

MARCELO ZÓZIMO DA SILVA

A ACIDEZ POTENCIAL DO SOLO NÃO É DETERMINADA A pH 7,0

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2005

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

S586a
2005

Silva, Marcelo Zózimo da, 1954-
A acidez potencial do solo não é determinada a pH 7,0
/ Marcelo Zózimo da Silva. – Viçosa : UFV, 2005.
xii, 34f. : il. ; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Reinaldo Bertola Cantarutti.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de
Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 26-28.

1. Solos – Acidez. 2. Solos – Análise. 3. Calagem dos
solos. 4. Íon-hidrogênio – Concentração. I. Universidade
Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 631.42

MARCELO ZÓZIMO DA SILVA

A ACIDEZ POTENCIAL DO SOLO NÃO É DETERMINADA A pH 7,0

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 20 de dezembro de 2005.

Prof. Victor Hugo Alvarez V.
(Conselheiro)

Prof. Júlio César Lima Neves
(Conselheiro)

Prof. Luiz Eduardo Dias

Prof. Cláudio Pereira Jordão

Prof. Reinaldo Bertola Cantarutti
(Orientador)

A Deus Pai Criador, pelo dom da vida.

*A Nosso Senhor Jesus Cristo, pela coragem,
principalmente nos momentos mais difíceis.*

Ao Espírito Santo, pela luz na difícil caminhada.

A Eles, devo tudo que sou e que consegui.

DEDICO

*À minha mãe Aparecida, ao meu pai Geraldo (in
memoriam) e aos meus irmãos, pelo sacrifício realizado
para a concretização dos meus estudos.*

OFEREÇO

*À minha esposa Maria Elizabeth, aos meus filhos Ludimila,
Daniele e Marcus Vinícius, pelo amor, estímulo, incentivo e
apoio.*

*Só sabemos com precisão
enquanto sabemos pouco. As
dúvidas aumentam com o
conhecimento.*

GOETHE

AGRADECIMENTOS

Muitos que passam em nossas vidas deixam algo e levam um pouco de nós, de forma que somos, no presente, a dinâmica dessas passagens. Um trabalho de dissertação assim também o é; a soma de todas as ajudas sem as quais tal empreitada tornar-se-ia muito mais difícil. Nesse sentido, são muitos os agradecimentos a fazer:

A DEUS, pelo êxito do trabalho e por me fortalecer diante dos momentos difíceis e proteger-me durante as constantes viagens.

À minha família, pelo incentivo e apoio emocional durante meus estudos.

Aos amigos Amarílio de Paula, Ronaldo Martins, Márcia de Carvalho e Jorge Cotan, pela cooperação durante a nossa jornada e as constantes viagens para Viçosa.

À Escola Agrotécnica Federal de Barbacena “Diaulas Abreu”, por permitir a oportunidade de concluir o curso de mestrado na UFV, apesar de não deixar de desenvolver minhas atividades profissionais.

À Universidade Federal de Viçosa e, em especial, ao Departamento de Solos, nas pessoas dos professores Liovando Marciano da Costa, Hugo Ruiz e Reinaldo Bertola Cantarutti, pela acolhida ao iniciar meus estudos, ainda, como aluno especial.

Ao professor orientador Reinaldo Bertola Cantarutti, incansável, compreensivo e amigo no desenvolvimento deste trabalho e em todos os momentos.

Aos professores Júlio César Lima Neves e Victor Hugo Alvarez V., membros do Comitê de Orientação e amigos, cujas sugestões muito contribuíram para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Aos professores Júlio César Lima Neves e Liovando Marciano da Costa, pelas palavras amigas, incentivadoras, pacientes e pela disposição em me ouvir nos momentos de desânimo e de dúvidas.

À professora Aristéa Alves Azevedo, pela grande ajuda num momento muito complicado.

Aos Professores, verdadeiros mestres que passaram pelo meu caminho e despertaram em mim o imenso gosto pela arte de aprender e de ensinar.

Aos amigos João Milagres e sua esposa, Regina Milagres, pelo acolhimento e por sempre terem sido prestativos durante toda a minha caminhada. Ao Jairo Antônio de Oliveira, incentivador, conselheiro, sempre atencioso e companheiro nos trabalhos e momentos cruciais. Ao Mário Puiatti e sua esposa Janice, amigos de longa data, pelas conversas de estímulo e orientação.

A todos os laboratoristas, em especial a João Eudes, Cláudio, Bené, Fernando, Carlos Fonseca, Jorge e Zélia, pela presteza durante os trabalhos práticos. Aos funcionários, em especial à Luciana, pela atenção dispensada, e aos Srs. Vicente e Ladinho, pelo cafezinho.

Ao estudante de Agronomia Diogo Pereira Neves, pela grande colaboração durante os trabalhos práticos.

O meu muito obrigado e que DEUS lhes recompense!

BIOGRAFIA

MARCELO ZÓZIMO DA SILVA, filho de Geraldo Cândido da Silva e Aparecida da Costa Silva, nasceu em Lagoa Dourada, Estado de Minas Gerais, em 11 de março de 1954.

Em março de 1978, ingressou no curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Lavras (UFLA), concluindo-o em dezembro de 1982.

Entre 1985 e 1990, desempenhou suas atividades profissionais no SENAR/MTb. A partir de dezembro de 1990, foi transferido para a Escola Agrotécnica Federal de Barbacena-MG “Diaulas Abreu”, como técnico agrícola. Em novembro de 1994, ingressou no quadro de docentes desta Escola, por meio de concurso público. Além da atividade de docência, foi responsável pelo Laboratório de Análise de Solo durante oito anos.

Em agosto de 2002, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição Mineral de Plantas, da Universidade Federal de Viçosa (UFV), concluindo-o em dezembro de 2005.

ÍNDICE

	Página
RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	04
3. MATERIAL E MÉTODOS	08
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
5. CONCLUSÕES	25
BIBLIOGRAFIA	26
APÊNDICE	29

RESUMO

SILVA, Marcelo Zózimo da, M.S. Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2005. **A acidez potencial do solo não é determinada a pH 7,0.** Orientador: Reinaldo Bertola Cantarutti. Conselheiros: Júlio César Lima Neves e Victor Hugo Alvarez V.

A acidez potencial é caracterizada pela acidez trocável e, sobretudo, pela acidez não-trocável, que corresponde àquela acidez neutralizada até um determinado valor de pH. O hidrogênio ligado de forma covalente aos colóides do solo é o principal componente desta acidez. A acidez potencial caracteriza o poder-tampão de acidez do solo, e sua estimativa acurada é fundamental para se estimar a capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (CTC) e, por conseguinte, a saturação por bases (V). Estimativa confiável, tanto da CTC como de V, cresce de importância à medida que se emprega o critério de elevação da saturação por bases para o cálculo da necessidade de calagem. A acidez potencial pode ser determinada por meio da incubação do solo com CaCO_3 , pela extração com solução de acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ pH 7,0 e por meio do equilíbrio entre o solo e a solução tamponada SMP. Considerando que nessas determinações, além do H hidrolisável, contribui, ainda, para a acidez a hidrólise do Al^{3+} , tais medidas são expressas por H+Al. A determinação por meio do método SMP foi adaptada à rotina de determinação do pH do solo em CaCl_2 . Ele fundamenta-se na correlação linear entre $\ln(\text{H+Al})$ extraído pelo acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ pH 7,0 e o pH da suspensão de equilíbrio solo-solução SMP (pH_{SMP}). Dessa forma, estabelecem-se equações de regressão de abrangência regional para estimar o H+Al a partir do pH_{SMP} ; atualmente, estão em uso no Brasil 15 equações. Essa diversidade de equações contribui

para a incerteza na estimativa do H+Al, visto que os laboratórios estendem seus serviços além dos limites regionais de abrangência das equações. No entanto, há de se considerar que as características dos solos são mais relevantes do que o caráter regional. Além disso, o método em uso foi ajustado para a rotina de determinação do pH em CaCl₂. Assim, para a sua adoção por laboratórios que determinam o pH em H₂O, há necessidade de inclusão de mais uma rotina. Objetivou-se com este trabalho: a) ajustar o método SMP aos procedimentos dos laboratórios que adotam rotina para determinação do pH em H₂O e b) identificar um modelo matemático e ajustar uma equação de regressão de aplicação geral para estimar a acidez potencial por meio do método SMP. Na pesquisa foram utilizados 99 solos, de diferentes regiões do Brasil, com ampla variação nos teores de H+Al, matéria orgânica, valores de P remanescente e teor de argila. Em um primeiro ensaio, trabalhando com seis solos, avaliou-se o ajuste do método SMP à rotina de determinação do pH em H₂O, testando-se alterações na concentração do CaCl₂ na solução SMP. Em outro ensaio, com 13 solos, determinou-se a acidez a partir da incubação do solo com CaCO₃ estabelecendo as curvas de incubação, definidas por equações de regressão linear. A partir destas, estimou-se a acidez potencial para pH 7,0; 6,5; 6,0; 5,9; 5,8; 5,7; e 5,5. Para os 99 solos determinou-se o H+Al em acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0 e o pH_{SMP} de acordo com o procedimento ajustado no primeiro ensaio. Constatou-se que o procedimento SMP utilizado para a rotina de pH CaCl₂ ajustou-se sem alterações à rotina de pH H₂O. O H+Al determinado em acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0 diferiu estatisticamente da acidez estimada para o pH 7,0 pelas curvas de incubação. As determinações em acetato foram equivalentes à acidez estimada para o pH 5,7 pelas curvas de incubação. Adotou-se a acidez para pH 6,0 estimado pelas curvas de incubação como referência para correção das determinações em acetato de Ca pH 7,0 e para estabelecer o ajuste da equação de regressão com o pH_{SMP}. Ajustaram-se as regressões para estimar um fator F de correção da determinação em acetato de cálcio, a partir dos teores de matéria orgânica e, ou, P remanescente. Foram ajustadas as regressões: $\ln(H+Al) = 8,93 - 1,255pH_{SMP}$, $R^2 = 0,842$ e $\ln(H+Al) = 6,18 + 0,142 MO - 0,859pH_{SMP}$ $R^2 = 0,936$, nas quais todos os coeficientes foram significativos ($p < 0,05$). A equação que inclui a matéria orgânica mostrou-se, potencialmente adequada para uso generalizado.

ABSTRACT

SILVA, Marcelo Zózimo da, M.S. Universidade Federal de Viçosa, December 2005. **The potential soil acidity is not determined at pH 7.0.** Advisor: Reinaldo Bertola Cantarutti. Committee members: Júlio César Lima Neves and Victor Hugo Alvarez V.

The potential acidity is determined by the exchangeable acidity and above all the non-exchangeable acidity, which corresponds to the neutralized acidity, up to a particular pH value. Hydrogen, covalently linked to the soil colloids, is the principal component of this acidity. The potential acidity determines the acid buffer capacity of the soil and accurate estimates are fundamental to estimate the cation exchange capacity (CEC) and, consequently, base saturation (V) at pH 7.0. As the base saturation for the calculation of the lime requirement is increased, reliable estimates of the CEC as well as of V become increasingly important. The potential acidity can be determined by means of soil incubation with CaCO_3 , by the extraction with 0.5 mol L^{-1} pH 7.0 calcium acetate solution or through the equilibrium between the soil and buffered SMP solution. In these determinations not only the hydrolyzable H contributes to the acidity but also Al^{3+} hydrolysis, so measures are expressed by H+Al. The determination by the SMP method was adapted to the routine soil pH determination in CaCl_2 . The procedure is based on the linear correlation between $\ln(\text{H}+\text{Al})$ extracted by 0.5 mol L^{-1} pH 7.0 calcium acetate and the pH of the suspension of equilibrium soil-solution SMP (pH_{SMP}).

