horizontes com mais de 5% de carbono orgânico, 31% estavam com valor S menor ou igual a $3,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, constatando-se que muitos Organossolos são de baixa fertilidade natural e, se cultivados, necessitam de adubações. A maioria dos perfis apresentou altos valores de soma de bases (Tabela 4), entretanto, pode haver limitações quanto à fertilidade em alguns solos, onde os elevados níveis de Na^+ e Mg^{2+} indicam salinidade.

Na comparação do teor de matéria orgânica determinado pela mufla e a soma de bases, em função do ambiente de formação dos perfis (Figura 3), notaram-se diferenças entre os solos nos ambientes de várzeas e de planícies litorâneas e os formados em ambiente de planalto. Nos perfis identificados como litoral houve maior variação da soma de bases e do teor mais elevado de matéria orgânica, quando comparados aos perfis em ambiente de planalto. Ainda, nos primeiros perfis, ocorreram perfis com maiores valores de saturação por bases (como exemplos: o RJ-3 Hdp, Hdo1, Hdo2, Hdo3 sob campo de várzea em pousio de culturas anuais e o RJ-4 Hdp1 e Hdp2 em pasto de gramíneas), o que foi relacionado ao aporte pelos sedimentos de origem marinha e de posições mais altas da paisagem, assim como da adubação (no RJ-4). Nos solos em ambiente de planalto, em geral, a soma de bases foi baixa, a

exceção do perfil DF-1, com valor S no Hdp e no Hd2 de 21,0 e $18,9 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, respectivamente.

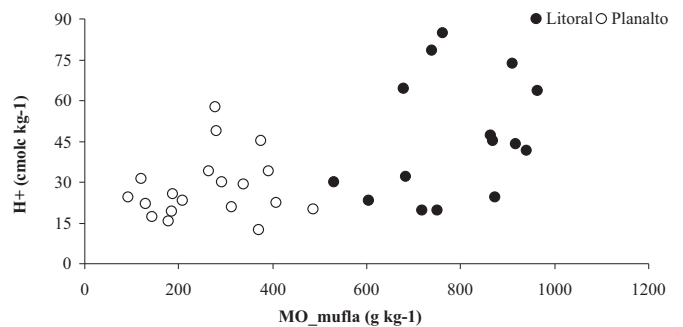


Figura 2. Variação do comportamento do H^+ em Organossolos e Cambissolo em ambientes de planícies litorâneas e região costeira (Litoral) e de planalto ou de altitude (Planalto).

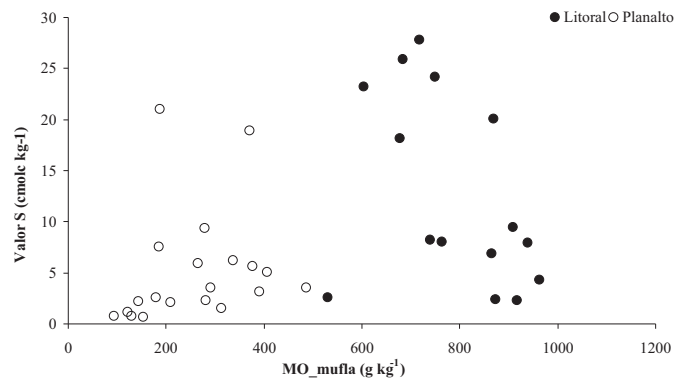


Figura 3. Relação entre soma de bases e o teor de matéria orgânica determinado pela mufla nos perfis de Organossolos e Cambissolo em ambientes de planícies litorâneas e região costeira (Litoral) e de planalto ou de altitude (Planalto).

A elevada CTC nos Organossolos deve-se, principalmente, à presença dos colóides orgânicos, que possuem grande superfície específica (BRADY, 1989). Foram observados valores de T variando de 15,2 a $97,1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Resultados semelhantes foram encontrados por LANI (1998) em Organossolos Tiomórficos e Gleissolos Tiomórficos, e por CONCEIÇÃO (1989) trabalhando com solos não tiomórficos. SOUZA JÚNIOR et al. (2001), trabalhando com solos tiomórficos das várzeas do Rio Coruripe, verificaram valores de H^+ de 3,3 a $39,9 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e valor T de 22,9 a $110,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. A saturação por bases (Valor V) variou de 2% a 84%, com 70% dos valores iguais ou inferiores a 20%, e 94% dos valores iguais ou inferiores a 50%. Esses resultados expressam o predomínio do H^+ no complexo sortivo, corroborando a afirmação de que a alta CTC dos Organossolos não se traduz diretamente em alta fertilidade natural.

4. CONCLUSÕES

1. Em geral, os resultados obtidos pelos métodos analíticos testados foram influenciados pelo teor de matéria orgânica e pelo ambiente de formação dos Organossolos.

2. Quanto aos métodos de determinação do pH, tanto o pH em água, em KCl como o pH SMP poderiam ser usados para expressar a acidez. Foi observada correlação altamente significativa entre o pH SMP e a acidez potencial, indicando que a acidez potencial dos Organossolos pode ser inferida facilmente pelo pH SMP.

3. O teor de carbono total (C_{CHN}) e o teor de matéria orgânica determinado pela mufla (MO_{mufla}) apresentaram correlação significativa, porém negativa, com o pH em água e positiva com o Valor T.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo financiamento do projeto e ao apoio do Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo (CPGA-CS).