Regression equations of regional scope were therefore established to estimate pH_{SMP} -based H+Al. Currently, 15 equations are being used in Brazil. This diversity of equations contributes to the uncertainty in H+Al estimation, since laboratories work with the equations beyond their regional scope. However, one should bear in mind that soil characteristics are more relevant than the regional character. Besides, the method in use was adjusted to a routine pH determination in CaCl_2 . For its adoption by laboratories that determine the pH in H_2O , one more routine must be included. Our study aimed to: a) adjust the SMP method to laboratory procedures that routinely determines the pH in H_2O and b) identify a mathematical model and fit a regression equation of general application to estimate the potential acidity through the SPM method. In the present study 99 soil samples from different regions of Brazil were used, with wide variation in the H+Al and organic matter contents and values of remaining P and clay content. In a first trial with six soil samples, the adjustment of the SMP method to the routine pH determination in H_2O , was evaluated by testing alterations in the CaCl_2 concentration in the SMP solution. In a second trial, with 13 soil samples, the acidity was determined by soil incubation with CaCO_3 to establish incubation curves, defined by linear regression equations. With the underlying equations, the potential acidity was estimated for pH 7.0; 6.5; 6.0; 5.9; 5.8; 5.7; and 5.5. For the 99 soil samples the H+Al was determined in 0.5 mol L^{-1} pH 7.0 calcium acetate and the pH_{SMP} according to the procedure adjusted in the first trial. The SMP procedure used for the CaCl_2 pH routine was adjusted without alterations to the H_2O pH routine. The H+Al determined in 0.5 mol L^{-1} pH 7.0 calcium acetate differed statistically from the acidity estimated for pH 7.0 through the incubation curves. The determinations in acetate were equivalent to the acidity estimated for pH 5.7 through the incubation curves. The acidity at pH 6.0 estimated by the incubation curves was taken as reference for the correction of the determinations in pH 7.0 Ca acetate and for fitting the regression equations with pH_{SMP} . The regressions to estimate the correction factor F of the determination in calcium acetate were adjusted based on the organic matter and/or P remainder contents. The following regressions were adjusted: $\ln(\text{H+Al}) = 8.93 - 1.255\text{pH}_{\text{SMP}}$, $R^2 = 0.842$ and $\ln(\text{H+Al}) = 6.18 + 0.142\text{MO} - 0.859\text{pH}_{\text{SMP}}$, $R^2 = 0.936$, in which all coefficients were significant ($p < 0.05$). The equation that includes organic matter proved potentially adequate for a generalized use.

1. INTRODUÇÃO

A acidez potencial inclui a acidez trocável (Al^{3+}) e a acidez não-trocável, que corresponde ao hidrogênio (H) dissociável de ligações covalentes dos compostos orgânicos e dos minerais de argilas silicatadas, sendo, portanto, representada por H+Al. O hidrogênio ionizável é o seu principal componente; assim, sua quantificação depende do potencial de ionização, que é definido por um determinado potencial de hidrogênio, usualmente pH 7,0. A acidez potencial caracteriza o poder-tampão de acidez do solo e, conceitualmente, está relacionada com a determinação da necessidade de calagem.

A necessidade de calagem pode ser determinada por meio da incubação do solo com doses de CaCO_3 , até que ocorra a estabilização do pH. A acidez equivalente à dose de CaCO_3 , em que se obtém o pH 7,0, é uma estimativa do teor de H+Al. Esse é considerado o procedimento-padrão para sua determinação. Alternativamente, pode ser determinado por meio do equilíbrio entre o solo e uma solução tamponada, sendo a solução acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ pH 7,0 a de uso mais difundido no Brasil desde Vetori (1969). O H+Al também pode ser estimado de forma indireta, por meio da variação no pH da solução denominada SMP¹ tamponada em pH 7,5 – método SMP (Raij et al., 1979; Quaggio et al., 1985). Esse método fundamenta-se na relação

¹ A sigla corresponde às iniciais dos autores do método; Shoemaker, MacLean e Pratt que emprega esta solução tamponada para estimar a necessidade de calagem. A solução é constituída da mistura de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, K_2CrO_4 , $\text{Ca}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$, trietanolamina e p-nitrofenol (Shoemaker et al., 1961).

linear entre o logaritmo natural do valor de H+Al e o pH de equilíbrio entre o solo e a solução SMP. Para isso, é necessário dispor de regressões que relacionem o teor de H+Al com o pH da solução SMP; segundo Quaggio et al. (1985), essas regressões devem ter uma abrangência regional. Isso se constitui em séria limitação à medida que a abrangência dos laboratórios se expande e são analisados solos de diferentes procedências. Além disto, considerando a relação entre a acidez potencial e a necessidade de calagem, tais regressões deveriam ser estabelecidas em relação ao teor de H+Al estimado por meio de incubações com CaCO₃; no entanto, usualmente se emprega o H+Al determinado em acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0. Considerando que o procedimento em uso para o método SMP fundamenta-se no ajuste proposto por Quaggio et al. (1985), ele apresenta vantagens operacionais para laboratórios que determinam o pH em solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹.

A estimativa do teor de H+Al com exatidão é fundamental, considerando que é utilizada para estimar a capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T), que por sua vez é usada no cálculo da saturação por bases (V). A exatidão na estimativa do valor de V torna-se mais relevante à medida que cresce o uso do critério de elevação da saturação por bases para cálculo da necessidade de calagem. Sendo o teor de H+Al subestimado, a T (Soma de Bases + H+Al) também o será, enquanto a saturação por bases (Soma de bases x 100 / T) será superestimada e, dessa forma, subestimada à necessidade de calagem. Com freqüência, as saturações por bases projetadas não têm sido atingidas, o que pode estar relacionado com a subestimação da necessidade de calagem. Ambos os métodos em uso atualmente podem gerar medidas inexatas do H+Al. No caso do método SMP, o uso indiscriminado das regressões que estimam o H+Al contribui para a incerteza na estimativa da acidez potencial.

Diante do exposto, apesar de serem de amplo uso, ainda são demandados estudos sobre os métodos de determinação da acidez potencial. Considerando o crescente uso do método SMP, postula-se a hipótese de se ajustar uma equação de regressão de uso geral para estimar o H + Al a partir do pH da solução SMP. Para isso o uso de outras características relacionadas com o poder tampão de acidez do solo pode ser uma alternativa. Assim, o presente trabalho teve por objetivos avaliar a adequação do método SMP ao

procedimento de determinação do pH em H₂O e ajustar uma equação de regressão de aplicação geral para estimar o H+Al a partir do pH da solução SMP.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A capacidade de troca catiônica (CTC) do solo corresponde à quantidade de cargas negativas das superfícies do complexo de troca, ou seja, à quantidade de cátions que pode ser retida pelo seu complexo sortivo (Raij & Küpper, 1966). Ela pode ser quantificada diretamente mediante utilização de um cátion-índice para saturar o solo e o seu posterior deslocamento e dosagem. Indiretamente, a CTC é determinada pela soma das bases trocáveis (SB) com a acidez potencial (H+Al).

Quantifica-se o H+Al por meio do equilíbrio entre o solo e a solução de uma substância receptora de prótons (Jackson, 1960), isto é, um sal de ácido fraco. A quantidade de H deslocado do solo dependerá do equilíbrio entre o solo e a solução extratora, que é determinado pelo poder-tampão da solução e o pH de equilíbrio (Jackson, 1960; Raij & Küpper, 1966), cujo valor com que se trabalha está entre 7,0 e 8,3. São utilizadas soluções tamponadas de $\text{Ba}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$ 0,5 mol L⁻¹ pH 8,1, $\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$ 1 mol L⁻¹ pH 8,3, $\text{Ca}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$ 0,24 mol L⁻¹ tamponado com p-nitrofenol a pH 7,0 (Jackson, 1960) ou $\text{Ca}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$ 0,5 mol L⁻¹ tamponado com ácido acético em pH 7,0 (Vetori, 1960). O tamponamento da solução deve ser forte o suficiente para que o pH seja mantido próximo do equilíbrio desejado (Raij & Küpper, 1966). Nesse aspecto, o acetato de cálcio é pouco tamponado no pH 7,0 e, assim, o equilíbrio é estabelecido em um menor pH (Raij & Küpper, 1966). A despeito dessa característica, após Vetori (1960), o método do $\text{Ca}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$ 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0

tem sido amplamente utilizado na determinação da acidez potencial (H+Al), sendo referenciado como método-padrão (Raij et al., 1987).

O método do acetato de cálcio é considerado trabalhoso e com problemas operacionais decorrentes da baixa qualidade do acetato de cálcio disponível no mercado, da necessidade de preparo diário da solução e da dificuldade de percepção da viragem na titulação para solos ricos em matéria orgânica (Pavan et al., 1996; Raij et al., 1987; Quaggio et al., 1985). A partir dessas restrições, propôs-se o uso da solução SMP como alternativa para estimar a acidez potencial (Quaggio et al., 1985).

O método SMP foi originalmente proposto para estimar a necessidade de calagem. O método proposto por Shoemaker et al. (1961) utiliza a solução tamponada a pH 7,5, constituída por p-nitrofenol, trietanolamina, cromato de potássio, acetato de cálcio e cloreto de cálcio. No método proposto para estimar a necessidade de calagem para atingir os valores específicos de pH, como 6,0, 6,5 e 6,8, requer-se uma calibração prévia da variação do pH do tampão SMP com as necessidades de calagem para os respectivos valores de pH, obtidas por meio da incubação dos solos com CaCO_3 . No Brasil, este método é adotado nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Embora não seja adotado oficialmente em São Paulo, foram feitos ajustes operacionais para as condições de solos desse Estado (Raij et al., 1979). O tampão SMP é menos sensível em solos menos tamponados, requerendo para esta situação, segundo Raij et al. (1979), maior relação entre os volumes de solo e da solução SMP.

Quando em equilíbrio com o solo, a queda no pH do tampão SMP reflete o tamponamento do solo, justificando a estreita correlação com o teor de H+Al extraído pelo acetato de cálcio ($\text{Ca}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$) $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ pH 7,0, conforme constatado por Raij et al. (1979) e Quaggio et al. (1985). A partir do trabalho destes últimos autores passou-se a utilizar o método SMP para estimar a acidez potencial no Estado de São Paulo, a exemplo de outros países. Apontaram-se a simplicidade, a rapidez e o baixo custo como vantagens desse método; para maior praticidade, o procedimento foi associado à rotina de determinação do pH em CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ (Raij et al., 2001). A eficiência do método SMP para estimar o H+Al depende, entre outros fatores, de uma equação de regressão que estabeleça um adequado ajuste entre os teores de H+Al e o pH SMP. Para isso, Quaggio et al. (1985) indicam a necessidade do

estabelecimento de equações para regiões específicas, procurando abranger os principais solos de ocorrência. Nesse sentido, estes autores propuseram para o Estado de São Paulo a equação $\ln(H+Al) = 7,76 - 1,053 \text{ pH}_{\text{SMP}}$ com $R^2 = 0,9604$. Esta equação foi ajustada com base no H+Al determinado em $\text{Ca}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$ 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0.

A estimativa da acidez potencial por meio do método SMP expandiu-se no Brasil e houve, conseqüentemente, proliferação das equações de regressão (Quadro 1). Constata-se que foram ajustadas equações lineares e exponenciais específicas para solos de Minas Gerais (Correa et al., 1985; Silva et al., 2002) e Paraná (Pavan et al., 1996; Sambatti et al., 2003), assim como uma equação geral para solos de cerrado (Souza et al., 1989).

Quadro 1 - Equações de regressão utilizadas para se estimar o H+Al por meio do pH da solução SMP, para diferentes Estados e regiões do Brasil

Equações	R ²	Estado/região	Fonte
$\ln(H+Al) = 7,76 - 1,053 \text{ pH}_{\text{SMP}}$	0,96	SP	Quaggio et al. (1985)
$\ln(H+Al) = 8,06 - 1,111 \text{ pH}_{\text{SMP}}$	0,99	MG	Corrêa et al. (1985)
$\ln(H+Al) = 7,719 - 1,068 \text{ pH}_{\text{SMP}}$	0,96	Solos de Cerrado	Sousa et al., (1989)
$\ln(H+Al) = 6,0687 - 0,744 \text{ pH}_{\text{SMP}}$	0,95	PR	Pavan et ali. (1996)
$\ln(H + Al) = 8,086 - 1,062 \text{ pH}_{\text{SMP}}$	0,96	MS	Maeda et al. (1997)
$\ln(H+Al) = 10,05 - 1,020 \text{ pH}_{\text{SMP}}$	0,90	RJ	Pereira et al. (1998)
$H+Al = 786,3 - 201,73 \text{ pH}_{\text{SMP}} + 13,294 \text{ pH}_{\text{SMP}}^2$	0,90	PA /Nordeste	Gama et al. (1998)
$\log(H+Al) = 3,914 - 0,391 \text{ pH}_{\text{SMP}}$	0,90	RS e SC	Escosteguy & Bissani (1999)
$H+Al = 1.625,3 - 451,61 \text{ pH}_{\text{SMP}} + 31,521 \text{ pH}_{\text{SMP}}^2$	0,87	Nordeste semi-árido	Silva et al. (2000)
$H+Al = 38,448 - 8,4855 \text{ pH}_{\text{SMP}} + 0,4837 \text{ pH}_{\text{SMP}}^2$	0,90	PE	Nascimento (2000)
$H + Al = 0,00359 + 1.556,5806 e^{-\text{pH}_{\text{SMP}}}$	0,96	MG/Norte	Silva et al. (2002)
$H + Al = 20,195 - 2,6484 \text{ pH}_{\text{SMP}}$	0,91	PR/Noroeste	Sambatti et al. (2003)
$\log(H + Al) = 3,020 - 0,371 \text{ pH}_{\text{SMP}}$	1/	Brasil/Sul	Kaminski et al. (2002)
$H + Al = 30,646 - 3,848 \text{ pH}_{\text{SMP}}$ (em água)	0,89	AM	Moreira et al. (2004)
$H + Al = 30,155 - 3,834 \text{ pH}_{\text{SMP}}$ (em CaCl ₂)	0,91	AM	Moreira et al. (2004)

1/ O valor de R² não foi apresentado na publicação.