REFERÊNCIAS

- ANDRIESE, J. Uso de solos orgânicos em condições tropicais e subtropicais aliado às possibilidades brasileiras. In: ANDRIESE, J. (Ed.). SIMPÓSIO NACIONAL DE SOLOS ORGÂNICOS, 1984. Curitiba, *Anais...* Curitiba: MA/Provárzeas Nacional, Embrater, SEAG - Paraná e Acarpa / Emater - Paraná, v.1, p.11-34.
- BRADY, N.C. *Natureza e Propriedade dos Solos*. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 554p.
- CAMARGO, O.A.; MONIZ A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. *Métodos de análise química, mineralógica e física do Instituto Agrônomo de Campinas*. Campinas: Instituto Agrônomo, 1986. 94p. (Boletim Técnico, 106)
- CANTARELLA, A.H.; DECHEN, A.R.; VAN RAIJ, B. Influência da origem do cloreto de potássio utilizado em extrações de amostras de solos nos resultados de alumínio trocável. *Bragantia*, Campinas, v.10, p.189-192, 1981.
- CATANI, R.A.; GALLO, J.R. Avaliação da exigência de calcário dos solos do Estado de São Paulo mediante correlação entre pH e a porcentagem de saturação de bases. *Revista de Agricultura*, Piracicaba, v.30, p.49-60, 1955.
- CONCEIÇÃO, M. *Natureza do húmus e caracterização de solos com elevado teor de matéria orgânica da região de Itaguaí - Santa Cruz, RJ*. 1989. 169p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí.
- COSCIONE, A.R.; ANDRADE, J.C.; RAIJ, B. Van; ABREU, M.F.; CANTARELLA, H. Determinação de alumínio, cálcio, magnésio, sódio e potássio trocáveis em extrato de cloreto de amônio. In: RAIJ, B. Van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.). *Análises químicas para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. v.1, p.201-212
- DAVEY, B.J.; CONYERS, M.K. Determining the pH of acid soils. *Soil Science*, Baltimore, v.146, n.3, p.141-150, 1988.
- DOLMAN, J.D.; BUOL, S.W. *A study of organic soils (Histosols) in the tidewater region of North Carolina*. North Carolina: North Carolina Agricultural Experimental Station, 1967. 47p. (Technical Bulletin, n.181)
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Serviço nacional de levantamento e conservação do solo. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2.ed. rev. atual. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- ERNANI, P.R.; ALMEIDA, J.A. Comparação de métodos analíticos para avaliar a necessidade de calcário dos solos do Estado de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.10, n.2, p.143-150, 1986.
- ESCOSTEGUY, P.A.V.; BISSANI, C.A. Estimativa de H+Al pelo pH SMP em solos do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.23, p.175-179, 1999.
- GALVÃO F.AD.; VAHL L.C. Calibração do método SMP para solos orgânicos, *Revista Brasileira de Agrociência*, Pelotas, v.2, n.2, p.121-131, 1996.
- JACKSON, M.L. Aluminum bonding in soils: A unifying principle in soil science. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v.27, n.1, p.1-10, 1963.
- KAMINSKI, J. *Fatores da acidez e necessidade de calcário em solos do Rio Grande do Sul*. 1974. 96f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) UFRGS - Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, RS.
- LANI, J.L. *Deltas dos rios Doce e Itapemirim: solos, com ênfase nos Tiomórficos, água e impacto ambiental do uso*. 1998. 169p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- LEPSCH, I.F.; QUAGGIO, J.A.; SAKAI, E.; CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. *Caracterização, classificação e manejo agrícola de solos orgânicos do vale do Rio Ribeira de Iguape, SP*. Campinas: Instituto Agrônomo, 1990. 58p. (Boletim Técnico, 131)
- LUCAS, R.E. *Organic Soils (Histosols): Formation, distribution, physical and chemical properties and management for crop production*. Michigan: Michigan State University, 1982. 80p. (Farm Science Research Report, n.435)

- PAVAN, M.A.; OLIVEIRA, E.L.; MIYAZAWA, M. Determinação indireta da acidez extraível do solo (H+Al) por potenciometria com solução-tampão SMP. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v.39, p.307-312, 1996.
- PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; VALLADARES, G.S. Organossolos: Ocorrência, gênese, classificação, alterações pelo uso agrícola e manejo. In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, Á.P.; CARDOSO, E.J. (Org.). **Tópicos em Ciência do Solo**. 4.ed. Viçosa, 2005. v.4, p.233-276.
- QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van; MALAVOLTA, E. Alternative use of the SMP buffer solution to determine lime requirement of soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.16, p.245-260, 1985.
- RAIJ, B. van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A., **Análise química para a avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; CAMARGO, A.P.; SOARES, E. Perdas de cálcio e magnésio durante cinco anos em ensaio de calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.6, p.33-37, 1982.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983, 16p. (Boletim técnico, 63)
- SCHOFIELD, R.K.; TAYLOR, A.W. The measurement of soil pH. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.25, n.2, p.164-167, 1955.
- SILVA, E.B.; DIAS, M.S.C.; GONZAGA, E.I.C.; SANTOS, N.M. Estimativa da acidez potencial pelo pH SMP em solos da região norte do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.561-565, 2002.
- SOUSA, D. M.G.; MIRANDA, L. N.; LOBATO, E.; CASTRO, L. H. R. Métodos para estimar as necessidades de calagem em solos do cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, p.193-198. 1989.
- SOUZA JÚNIOR, V.S.; RIBEIRO, M.R.; OLIVEIRA, L.B. Propriedades químicas e manejo de solos tiomórficos da várzea do Rio Coruripe, Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.811-822. 2001.
- TIE, Y.L.; KUEH, H.S. **A review of lowland organic soils of Sarawak**. Sarawak, Malaysia: Department of Agriculture, Research Branch, 1979. 49p. (Technical Paper, 4)