Dois aspectos afetam a eficácia do método SMP para estimar a acidez potencial. Um deles é o enfoque regional das regressões diante do fato de que os laboratórios analisam solos que ultrapassam o limite de abrangência do ajuste das equações de regressão. Mais relevantes que o caráter regional seriam as características físico-químicas dos solos. O outro aspecto é que, em geral, essas equações foram ajustadas tendo-se por referência o H+Al extraído em $\text{Ca}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$ 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0, que, reconhecidamente, subestima a acidez potencial em relação àquela estimada por meio da incubação com CaCO_3 , que é usualmente denominada “acidez potencial real” (Raij & Küpper, 1966; Vetori, 1969; Ernani & Almeida, 1986; Souza et al., 1989; Kaminski et al., 2002). Esse fato é relevante ao se considerar que a incubação foi tida como o método padrão para estimar a necessidade de calagem, que está diretamente relacionada com a acidez potencial do solo. Das equações relacionadas no quadro 1, apenas aquela ajustada por Kaminski et al. (2002) foi estabelecida em relação à acidez potencial real.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado nos laboratórios do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa. Utilizou-se terra fina seca ao ar de amostras da camada de 0 a 20 cm de 118 solos provenientes de várias regiões do País, dentre os quais foram selecionados 99 (Quadro 2). Depois de homogeneizadas, foram obtidas subamostras para a caracterização química (Defelipo & Ribeiro, 1997) e granulométrica (Ruiz, 2005). Os solos apresentaram ampla variação nas características químicas e físicas relacionadas com o poder-tampão de acidez, como acidez potencial, teor de matéria orgânica, valor de fósforo remanescente e teor de argila (Quadro 3).

Ensaio 1: Ajuste do método SMP à rotina de determinação do pH em água

Dentre os 99 solos, foram escolhidos seis (Quadro 4), com ampla variação na capacidade-tampão de acidez, a fim de avaliar o uso da solução SMP combinada com o procedimento de determinação do pH em H₂O para estimar a acidez potencial.

Trabalhou-se com a solução-tampão SMP² descrita por Raij et al. (2001), na qual a concentração de CaCl₂ é de 0,727 mol L⁻¹ (SMP_p), e com a mesma solução, mas com CaCl₂ na concentração de 1,227 mol L⁻¹ (SMP_c). Foram testados três procedimentos:

² 106,2 g de CaCl₂, 6,0 g de cromato de potássio, 4,0 g de Ca(CH₃COO)₂.H₂O e 5,0 mL de trietanolamina devolvidos em 700 mL de água desionizada; e 3,6 g de 4-nitrofenol dissolvidos em 200 mL de água deionizada aquecida a 80°C. Juntam-se os dois volumes em balão volumétrico, completando o volume com água desionizada. Antes de sua utilização, ajusta-se o pH da solução a 7,5 com 0,1 mol L⁻¹ de NaOH.

Quadro 2 - Solos utilizados agrupados pela origem, ordem de acordo com a classificação brasileira e o número de identificação

Origem	Ordem	Número de identificação
Amazônia	Latossolo	8
Bahia	Neossolo	86, 96
	N.c. ^{1/}	52
Goiás	N.c. ^{1/}	41
Mato Grosso do Sul	Latossolos	1, 2, 11, 14, 27, 30
	Argissolos	15, 16, 22, 23, 24, 25, 26, 29
	Luvissolo	13,
	Chernossolo	5
	Gleissolo	9
	N.c. ^{1/}	4, 21
	Minas Gerais	Latossolos
Argissolo		46
Cambissolo		105; 106
N.c. ^{2/}		32, 33, 34, 35, 44, 45, 47, 48, 49, 50, 51, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81
Pernambuco	Argissolo	7
	N.c. ¹	53
Rio Grande do Sul	Latossolos	3, 115
	Argissolos	109, 110, 111, 113, 118
	Cambissolo	114
	Planossolo	116
	Vertissolo	117
Rondônia	Latossolo	6
Santa Catarina	Argissolos	38
	Nitossolos	39
	Cambissolo	40

1/ Solos não-classificados obtidos no banco de solos do Laboratório de Análises de Rotina para Solo do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

2/ Solos não-classificados enviados por laboratórios integrantes do Programa Interlaboratorial de Controle da Qualidade de Análise de Solo do Estado de Minas Gerais – PROFERT.

Quadro 3 - Estatísticas descritivas relativas às características químicas e físicas dos 99 solos utilizados

Característica	Valor		Média	Moda	Mediana
	Mínimo	Máximo			
pH ⁽¹⁾	3,97	7,32	5,39	4,30	5,36
	----- cmol _c dm ⁻³ -----				
Al ³⁺ ⁽²⁾	0,00	6,00	0,64	0,00	0,20
Ca ²⁺ ⁽²⁾	0,00	18,05	2,31	0,00	1,61
Mg ²⁺ ⁽²⁾	0,30	9,62	0,78	0,20	0,52
H+Al ⁽³⁾	0,20	20,90	5,00	2,80	4,20
SB	0,06	27,75	3,30	0,30	2,38
	----- % -----				
V	2	97	38	2	35
M	0	90	26	0	8
	----- mg dm ⁻³ -----				
P ⁽⁴⁾	0,2	168,5	9,0	0,8	2,8
K ⁽⁴⁾	6	487	80	40	57
	----- mg L ⁻¹ -----				
Prem ⁽⁵⁾	3,6	57,3	29,7	9,1	27,5
	----- dag kg ⁻¹ -----				
M.O. ⁽⁶⁾	0,3	7,6	3,2	1,4	3,0
	----- % -----				
Areia grossa	1	70	25	40	23
Areia fina	0	69	25	21	21
Silte	0	64	15	11	12
Argila	5	79	39	55	42

⁽¹⁾ pH em H₂O, relação 1:2.5.

⁽²⁾ Extraído em KCl 1 mol L⁻¹, relação solo extrator 1:10.

⁽³⁾ Extraído em acetato de cálcio pH 7,0, relação solo extrator 1:7,5.

⁽⁴⁾ Extrator Mehlich-1, relação solo extrator 1:10.

⁽⁵⁾ Fósforo remanescente. Concentração de P da solução de equilíbrio após agitar por 1 h a TFSA com CaCl₂ 10 mmol L⁻¹, contendo 60 mg L⁻¹ de P, na relação 1:10.

⁽⁶⁾ Matéria orgânica pelo método de oxidação úmida, Walkley-Black.

Quadro 4 - Características químicas e granulométricas dos seis solos empregados no ensaio de ajuste do método SMP à rotina de determinação do pH em água

SOLO	pH	Al ³⁺	H+Al	MO	Prem	Areia		Silte	Argila
		---- cmol _c dm ⁻³ ----				- dag kg ⁻¹ -	- mg L ⁻¹ -		
115	4,90	4,2	13,3	5,70	9,4	4	2	26	68
33	5,05	1,8	7,4	6,21	26,7	2	1	39	58
116	5,48	0,3	4,2	2,03	38,3	31	18	32	19
118	5,08	0,5	2,8	0,89	51,3	55	33	6	6
38	5,55	0,1	2,2	1,65	43,7	46	29	12	13
7	6,22	0,0	0,9	0,89	44,8	24	42	11	23

1. Utilizando 10 cm³ de TFSA mais 25 mL de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, seguido de agitação por 15 min (220 rpm) e repouso por 30 min. Em seguida, foram adicionados 5 mL da solução SMP_p, seguido por 15 min de agitação (220 rpm) e 60 min de repouso; posteriormente, fez-se a leitura de pH. Este procedimento foi descrito por Raij et al. (2001), sendo considerado o procedimento-padrão e representado por (pH_{CaCl₂} + SMP_p).

2. Empregando 10 cm³ de TFSA mais 25 mL de H₂O, seguido de agitação por 5 min (220 rpm) e repouso por 30 min. Em seguida foram adicionados 5 mL da solução SMP_p, seguido por 15 min de agitação (220 rpm) e 60 min de repouso, quando se fez a leitura do pH. Será representado por (pH_{H₂O} + SMP_p).

3. Igual ao descrito no item anterior, mas utilizando a solução SMP_c. O procedimento será representado por (pH_{H₂O} + SMP_c). Dessa forma, as concentrações de CaCl₂ no volume final (30 mL), nos procedimentos 1, 2 e 3, foram de 0,205, 0,121 e 0,205 mol L⁻¹, respectivamente. Em todos os procedimentos, o pH foi medido no sobrenadante, fazendo-se com que a ponta do eletrodo tocasse ligeiramente na camada sedimentada.

Este ensaio foi realizado com três repetições. Os dados foram analisados estatisticamente, de acordo com o esquema inteiramente casualizado. Após a análise de variância, os procedimentos alternativos foram comparados ao procedimento-padrão, por meio dos contrastes: -1(pH_{CaCl₂} + SMP_p) +1(pH_{H₂O} + SMP_c); -1(pH_{CaCl₂} + SMP_p) +1(pH_{H₂O} + SMP_p); e -1(pH_{CaCl₂} + SMP_p) -1(pH_{H₂O} + SMP_p) +2(pH_{H₂O} + SMP_c), para cada solo.

Ensaio 2: Acidez potencial determinada pela incubação com CaCO₃

Para 13 solos - selecionados entre os 99 - com ampla variação quanto ao poder-tampão de acidez (Quadro 5), determinou-se a acidez potencial por meio do método de incubação com CaCO₃ ((H+Al)_i). Para isso, 20 cm³ de TFSA de cada solo foram acondicionados em frascos com capacidade de 75 mL, aos quais aplicaram-se doses de CaCO₃ equivalentes a 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; e 2,0 vezes a acidez potencial determinada em Ca(C₂H₃O₂)₂ 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0, na caracterização química dos solos (Quadro 3). Após homogeneização, a umidade foi elevada a 80 % do equivalente de umidade de cada solo e mantida por meio de irrigações periódicas durante os 120 dias de incubação. Ao final desse período, adicionaram-se 50 mL de água a cada frasco (relação solo:água 1:2,5), que foram agitados por 15 min e mantidos em repouso por 30 min, determinando-se em seguida o pH na suspensão. Para cada solo, ajustaram-se diferentes modelos, tendo o pH como variável dependente das quantidades de OH⁻ (cmol_c dm⁻³) equivalentes às doses de CaCO₃, definindo-se as curvas de incubação. A escolha das regressões fundamentou-se na significância dos seus coeficientes e na magnitude do coeficiente de determinação (R²).

Quadro 5 - Características químicas relacionadas com o complexo sortivo e acidez dos 13 solos utilizados para estimar a acidez potencial real por meio da incubação com CaCO₃

Solo	pH ⁽¹⁾	Al ³⁺ ⁽²⁾	H+Al ⁽³⁾	SB	t	T	Arg.	M.O. ⁽⁴⁾	Prem ⁽⁵⁾
		cmol _c dm ⁻³					%	dag kg ⁻¹	mg L ⁻¹
15	4,73	1,22	4,2	1,82	3,04	6,02	18	2,15	38,2
34	5,15	2,16	6,8	2,38	4,54	9,18	54	3,55	22,5
40	4,63	5,08	12,7	2,88	7,96	15,58	39	4,94	11,7
50	5,38	0,56	3,7	0,19	0,75	3,89	45	2,03	25,5
58	4,96	0,30	2,6	0,06	0,36	2,66	22	1,14	32,5
60	5,35	0,30	7,8	3,67	3,97	11,47	76	6,84	25,0
63	4,66	0,47	5,0	1,97	2,44	6,97	55	3,39	21,2
71	4,59	1,03	5,1	0,99	2,02	6,09	47	3,01	25,8
91	4,30	1,25	10,6	0,46	1,71	11,08	57	6,18	9,1
104	5,50	2,70	13,9	0,30	3,00	14,20	68	7,10	11,5
105	5,50	2,10	8,5	0,60	2,70	9,10	43	5,80	17,6
109	4,71	1,97	3,4	1,11	3,08	4,51	27	2,03	26,6
114	3,97	6,02	20,9	2,52	8,54	23,42	55	5,96	10,5

⁽¹⁾ pH em H₂O, relação 1:2,5.

⁽²⁾ Extraído em KCl 1 mol L⁻¹, relação solo extrator 1:10.

⁽³⁾ Extraído em acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0, relação solo extrator 1:7,5.

⁽⁴⁾ Matéria orgânica pelo método de oxidação úmida, Walkley-Black.

⁽⁵⁾ Fósforo remanescente. Concentração de P da solução de equilíbrio após agitar por 1 h a TFSA com CaCl₂ 10 mmol L⁻¹, contendo 60 mg L⁻¹ de P, na relação 1:10.

Ensaio 3: Acidez potencial determinada em acetato de cálcio (H+Al)_{ac}

De acordo com Defellipo & Ribeiro (1997), porções de 5 cm³ de TFSA foram acondicionadas em erlenmeyers de 125 mL, aos quais adicionaram-se 75 mL de Ca(C₂H₃O₂)₂ 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0, seguindo-se agitação por 10 min e repouso por aproximadamente 16 h. Em seguida, foram tomadas alíquotas de 25 mL, nas quais a acidez foi dosada por titulação com solução-padrão de NaOH 0,025 mol L⁻¹, utilizando solução alcoólica de fenolftaleína como indicador.

pH da solução SMP em equilíbrio com os solos

Foi utilizada a solução SMP descrita por Raij et al. (2001), combinada com a rotina de determinação do pH em água (Defellipo & Ribeiro, 1997). Para tanto, porções de 10 cm³ de TFSA foram acondicionados em frascos com capacidade de 75 mL, aos quais se adicionaram 25 mL de água, seguindo-se agitação por 5 min (220 rpm) e repouso por 30 min. Após essa seqüência, o pH da suspensão deveria ser determinado, o que não foi feito. Posteriormente, foram adicionados 5 mL da solução SMP, agitando por 15 min e deixando em descanso por 60 min, determinando-se em seguida o pH nos sobrenadantes, de modo que o eletrodo tocasse suavemente a superfície do decantado.

Análise dos dados

A partir das curvas de incubação estimou-se a acidez potencial (H+Al)_i como sendo a acidez equivalente a cmol_c dm⁻³ de OH⁻ correspondente aos valores de pH 7,0; 6,5; 6,0; 5,9; 5,8; 5,7; e 5,5. As estimativas (H+Al)_i e (H+Al)_{ac} para os 13 solos foram comparadas por meio do método desenvolvido por Leite & Oliveira (2002). Este método fundamenta-se no teste simultâneo de β_0 e β_1 , que são os parâmetros da regressão $Y_{j+} = \beta_0 + \beta_1 Y_i + e_i$ ajustada entre os dados dos métodos, Y_j e Y_i , respectivamente. Se β_0 não difere de 0 e β_1 não difere de 1, os dois métodos são estatisticamente iguais; neste caso, R^2 e $r_{Y_j Y_i}$ tenderão para um.

Para os dados dos 13 solos, estabeleceu-se a razão entre a $(H+Al)_i$ para pH 6,0 e a $(H+Al)_{ac}$, que foi denominada de F. Ajustaram-se regressões tendo o valor F como variável dependente do teor de matéria orgânica, do valor de P remanescente e do teor de argila. A melhor regressão foi selecionada com o procedimento REGREAMD1 do software SAEG 9.0 (UFV, 2004), tendo-se por base a significância dos parâmetros e a magnitude do coeficiente de determinação ajustado (R^2). As estimativas do F para os 99 solos foram utilizadas para correção da acidez potencial determinada em acetato de cálcio $(H+Al)_{ac}$.

Com os dados dos 13 solos, também se ajustaram regressões entre o $(H+Al)_i$ para pH 6,0 e o pH_{SMP} , teor de matéria orgânica, valor de P remanescente e teor de argila, de acordo com o modelo matemático $Y = a e^{-bi X_i}$. A melhor regressão foi obtida com o procedimento *Stepwise* do software Statistica 7.1 (StatSoft, 2005). Com essas regressões, a partir do pH da solução SMP, estimou-se a acidez potencial $((H+Al)_{SMP})$ para os 99 solos. A identidade das estimativas $(H+Al)_{ac}$ e $(H+Al)_{SMP}$ foi testada por meio do procedimento desenvolvido por Leite & Oliveira (2002).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ensaio 1: Ajuste do método SMP à rotina de determinação do pH em água

Os valores do pH da solução SMP em equilíbrio com os solos (Quadro 6) evidenciam a amplitude do poder-tampão de acidez dos solos (Quadro 4). O método que emprega a solução SMP para estimar a acidez potencial foi calibrado para a rotina de determinação do pH em CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ (Raij et al., 2001), sendo por isso considerado, neste ensaio, o procedimento-padrão ($\text{pH}_{\text{CaCl}_2} + \text{SMP}_p$). De acordo com este procedimento, a concentração de CaCl_2 na solução de equilíbrio é de $0,205 \text{ mol L}^{-1}$. No procedimento ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} + \text{SMP}_c$) em que a concentração de CaCl_2 da solução SMP foi maior para que, ao final, se atingisse a concentração de $0,205 \text{ mol L}^{-1}$, os valores de pH foram, exceto para o solo 116, estatisticamente menores do que aqueles verificados com o procedimento-padrão (contraste C_1 , Quadro 6).

O pH da solução SMP associada à rotina de determinação do pH em H_2O ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} + \text{SMP}_p$) não diferiu significativamente do pH no procedimento-padrão ($\text{pH}_{\text{CaCl}_2} + \text{SMP}_p$) (contraste C_2 , Quadro 6). Apenas para o solo 38, um dos menos tamponados, o pH no procedimento ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} + \text{SMP}_p$) foi significativamente menor. Ao associar a solução SMP com a determinação do pH em H_2O , a concentração final de CaCl_2 foi de $0,121 \text{ mol L}^{-1}$, menor do que no procedimento-padrão, o que, no entanto, não proporcionou mudanças significativas nos resultados.

Quadro 6 - pH da solução SMP após equilíbrio com o solo (pH_{SMP}) de acordo com três procedimentos e os valores dos contrastes estatísticos entre os procedimentos para cada solo, com as respectivas significâncias

Solo	Procedimento	pH_{SMP}	Contrastes ^{1/}		
			C ₁	C ₂	C ₃
115	$\text{pH CaCl}_2 + \text{SMP}_p$ ^{2/}	4,57	-1	-1	-1
	$\text{pH H}_2\text{O} + \text{SMP}_p$ ^{3/}	4,53	0	1	-1
	$\text{pH H}_2\text{O} + \text{SMP}_c$ ^{4/}	4,35	1	0	2
			(-0,22) **	(-0,04) ns	(-0,4) **
33	$\text{pH CaCl}_2 + \text{SMP}_p$	5,15	-1	-1	-1
	$\text{pH H}_2\text{O} + \text{SMP}_p$	5,11	0	1	-1
	$\text{pH H}_2\text{O} + \text{SMP}_c$	5,02	1	0	2
			(-0,13) **	(-0,04) ns	(-0,22) **
116	$\text{pH CaCl}_2 + \text{SMP}_p$	6,05	-1	-1	-1
	$\text{pH H}_2\text{O} + \text{SMP}_p$	6,01	0	1	-1
	$\text{pH H}_2\text{O} + \text{SMP}_c$	5,99	1	0	2
			(-0,06) ns	(-0,04) ns	(-0,08) ns
118	$\text{pH CaCl}_2 + \text{SMP}_p$	6,39	-1	-1	-1
	$\text{pH H}_2\text{O} + \text{SMP}_p$	6,30	0	1	-1
	$\text{pH H}_2\text{O} + \text{SMP}_c$	6,27	1	0	2
			(-0,12) **	(-0,09) ns	(-0,15) ns
38	$\text{pH CaCl}_2 + \text{SMP}_p$	6,57	-1	-1	-1
	$\text{pH H}_2\text{O} + \text{SMP}_p$	6,43	0	1	-1
	$\text{pH H}_2\text{O} + \text{SMP}_c$	6,28	1	0	2
			(-0,29) **	(-0,14) **	(-0,44) **
7	$\text{pH CaCl}_2 + \text{SMP}_p$	6,96	-1	-1	-1
	$\text{pH H}_2\text{O} + \text{SMP}_p$	6,95	0	1	-1
	$\text{pH H}_2\text{O} + \text{SMP}_c$	6,70	1	0	2
			(-0,26) **	(-0,01) ns	(-0,51) ns

1/ Números entre parênteses correspondem aos valores dos contrastes. ns: não-significativos até 10% de probabilidade e **: significativos com a probabilidade de 1%.

2/ Procedimento associado à determinação do pH em CaCl_2 0,01 mol L⁻¹, segundo Quaggio & Raij (2001).

3/ Solução SMP e relações solo: solução estabelecida por Quaggio & Raij (2001), associadas ao procedimento de determinação do pH em H₂O.

4/ Solução SMP com concentração de CaCl_2 aumentada, associada ao procedimento de determinação do pH em H₂O.

Esses resultados indicam que o método SMP pode ser combinado com a rotina de determinação do pH em água, mantendo-se a relação solo:H₂O:solução SMP de 2:5:1, de acordo com o procedimento proposto por Raij et al. (2001). Para isso, determina-se o pH em água na relação solo: H₂O de 1:2,5 e, em seguida, adicionam-se 5 mL da solução SMP. Dessa forma, as equações de regressão ajustadas para o método SMP associado à determinação do pH em CaCl_2 podem ser utilizadas para estimar o H+Al quando a medida do pH SMP é feita em água.

Ensaio 2: Acidez potencial determinada pela incubação com CaCO_3

Para a amplitude das doses de CaCO_3 aplicadas (0,52 a 41,8 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de OH^-), as variações no pH dos solos ao final da incubação foram descritas por regressões lineares (Quadro 7). Os coeficientes lineares dessas regressões apresentaram correlação significativa ($p < 0,05$) de -0,82, 0,75, -0,61 e 0,84 com os teores de matéria orgânica, valor de P remanescente, teor de argila e pH da solução SMP em equilíbrio com o solo, respectivamente, evidenciando estreita relação com o poder-tampão de acidez dos solos. Embora as maiores doses de CaCO_3 tenham sido equivalentes ao dobro do teor de H+Al, os maiores valores de pH foram próximos a 7; nos solos 60 e 109 não se alcançou este pH (Quadro 7). Isso se deve ao fato de que a ação corretiva depende da dissolução do CaCO_3 e das reações de dissociação dos ânions CO_3^{2-} e HCO_3^- , que são afetadas por vários fatores, entre eles o CO_2 produzido pela atividade microbiana. A complexidade dessas reações se aproxima daquelas que ocorrem com o calcário no campo; assim, a incubação com CaCO_3 tem sido utilizada na calibração de critérios para estimar a necessidade de calagem (Shoemaeker et al., 1961; Freitas et al., 1968; Raji et al., 1978) e dos métodos para determinação da acidez potencial (Kaminski et al., 2002).

A acidez potencial estimada para pH 7,0, por meio das curvas de incubação $(\text{H+Al})_i$, foi significativamente maior ($p < 0,10$) do que aquela determinada em $\text{Ca}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$ 0,5 mol L^{-1} pH 7,0, $(\text{H+Al})_{ac}$, (Quadros 8 e 9). Isso se justifica pelo fato de o acetato de cálcio ser fracamente tamponado em pH 7,0 (Vettori, 1948, 1961; Raji & Küpper, 1966). Diante desta característica, Vettori (1948, 1961) propôs o fator de correção de 1,10 (10%) para os teores determinados em acetato, que, no entanto, parece não ser suficiente. O desvio entre $(\text{H+Al})_i$ para pH 7,0 e $(\text{H+Al})_{ac}$ foi maior nos solos mais tamponados, visto que se correlacionou significativamente ($p < 0,01$) com o teor de matéria orgânica ($R = 0,83$) e o valor de P remanescente ($R = -0,70$). O H+Al determinado em acetato de cálcio 0,5 mol L^{-1} pH 7,0 aproximou-se daquele estimado pelas curvas de incubação para valores de pH inferiores a 6,

Quadro 7 - Equações de regressão relacionando pH (Y) com doses de CaCO₃ expressas em equivalente a cmol_c dm⁻³ de OH⁻ (X), ajustadas com dados obtidos após 120 dias da aplicação, com os respectivos coeficientes de determinação (R²) e os maiores valores de pH atingidos

Solo	Curva de incubação	R ²	pH _{maior}
15	Y = 4,58 + 0,32**X	0,949	7,30
34	Y = 4,23 + 0,22**X	0,962	7,12
40	Y = 3,82 + 0,13**X	0,974	7,13
50	Y = 5,16 + 0,30**X	0,993	7,42
58	Y = 4,51 + 0,60**X	0,988	7,50
60	Y = 4,03 + 0,16**X	0,986	6,67
63	Y = 4,52 + 0,26**X	0,991	7,05
71	Y = 4,32 + 0,30**X	0,926	7,25
91	Y = 4,16 + 0,16**X	0,961	7,32
104	Y = 4,37 + 0,10**X	0,980	7,30
105	Y = 4,85 + 0,12**X	0,841	7,14
109	Y = 4,33 + 0,23**X	0,956	5,95
114	Y = 4,12 + 0,07**X	0,943	7,20

Quadro 8 - Acidez potencial estimada com as curvas de incubação com CaCO₃ (H+Al)_i para valores de pH entre 5,5 e 7,0, determinada em acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0 (H+Al)_{ac}, fator F e valores do pH da solução SMP em equilíbrio com o solo (pH_{SMP})

Solo	(H+Al) _i estimado para pH							(H+Al) _{ac}	F ^{1/}	pH _{SMP}
	5,5	5,7	5,8	5,9	6,0	6,5	7,0			
	cmol _c dm ⁻³									
15	2,88	3,50	3,81	4,13	4,44	6,00	7,56	2,69	1,65	5,87
34	5,77	6,68	7,14	7,59	8,05	10,32	12,59	6,43	1,25	5,20
40	12,92	14,46	15,23	16,00	16,77	20,62	24,46	14,35	1,17	4,87
50	1,13	1,80	2,13	2,47	2,80	4,47	6,13	3,82	0,73	6,01
58	1,65	1,98	2,15	2,32	2,48	3,32	4,15	2,56	0,97	6,40
60	9,19	10,44	11,06	11,69	12,31	15,44	18,56	7,90	1,56	5,64
63	3,77	4,54	4,92	5,31	5,69	7,62	9,54	5,61	1,01	5,69
71	3,93	4,60	4,93	5,27	5,60	7,27	8,93	5,93	0,94	5,51
91	8,38	9,63	10,25	10,88	11,50	14,63	17,75	10,09	1,14	5,18
104	11,30	13,30	14,30	15,30	16,30	21,30	26,30	12,20	1,34	5,15
105	5,42	7,08	7,92	8,75	9,58	13,75	17,92	7,67	1,25	5,36
109	5,09	5,96	6,39	6,83	7,26	9,43	11,61	7,17	1,01	5,67
114	19,12	22,06	23,53	25,00	26,47	33,82	41,18	22,82	1,80	4,41

1/ F = (H+Al)_i pH 6,0/ (H+Al)_{ac}

Quadro 9 - Comparação^{1/} entre a acidez potencial estimada a partir da curva de incubação $(H+Al)_i$ para diferentes valores de pH entre 5,5 e 7,0 (Y_j) e a acidez potencial determinada pelo acetato de cálcio pH 7,0 $(H+Al)_{ac}$ (Y_i)

pH	$(H+Al)_i = f[(H+Al)_{ac}]$	R^2	Estatísticas ^{2/}			$Y_j = Y_i$
			$F(H_0)$	$t(\bar{e})$	$r_{y_j y_i} \geq 1 - \bar{e} $	
5,5	$Y_j = -0,602 + 0,900 Y_i$	0,9495	*	*	sim	não
5,7	$Y_j = -0,418 + 1,021 Y_i$	0,9567	ns	ns	sim	sim
5,8	$Y_j = -0,326 + 1,080 Y_i$	0,9585	ns	ns	não	não
5,9	$Y_j = -0,234 + 1,140 Y_i$	0,9594	*	ns	sim	não
6,0	$Y_j = -0,142 + 1,200 Y_i$	0,9596	*	*	sim	não
6,5	$Y_j = 0,317 + 1,500 Y_i$	0,9561	*	*	sim	não
7,0	$Y_j = 0,777 + 1,800 Y_i$	0,9498	*	*	sim	não

1/ Empregou-se procedimento estatístico para testar identidade de métodos analíticos (Leite & Oliveira, 2002). O procedimento fundamenta-se no teste das hipóteses:

$H_0: \beta' = [0,1]$, isto é, se os coeficientes β_0 e β_1 da regressão ajustada entre os dados de dois métodos são simultaneamente iguais a 0 e 1, por meio do teste de $F(H_0)$; rejeita-se H_0 se $F(H_0) \geq F_{\alpha}(2, n-2 \text{ g.l.})$

$H_0: \bar{e} = 0$ por meio do teste de t para o erro médio ($t(\bar{e})$). Rejeita H_0 se $t(\bar{e}) \geq t_{\alpha}(n-1 \text{ g.l.})$ e comparação do coeficiente de correlação ($r_{y_j y_i}$) com o módulo do erro médio ($1-|\bar{e}|$)

2/ Os métodos produzem estimativas idênticas se $F(H_0)$ for não-significativo ($\leq F_{\alpha}(2, 12 \text{ g.l.})$); $t(\bar{e})$ for não-significativo ($\leq t_{\alpha}(n-1 \text{ g.l.})$) e ($r_{y_j y_i} \geq 1-|\bar{e}|$). Adotou-se o nível de probabilidade α de 10%.

sendo estatisticamente idêntico ao estimado a pH 5,7 (Quadro 9). Isso evidencia que a acidez potencial, determinada pelo acetato de cálcio a pH 7,0, está relacionada com uma faixa de pH de interesse agrônômico. Nesse sentido, justifica-se adotar o pH 6, que proporciona no solo condições favoráveis à maioria das culturas, como referência para corrigir os teores de acidez determinados em acetato de cálcio. O desvio entre a acidez potencial em acetato de cálcio pH 7,0 e a estimada para pH 6,0 pela curva de incubação aumentou com o tamponamento do solo, correlacionando-se ($R = 0,83$) ($p < 0,01$), também, com o teor de matéria orgânica.

Com a razão entre a acidez estimada para pH 6,0 pela curva de incubação e a determinada em acetato de cálcio pH 7,0, obteve-se o fator (F) (Quadro 8), com o qual os valores da determinação em acetato poderão ser corrigidos. O fator F pode ser estimado em função dos teores de matéria orgânica e do valor de P remanescente por meio de equações de regressão (Quadro 10), o que se justifica por serem características relacionadas com o poder-tampão de acidez do solo. Constatou-se a eficácia deste fator de correção ao se comparar a acidez potencial

determinada em acetato e corrigida com o fator F com aquela estimada para pH 6,0 pela curva de incubação (Figura 1). As equações 2 e 3 (Quadro 10), que consideram simultaneamente o teor de matéria orgânica e o P remanescente, promoveram melhor correção da determinação da acidez potencial em acetato de cálcio (Figura 1B e C). O ponto discrepante na Figura 1C corresponde ao solo 60 (Quadro 5), que, apesar de ser argiloso (70 %) e com alto teor de matéria orgânica (6,8 dag kg⁻¹), apresentou P remanescente de 25 mg L⁻¹.

Quadro 10. Equações de regressão para estimar o fator (F) para correção da acidez potencial determinada em acetato de cálcio pH 7,0, de acordo com o teor de matéria orgânica (MO) e o valor de fósforo remanescente (Prem)

Equação de regressão ^{1/}	R ²
1 F = 0,99 - 0,028** MO + 0,015** MO ²	0,925
2 F = 2,85 - 0,592** MO + 0,049** MO ² - 0,052** Prem + 0,0103** MO Prem	0,969
3 F = 8,01 - 1,698* MO + 0,108* MO ² - 0,344* Prem + 0,0042* Prem ² + 0,041 MO Prem*	0,992

*, **, Significativo a 1 e 5 %, respectivamente.

1/ Para as equações 1 e 3, os solos 15, 34, 50 e 60 e, para a regressão 2, os solos 15, 34 e 50 foram considerados *outline*.

O pH da solução SMP em equilíbrio com os solos variou de 4,4 a 6,4 refletindo a amplitude do poder-tampão de acidez dos 13 solos (Quadro 8). Considerando que a acidez potencial determinada em acetato de cálcio pH 7,0 aproximou-se daquela estimada para pH 6,0 pelas curvas de incubação e que este valor de pH é agronomicamente satisfatório, adotou-se esta estimativa para relacioná-la com o pH SMP. A acidez potencial estimada para pH 6,0 pelas curvas de incubação, (H+Al)_i pH 6,0, decresceu exponencialmente com o aumento do pH_{SMP} (Figura 2), o que está de acordo com a tendência verificada em vários trabalhos (Quaggio et al., 1985; Corrêa et al., 1985; Maeda et al., 1997; Souza et al., 1989). Assim, foi utilizado o modelo exponencial negativo para estabelecer a relação funcional entre essas variáveis, incluindo-se também, como variáveis independentes, os teores de argila e de matéria orgânica e o P remanescente. Considerando apenas a relação entre o (H+Al)_i pH 6,0 e o pH_{SMP}, obteve-se a equação:

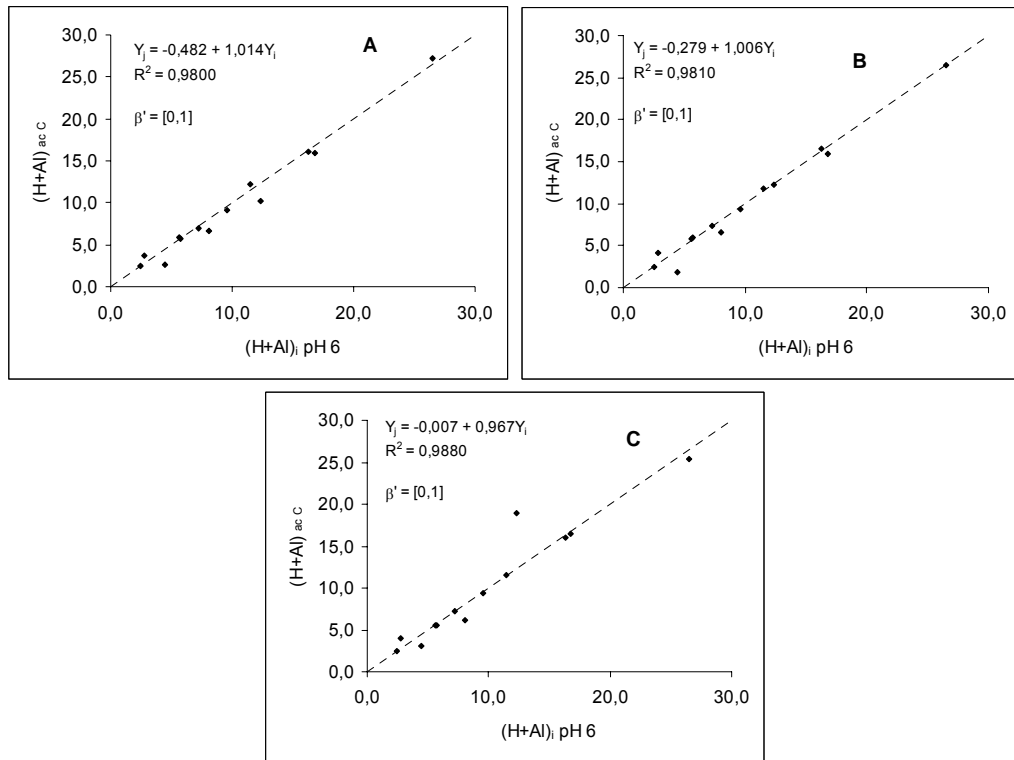


Figura 1 - Relação entre a acidez potencial estimada para pH 6,0 por meio da curva de incubação com CaCO_3 $((\text{H}+\text{Al})_i \text{ pH } 6)$ e a acidez potencial determinada com acetato de cálcio pH 7,0 corrigida com o fator F $((\text{H}+\text{Al})_{\text{acC}})$, estimado de acordo com o teor de matéria orgânica (A) e os teores de matéria orgânica e P remanescente(B e C), utilizando as equações de regressão do quadro 10.

A hipótese $H_0: \beta' = [0,1]$ foi verificada pelo procedimento estatístico para testar identidade de métodos analíticos, segundo Leite & Oliveira (2002). Adotou-se o nível de probabilidade α de 10%. A linha corresponde à equação de regressão com $\beta_0 = 0$ e $\beta_1 = 1$.

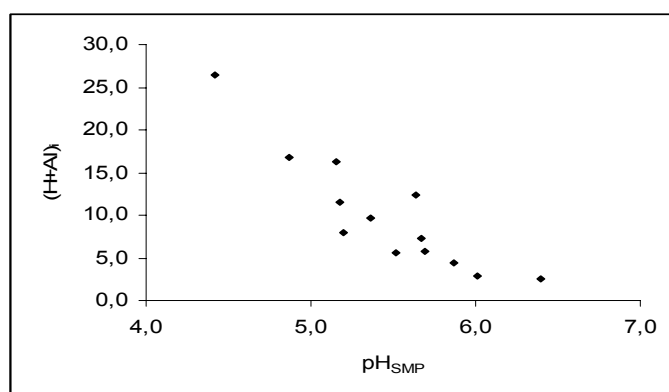


Figura 2 - Variação nos valores da acidez potencial estimada para pH 6,0 pela curva de incubação com CaCO_3 $((\text{H}+\text{Al})_i)$ de acordo com o pH da solução SMP em equilíbrio com 13 solos (pH_{SMP}) .

$$\ln (H+Al) = 8,93 - 1,255 \text{ pH}_{\text{SMP}} \quad R^2 = 0,842 \quad \text{Eq. 1}$$

Constatou-se que, além do pH_{SMP} , apenas o teor de matéria orgânica contribuiu significativamente para explicar a variação no teor de H+Al, ajustando-se à equação:

$$\ln (H+Al) = 6,18 + 0,142 \text{ MO} - 0,859 \text{ pH}_{\text{SMP}} \quad R^2 = 0,936 \quad \text{Eq. 2}$$

Os coeficientes de ambas as equações foram significativos ($p < 0,01$), e a inclusão do teor de matéria orgânica na regressão aumentou a sua capacidade preditiva, conforme se constata pelo maior valor do coeficiente de determinação (R^2). Essa contribuição da matéria orgânica se deve à sua efetiva importância na definição do poder-tampão de acidez do solo.

Validação das equações de regressão ajustadas

As estimativas da acidez potencial pelas equações 1 e 2 ($(H+Al)_{\text{pH}_{\text{SMP}}}$) aproximaram-se satisfatoriamente daquela estimada para pH 6,0 pela curva de incubação (Figura 3 A e B). Embora a aceitação da hipótese $H_0: \beta' = [0,1]$ não tenha ocorrido, a declividade da equação ajustada entre as estimativas dos dois métodos (β_1) não diferiu significativamente de 1. Com isso, há suporte para aceitar as duas medidas da acidez potencial como estatisticamente iguais. Adicionalmente, constatou-se que os valores de H+Al estimados pelas Equações 1 e 2 não diferem estatisticamente daqueles da acidez potencial determinada em acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ pH 7,0 com a devida correção (Figura 3 C e D). Observa-se que a presença da matéria orgânica (Eq. 2) proporciona, em ambas as comparações, menor dispersão das estimativas, o que se evidencia pelo maior R^2 (Figura 3 B e D).

O pH da solução SMP em equilíbrio com os 99 solos variou entre 4,4 e 7,1 e a acidez potencial determinada em acetato de cálcio pH 7,0 variou entre 1 e 23 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, evidenciando a ampla faixa de tamponamento desses solos. A correção do H+Al determinado em acetato com aplicação do fator F, estimado pela equação dois do Quadro 10, promoveu maiores correções nos solos com H+Al inferior e superior a 3 e 6 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente (Figura 4). O teor de H+Al decresceu exponencialmente com o pH_{SMP} , seguindo a tendência esperada (Figura 5), observando-se maior dispersão para os teores de H+Al não-corrigidos (Figura 5A) do que para os teores corrigidos (Figura 5B).

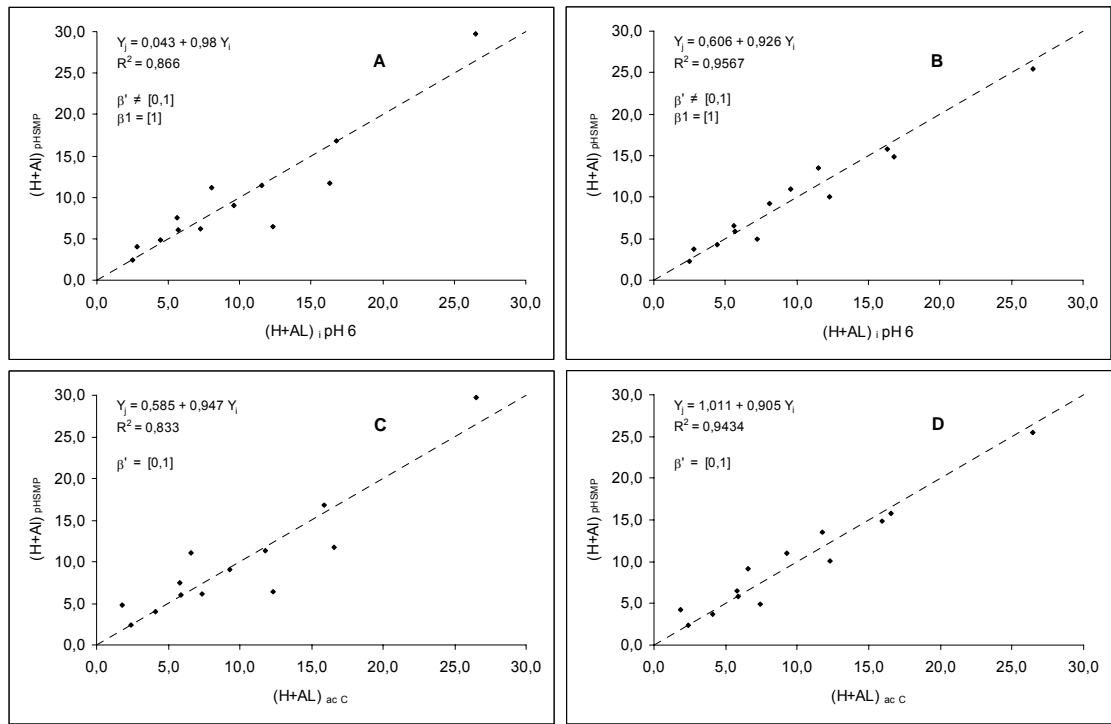


Figura 3 - Relação entre a acidez potencial estimada para pH 6,0 por meio das curvas de incubação com CaCO_3 ((H+Al)_i pH 6) (A e B), determinada em acetato de cálcio e corrigida^{1/} ((H+Al)_{ac C}) (C e D) e a acidez potencial estimada a partir do pH_{SMP}, de acordo com a Eq. 1 (A e C), e a partir do pH_{SMP} e do teor de matéria orgânica ((H+Al)_{SMP}), de acordo com a Eq. 2 (B e D).

1/ Fez-se a correção da determinação em acetato de cálcio pH 7,0 com o fator F estimado com base no teor de matéria orgânica e valor de P remanescente, utilizando a equação de regressão 2 (Quadro 10).

As hipóteses $H_0: \beta' = [0,1]$ e $H_0: \beta_1 = [1]$ foram verificadas pelo procedimento estatístico para testar identidade de métodos analíticos, segundo Leite & Oliveira (2002). Adotou-se o nível de probabilidade α de 10%.

A linha corresponde à equação de regressão linear com $\beta_0 = 0$ e $\beta_1 = 1$.

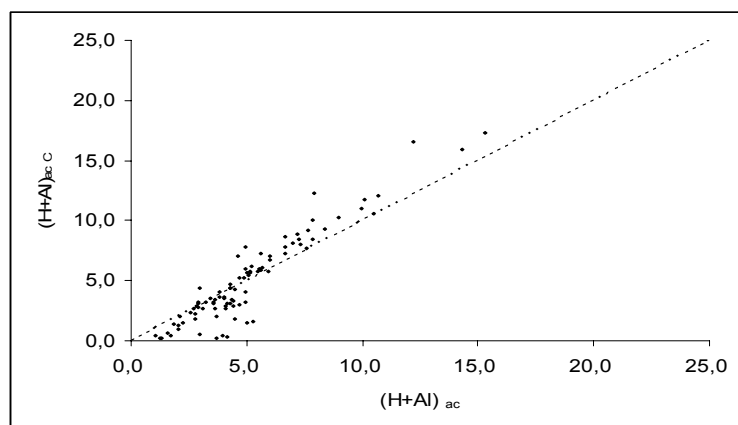


Figura 4 - Relação entre a acidez potencial determinada em acetato de cálcio a pH 7,0 sem correção ((H+Al)_{ac}) e corrigida ((H+Al)_{ac C}) e o fator F, estimado de acordo com o teor de matéria orgânica e valor de P remanescente, conforme equação 2 do Quadro 10, para 93 solos. A linha corresponde à equação de regressão linear com $\beta_0 = 0$ e $\beta_1 = 1$.

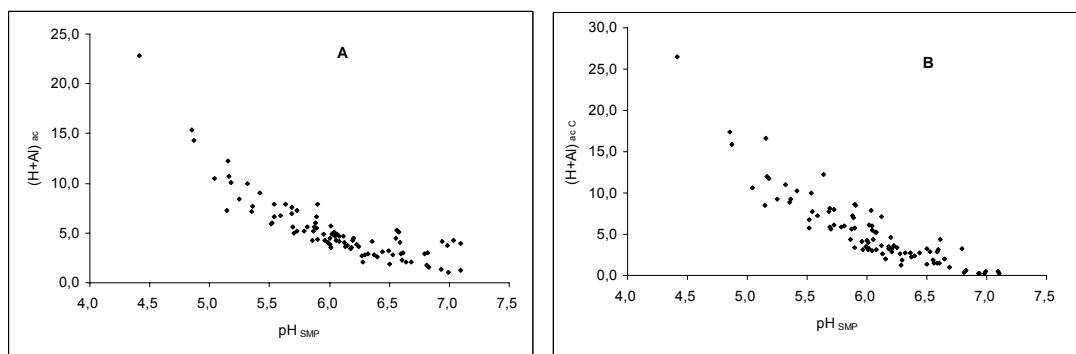


Figura 5 - Variação nos valores da acidez potencial determinada em acetato de cálcio sem correção $((H+Al)_{ac})$ (A) e corrigida $((H+Al)_{ac C})$ (B) com o fator F estimado em função do teor de matéria orgânica e P remanescente, de acordo com o pH da solução SMP (pH_{SMP}), ao final do equilíbrio mantido com 93 solos.

A acidez potencial estimada a partir do pH_{SMP} (Eq. 1) e do pH_{SMP} mais o teor de matéria orgânica (Eq. 2) $((H+Al)_{SMP})$ foram, de acordo com o critério proposto por Leite & Oliveira (2002), estatisticamente diferentes ($p < 0,10$) dos teores determinados em acetato de cálcio pH 7,0 e corrigidos (Figura 6). Embora este critério rejeite a hipótese $H_0: \beta' = [0, 1]$, verificou-se que a declividade (β_1) da equação linear ajustada entre os dois métodos é estatisticamente igual a 1. Com a Eq. 2, que considera tanto o pH_{SMP} como o teor de matéria orgânica, houve menor dispersão das estimativas em relação à determinação em acetato.

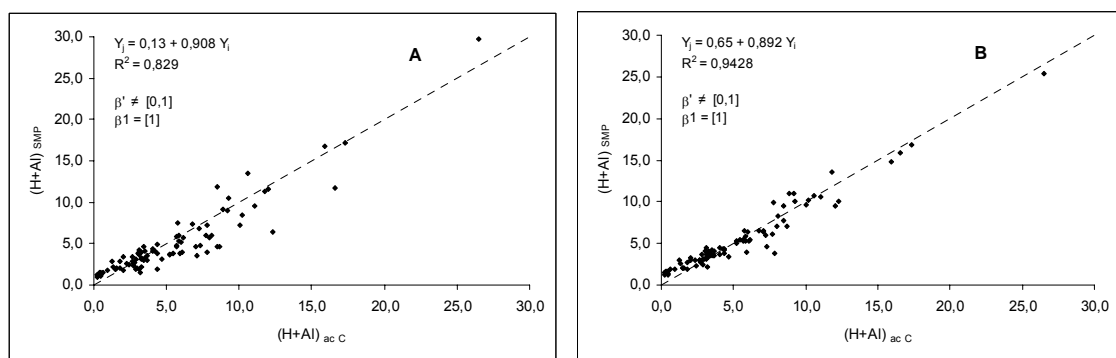


Figura 6 - Relação entre a acidez potencial determinada em acetato de cálcio pH 7,0 corrigida¹ $((H+Al)_{ac C})$ e a acidez potencial estimada a partir do pH_{SMP} $((H+Al)_{SMP})$, de acordo com a Eq. 1 (A) e a Eq. 2 (B), que consideram o pH_{SMP} e o pH_{SMP} mais o teor de matéria orgânica, respectivamente.

1/ Fez-se a correção da determinação em acetato de cálcio pH 7,0 com o fator F estimado com base no teor de matéria orgânica e no valor de P remanescente, utilizando a equação de regressão 2 (Quadro 10).

As hipóteses $H_0: \beta' = [0,1]$ e $H_0: \beta_1 = [1]$ foram verificadas pelo procedimento estatístico para testar identidade de métodos analíticos, segundo Leite & Oliveira (2002). Adotou-se o nível de probabilidade α de 10%. A linha corresponde à equação de regressão com $\beta_0 = 0$ e $\beta_1 = 1$.

5. CONCLUSÕES

Os resultados permitiram as seguintes conclusões:

- O procedimento SMP pode ser associado à rotina de determinação do pH em H₂O, mantendo-se o protocolo atualmente adotado. Com isso, viabiliza-se o uso do procedimento SMP para estimar o H+Al em laboratórios que adotam a rotina de determinação do pH em H₂O.
- A acidez potencial determinada pelo acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0 equivale à acidez para o pH 5,7 estimada por meio de incubação com CaCO₃.
- A acidez potencial determinada pelo acetato de cálcio pH 7,0 deve ser corrigida por um fator variável com o teor de matéria orgânica e, ou, com o valor de P remanescente.
- Apenas o teor de matéria orgânica contribui de forma significativa, junto com o pH da solução SMP em equilíbrio com o solo, para o ajuste de uma regressão que possibilite a estimativa do H+Al.
- A equação $\ln (H+Al) = 6,18 + 0,142^{**} MO - 0,859^{**} pH_{SMP}$ parece adequada para uso geral na estimativa da acidez potencial. A consolidação desta equação requer amplo exercício de validação.

BIBLIOGRAFIA

- CORRÊA, J.B.; COSTA, P.C.; LOPES, A.S. & CARVALHO, J.G. Avaliação de H + Al pelo método do SMP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 12., Caxambu, 1985. Anais. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro do Café, 1985. p.111-112.
- DEFELLIPO, B.V.; & RIBEIRO, A.C. Análise química do solo. Viçosa, MG: UFV, 1981. 17p. (Boletim de Extensão).
- ERNANI, P.R. & ALMEIDA, J.A. Comparação de métodos analíticos para avaliar a necessidade de calcário dos solos do Estado de Santa Catarina. R. Bras. Ci. Solo, 10:143-150, 1986.
- ESCOSTEGUY, P.A. & BISSANI, C.A. Estimativa de H + Al pelo pH SMP em solos do Estado do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. R. Bras. Ci Solo, 23:175-179, 1999.
- FREITAS, L.M.M., PRATT, P.F. & VETTORI, L. Testes rápidos para estimar as necessidades em calcário de alguns solos de São Paulo. Pesq. agropec. bras., 3:159-164, 1968.
- GAMA, M.A.P.; PROCHNOW, L.I. & GAMA, J.R.N. F. Avaliação da acidez potencial pelo método do pH SMP em solos do Nordeste Paraense. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23. Caxambu, 1998. Anais. Lavras, Universidade Federal de Lavras/Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998.
- JACKSON, M.L. Soil chemical analysis. Englewood Cliffs, N.J. Prentice-Hall, Inc., 1960. p.73.
- KAMINSKI, J., GATIBONI, L.C., RHEINHEIMER, D.S., MARTINS, J.R., SANTOS, E.J.S. & TISSOT, C.A. Estimativa da acidez potencial em solos e sua implicação no cálculo da necessidade de calcário. R. Bras. Ci.. Solo, 26:1107-1113, 2002.

- LEITE, H.G. & OLIVEIRA, F.H.T. Statistical procedure to test identity between analytical methods. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 37:1105-1118, 2002.
- MAEDA, S.; KURIHARA, C.H.; HERNANI, L.C.; FABRÍCIO, A.C. & SILVA, W.M. Estimativa da acidez potencial, pelo método do pH SMP, em solos do Mato Grosso do Sul. Pousadas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997. (Boletim de Pesquisa, 3).
- MOREIRA, A.; ALMEIDA, M.P.; COSTA, D.G.; SANTOS, L.S. Acidez Potencial pelo método do pH SMP no Estado do Amazonas. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v.39, n.1, p.89-92, 2004.
- NASCIMENTO, C. W.A. Acidez potencial estimada pelo pH SMP em solos do Estado de Pernambuco. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:679-682, 2000.
- PAVAN, M.A.; OLIVEIRA, E.L. & MIYAZAWA, M. Determinação indireta da acidez extraível do solo (H + Al) por potenciometria com a solução-tampão SMP. *Arq. Biol. Tecnol.*, 39:307-312, 1996.
- PEREIRA, M.G.; VALLADARES, G.S.; SOUZA, J.M.P.F.; PÉREZ, D.V. & DOS ANJOS, L.H.C. Estimativa da acidez potencial pelo método do pH SMP em solos do Estado do Rio de Janeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:159-162, 1998.
- QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van & MALAVOLTA, E. Alternative use of the SMP-buffer solution to determine lime requirement of soil. *Comm. Soil. Sci. Plant. Anal.* 16:245-260, 1985.
- RAIJ, B. van & KUPPER, A. Capacidade de troca de cátions em solos. Estudo comparativo para alguns métodos. *Bragantia*, Campinas, 25:327-336, 1966.
- RAIJ, B. van.; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais. Campinas. Instituto Agrônômico, 2001.
- RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H. & ZULLO, M.A.T. O método SMP para determinação da necessidade de calagem de solos do Estado de São Paulo. *Bragantia*, 38:57-59. 1979.
- RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E; LOPES, A. S. & BATAGLIA, O. C. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas: Fundação Cargill, 1987.
- RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). *R. Bras Ci. Solo*, 29: 297-300, 2005.
- SAMBATTI, J.A.; SOUZA JUNIOR, I.G.; COSTA, A.C.S. & TORMENA, C.A. Estimativa da acidez potencial pelo método do pH SMP em solos da formação Cainá-Noroeste do Estado do Paraná. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:257-264, 2003.
- SHOEMAKER, H.E.; McLEAN, E.O. & PRATT, P.F. Buffer methods for determining lime requirements of soils with appreciable amounts of extractable aluminum *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 25:274-277, 1961.

- SILVA, C.A.; AVELLAR, M.L. & BERNARDI, A.C.C. Estimativa da acidez potencial pelo pH SMP em solos do semi-árido do nordeste brasileiro. R. Bras. Ci. Solo, 24:689-692, 2000.
- SILVA, E.B.; DIAS, M.S.C.; GONZAGA, E.F.C. & SANTOS, N.M. Estimativa da acidez potencial pelo pH_{SMP} em solos da Região Norte do Estado de Minas Gerais. R. Bras. Ci. Solo, 26:561-565, 2002.
- SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; LOBATO, E. & KLIEMAN, H.J. Avaliação de métodos para determinação de calcário em solos de Cerrado de Goiás e do Distrito Federal. R. Bras. Ci. Solo, 4:144-148, 1989.
- STATSOFT, Inc. STATISTICA (Data Analysis Software System), version 7.1. www.statsoft.com. 2005.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. SAEG (Sistema de Análise Estatística), versão 9.0. www.saeg.com.br. 2004.
- VETTORI, L. Determinação da necessidade de cal dos solos. Bol. N° 7, Instituto de Química Agrícola. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 19p. 1948.
- VETTORI, L. Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969. 34p. (Boletim Técnico, 7).

APÉNDICE

Quadro 1A - Características químicas e físicas dos solos

Solo	pH	P	K	Ca	Mg	Al ³⁺	H+Al	SB	te	T	V	M	MO	PREM	A.grossa	A. fina	Silte	Arg.
1	5,30	1,2	62	1,2	0,7	1,3	6,7	2,1	3,38	8,76	24	39	3,55	22,3	17	9	16	58
2	5,02	0,3	16	0,0	0,1	0,6	3,4	0,1	0,66	3,50	3	85	1,39	36,2	44	30	5	21
3	4,16	3,6	81	1,5	1,5	2,2	9,3	3,3	5,43	12,57	26	40	3,68	22,9	12	40	13	35
4	4,87	0,8	66	0,9	0,4	1,3	5,6	1,5	2,77	7,05	21	48	2,91	21,0	16	6	16	62
5	6,44	11,5	193	12,8	2,0	0,0	2,8	15,2	15,23	18,03	85	0	5,96	42,5	13	11	44	32
6	4,01	2,1	32	0,2	0,2	3,9	9,8	0,4	4,27	10,22	4	90	3,55	15,4	8	21	24	47
7	6,22	0,7	117	3,0	0,9	0,0	0,9	4,1	4,13	5,03	82	0	0,89	44,8	24	42	11	23
8	4,61	2,8	22	1,1	0,2	1,1	7,4	1,3	2,43	8,70	15	47	5,70	24,2	9	2	11	78
9	5,61	7,7	87	4,5	1,8	0,0	3,7	6,6	6,55	10,25	64	0	3,80	44,0	15	42	23	20
11	5,49	2,7	18	1,0	0,3	0,0	1,7	1,3	1,34	3,04	44	0	1,39	50,2	53	27	4	16
13	6,21	1,7	487	9,5	4,1	0,0	3,3	14,9	14,90	18,20	82	0	3,93	28,7	12	31	21	36
14	5,20	1,7	28	1,2	1,0	0,3	3,4	2,2	2,48	5,60	39	11	2,03	39,9	29	42	7	22
16	4,83	1,2	16	0,2	0,3	0,8	3,3	0,5	1,24	3,79	13	61	1,77	38,6	23	49	7	21
21	5,36	0,6	14	5,9	1,6	0,1	5,1	7,5	7,55	12,56	59	1	5,20	45,9	1	13	64	22
22	6,46	1,8	75	2,7	1,0	0,0	1,1	3,9	3,88	4,98	78	0	1,39	57,3	23	54	15	8
23	5,74	1,6	16	2,2	0,6	0,0	1,7	2,8	2,81	4,51	62	0	1,65	55,5	40	38	15	7
24	5,10	0,5	12	0,3	0,5	0,9	2,0	0,8	1,64	2,79	28	52	0,51	46,1	31	44	17	8
25	6,16	26,4	101	3,3	0,9	0,0	1,7	4,5	4,45	6,15	72	0	1,65	55,2	20	57	13	10
26	4,69	2,1	8	0,1	0,1	0,8	3,1	0,2	0,96	3,31	6	78	1,27	48,4	59	26	4	11
27	5,88	3,4	40	2,1	1,0	0,0	2,8	3,2	3,18	5,98	53	0	2,41	35,8	45	16	3	36
29	6,38	2,2	133	2,4	0,5	0,0	1,4	3,2	3,17	4,57	69	0	1,14	52,7	40	48	4	8
30	5,07	3,2	18	0,1	0,1	0,7	2,6	0,3	0,96	2,90	10	69	1,39	48,5	55	33	5	7
33	5,05	3,5	115	1,0	0,7	1,8	7,4	1,9	3,73	9,34	21	48	6,21	26,7	2	1	39	58
32	5,90	6,0	111	5,3	1,1	0,0	3,9	6,7	6,67	10,57	63	0	3,30	30,3	3	2	40	55
35	6,93	3,9	83	5,8	2,3	0,0	0,9	8,3	8,30	9,20	90	0	2,91	20,2	1	0	29	70
38	5,55	1,2	50	1,8	0,8	0,1	2,2	2,7	2,76	4,87	55	3	1,65	43,7	46	29	12	13

Continua...

Quadro 1A - Continuação...

Solo	pH	P	K	Ca	Mg	Al ³⁺	H+Al	SB	te	T	V	M	MO	PREM	A.grossa	A. fina	Silte	Arg.
															----- mg dm ⁻¹ -----	----- cmol _c dm ⁻¹ -----	----- % -----	----- dag kg ⁻¹ -----
39	6,47	1,4	79	5,8	6,3	0,0	2,5	12,3	12,33	14,83	83	0	4,69	18,1	4	3	26	67
40	4,63	2,9	111	1,8	0,8	5,1	12,7	2,9	7,96	15,58	19	64	4,94	11,7	10	27	24	39
41	5,64	7,1	30	0,2	0,2	0,1	4,3	0,5	0,59	4,80	10	15	4,56	20,0	5	4	18	73
44	5,42	9,8	153	1,6	0,6	0,2	6,8	2,6	2,76	9,37	27	7	5,96	22,7	14	8	12	66
45	4,76	2,2	68	0,0	0,1	1,6	6,8	0,2	1,84	7,04	3	87	3,42	13,8	18	8	12	62
46	4,70	0,7	10	0,2	0,4	0,9	3,9	0,7	1,60	4,56	15	59	2,03	26,9	38	13	13	36
47	4,80	2,2	20	1,8	1,5	0,7	4,3	3,3	3,99	7,63	44	17	2,66	39,1	2	3	17	78
48	6,48	0,6	22	6,1	0,7	0,0	2,0	6,9	6,91	8,91	78	0	3,93	20,9	34	29	2	35
49	6,57	6,9	48	0,8	0,5	0,0	2,2	1,4	1,39	3,59	39	0	4,44	35,6	40	8	10	42
50	5,38	3,9	64	0,0	0,0	0,6	3,7	0,2	0,75	3,89	5	75	2,03	25,5	16	25	14	45
51	5,48	0,8	54	0,7	0,5	0,0	2,1	1,2	1,24	3,34	37	0	1,52	38,9	24	48	12	16
52	5,16	2,6	24	1,4	0,4	0,2	3,6	1,9	2,13	5,53	35	9	1,90	41,5	44	27	3	26
53	6,08	4,7	153	3,2	1,0	0,0	1,3	4,5	4,51	5,81	78	0	1,14	51,6	35	41	13	11
55	6,22	49,0	179	5,2	1,8	0,0	3,0	7,5	7,49	10,49	71	0	4,31	27,5	21	7	14	58
56	5,22	1,1	254	0,0	0,3	0,9	3,6	1,0	1,91	4,61	22	47	1,39	36,9	43	17	10	30
57	4,95	1,0	60	0,0	0,1	1,4	4,3	0,2	1,64	4,54	5	85	1,65	34,6	39	20	5	36
58	4,96	0,2	6	0,0	0,0	0,3	2,6	0,1	0,36	2,66	2	83	1,14	32,5	26	52	0	22
59	5,23	0,8	66	0,4	0,2	0,1	4,8	0,7	0,83	5,53	13	12	2,66	17,4	6	24	18	52
60	5,35	4,7	81	2,9	0,5	0,3	7,8	3,7	3,97	11,47	32	8	6,84	25,0	9	4	11	76
61	5,96	62,6	324	4,1	1,0	0,0	5,1	5,9	5,87	10,97	54	0	5,90	27,1	8	8	31	53
62	6,94	168,5	88	4,5	0,6	0,0	1,2	5,3	5,31	6,51	82	0	2,26	47,7	48	12	9	31
63	4,66	6,8	90	1,6	0,1	0,5	5,0	2,0	2,44	6,97	28	19	3,39	21,2	11	20	14	55
64	5,39	20,3	134	3,0	0,7	0,0	3,9	4,0	4,04	7,94	51	0	2,89	30,5	12	23	25	40
65	5,54	16,0	134	3,4	0,7	0,0	4,2	4,4	4,44	8,64	51	0	3,14	27,1	17	20	26	37
66	5,85	21,0	116	3,8	0,5	0,0	3,3	4,7	4,67	7,97	59	0	3,14	27,0	17	24	19	40
67	5,88	18,6	178	3,5	0,5	0,0	3,9	4,5	4,49	8,39	54	0	3,39	28,9	14	21	23	42

Continua...

Quadro 1A - Continuação...

Solo	pH	P	K	Ca	Mg	Al ³⁺	H+Al	SB	te	T	V	M	MO	PREM	A.grossa	A. fina	Silte	Arg.
68	6,01	21,7	158	4,0	0,7	0,0	3,9	5,1	5,06	8,96	57	0	3,26	28,7	20	14	19	47
69	6,02	23,9	184	3,9	0,6	0,0	3,6	5,0	4,95	8,55	58	0	3,14	25,7	13	21	19	47
70	5,75	4,3	80	2,4	0,6	0,0	3,4	3,1	3,12	6,52	48	0	2,64	24,3	32	11	11	46
71	4,59	0,3	52	0,6	0,2	1,0	5,1	1,0	2,02	6,09	16	51	3,01	25,8	32	12	9	47
72	5,43	17,1	94	2,0	0,4	0,0	2,6	2,6	2,60	5,20	50	0	2,64	32,2	32	17	11	40
73	5,66	0,3	40	1,2	0,2	0,1	2,5	1,5	1,55	3,96	37	6	2,26	27,5	29	18	11	42
75	6,56	63,8	156	5,5	0,6	0,0	3,4	6,5	6,53	9,93	66	0	2,89	30,4	11	24	18	47
76	5,63	30,3	130	4,1	0,5	0,1	4,7	5,0	5,06	9,67	51	2	3,14	32,9	19	10	22	49
77	5,03	72,1	158	3,6	0,6	0,1	4,8	4,6	4,69	9,40	49	2	3,01	41,3	23	21	16	40
78	5,79	6,9	154	2,0	0,4	0,0	4,0	2,8	2,79	6,79	41	0	3,52	22,4	10	13	16	61
79	5,85	3,9	100	2,2	0,4	0,0	5,0	2,9	2,86	7,86	36	0	4,02	20,1	8	10	20	62
80	5,63	10,6	138	2,7	0,4	0,1	5,7	3,4	3,52	9,13	38	3	4,90	20,7	7	9	14	70
81	5,57	3,7	96	2,5	0,5	0,1	5,1	3,3	3,34	8,35	39	3	4,65	20,3	9	11	18	62
84	6,30	2,7	40	1,7	0,7	0,3	6,3	2,5	2,84	8,77	29	12	3,22	17,0	30	7	8	55
86	4,60	4,6	19	0,6	0,2	0,8	5,5	0,8	1,63	6,29	13	50	1,68	36,7	56	35	1	8
88	5,30	4,7	87	3,2	0,5	0,3	7,5	3,9	4,24	11,42	34	7	5,55	12,2	8	5	9	78
89	4,70	2,4	43	0,8	0,2	0,7	7,1	1,1	1,76	8,19	13	40	3,02	18,5	34	7	6	53
90	4,30	2,9	29	0,4	0,1	1,1	10,1	0,5	1,67	10,63	11	68	4,43	12,4	33	8	11	48
91	4,30	3,6	38	0,2	0,1	1,3	10,6	0,5	1,71	11,08	4	73	6,18	9,1	24	8	11	57
92	4,40	2,1	25	0,2	0,1	1,3	10,6	0,3	1,28	8,08	4	77	6,18	9,1	26	9	9	56
93	4,30	1,6	34	0,1	0,1	1,3	11,1	0,3	1,59	11,39	3	81	5,24	7,9	24	8	8	60
95	4,40	1,5	15	0,2	0,0	1,0	6,7	0,2	1,23	6,97	3	81	2,75	12,3	29	11	14	46
96	5,70	8,7	70	3,5	1,6	0,2	8,2	5,3	5,57	13,52	40	4	4,87	33,0	21	18	35	26
97	6,00	4,2	47	3,5	1,1	0,0	6,9	4,7	4,67	11,62	40	0	4,50	19,2	25	8	9	58
98	6,20	18,9	244	4,4	0,8	0,0	5,4	5,8	5,84	11,19	52	0	6,65	27,1	8	4	13	75
99	4,70	3,4	59	0,9	0,4	0,6	6,5	2,1	2,67	7,98	19	28	2,69	19,9	35	6	5	54

Continua...

Quadro 1A - Continuação...

Solo	pH	P	K	Ca	Mg	Al ³⁺	H+Al	SB	te	T	V	M	MO	PREM	A.grossa	A. fina	Silte	Arg.	
		----- mg dm ⁻¹ -----		----- cmol _c dm ⁻¹ -----								----- % -----		----- dag kg ⁻¹ -----		-----mg L ⁻¹ -----		----- % -----	
100	4,70	8,3	54	0,9	0,2	0,9	6,9	1,2	2,07	8,07	15	42	3,09	15,2	15	3	17	65	
101	4,70	3,7	40	0,7	0,2	0,6	6,8	1,0	1,56	7,82	13	35	3,90	15,8	34	9	15	42	
102	4,90	6,3	27	1,1	0,3	0,3	5,2	1,4	1,71	6,63	21	17	2,49	22,2	43	8	10	39	
103	5,30	0,9	62	0,6	0,1	0,1	5,4	0,9	1,00	6,20	14	10	2,50	3,9	7	4	12	77	
104	4,20	1,0	33	0,1	0,1	2,7	13,9	0,3	3,00	14,20	2	90	7,10	11,5	22	8	2	68	
105	4,30	1,7	57	0,3	0,2	2,1	8,5	0,6	2,70	9,10	21	53	5,80	18,7	41	8	8	43	
106	4,80	1,5	190	1,2	0,2	2,1	6,9	1,8	3,90	8,70	21	53	5,80	11,8	2	0	43	55	
108	5,50	15,1	275	3,9	0,8	0,0	5,4	5,3	5,30	10,70	50	0	6,60	9,1	6	4	11	79	
110	5,30	0,9	17	0,0	0,2	0,5	1,6	0,3	0,73	1,86	14	64	0,76	50,3	76	13	4	7	
111	5,62	1,5	118	3,9	1,4	0,0	4,0	5,6	5,58	9,58	58	0	2,66	37,3	34	15	26	25	
113	5,30	1,7	84	0,7	0,6	0,9	4,3	1,5	2,45	5,81	26	38	1,90	38,6	41	21	20	18	
114	3,97	6,2	40	1,6	0,8	6,0	20,9	2,5	8,54	23,42	11	71	5,96	10,5	8	3	34	55	
115	4,90	0,8	37	1,6	0,5	4,2	13,3	2,3	6,48	15,55	15	65	5,70	9,4	4	2	26	68	
116	5,48	2,8	33	6,7	1,3	0,3	4,2	8,1	8,38	12,30	66	3	2,03	38,3	31	18	32	19	
117	6,25	2,4	30	18,1	9,6	0,0	5,0	27,8	27,75	32,75	85	0	5,07	30,4	19	19	28	34	
118	5,08	2,3	49	0,7	0,3	0,5	2,8	1,1	1,59	3,92	29	30	0,89	51,3	55	33	6	6	

Quadro 2A - Valores da necessidade de calagem (NC) e de pH após a incubação dos solos com CaCO₃ por 120 dias, para obtenção das curvas de incubação

Solo	H+Al	NC	pH	Solo	H+Al	NC	pH	Solo	H+Al	NC	pH
	----- cmol _c dm ⁻³ -----				----- cmol _c dm ⁻³ -----				----- cmol _c dm ⁻³ -----		
15	4,20	0,84	4,97	60	7,80	1,56	4,32	105	8,50	1,70	5,34
		2,10	5,25			3,90	4,77			4,25	5,38
		4,20	5,56			7,80	5,17			8,50	5,42
		5,04	6,38			9,36	5,50			10,20	5,92
		8,40	7,30			15,60	6,67			17,00	7,14
34	6,80	1,36	4,26	63	5,00	1,00	4,67	109	3,40	0,68	4,47
		3,40	5,26			2,50	5,27			1,70	4,86
		6,80	5,76			5,00	5,86			3,40	5,01
		8,16	6,00			6,00	6,09			4,08	5,13
		13,60	7,12			10,00	7,05			6,80	5,95
40	12,70	2,54	4,37	71	5,10	1,02	4,33	114	20,90	4,18	4,62
		6,35	4,48			2,55	5,42			10,45	4,88
		12,70	5,21			5,10	5,66			20,90	5,25
		15,24	5,74			6,12	6,48			25,08	5,61
		25,40	7,13			10,20	7,25			41,80	7,20
50	3,70	0,74	5,40	91	10,60	2,12	4,31				
		1,85	5,76			5,30	4,98				
		3,70	6,18			10,60	5,99				
		4,44	6,44			12,72	6,53				
		7,40	7,42			21,20	7,32				
58	2,60	0,52	4,83	104	13,90	2,78	4,81				
		1,30	5,14			6,95	5,02				
		2,60	6,16			13,90	5,59				
		3,12	6,48			16,68	6,06				
		5,20	7,50			27,80	7,30				