

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
TROPICAL

**RECOMENDAÇÃO DE CALAGEM PARA ALGUNS  
SOLOS DO ESTADO DO AMAZONAS**

IZA MARIA PAIVA BATISTA

MANAUS  
2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
TROPICAL

IZA MARIA PAIVA BATISTA

**RECOMENDAÇÃO DE CALAGEM PARA ALGUNS  
SOLOS DO ESTADO DO AMAZONAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para obtenção do título de Doutora em Agronomia Tropical, área de concentração Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. José Zilton Lopes Santos

MANAUS  
2014

### Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

B333r Batista, Iza Maria Paiva  
RECOMENDAÇÃO DE CALAGEM PARA ALGUNS SOLOS DO  
ESTADO DO AMAZONAS / Iza Maria Paiva Batista. 2014  
37 f.: il.; 31 cm.

Orientador: Prof. Dr. José Zilton Lopes Santos  
Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal  
do Amazonas.

1. necessidade de calagem. 2. pH do solo; acidez do solo. 3.  
método da incubação. 4. solução-tampão. 5. métodos analíticos. I.  
Santos, Prof. Dr. José Zilton Lopes II. Universidade Federal do  
Amazonas III. Título

# RECOMENDAÇÃO DE CALAGEM PARA ALGUNS SOLOS DO ESTADO DO AMAZONAS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para obtenção do título de Doutora em Agronomia Tropical, área de concentração Produção Vegetal.

Aprovada em 30 de setembro de 2014

## BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. José Zilton Lopes Santos  
Universidade Federal do Amazonas - UFAM



Profa. Dra. Cristiani Kano  
Embrapa Amazônia Ocidental



Prof. Dr. Genilson Pereira Santana  
Universidade Federal do Amazonas - UFAM



Prof. Dr. Ari de Freitas Hidalgo  
Universidade Federal do Amazonas - UFAM



Prof. Dr. Afrânio Ferreira Neves Junior  
Universidade Federal do Amazonas - UFAM

## LISTA DE TABELAS

### CAPITULO 2

Tabela 1. Atributos químicos e granulométricos dos 13 solos utilizados no estudo, 0-20 cm de profundidade. ....	11
Tabela 2. Necessidade de calcário para atingir o pH 5,5; 6,0 e 6,5 nos solos estudados em função da classe textural, após incubação por 56 dias.....	12
Tabela 3. Alumínio trocável (Al <sup>3+</sup> ), acidez potencial (H + Al), cálcio (Ca <sup>2+</sup> ), magnésio (Mg <sup>2+</sup> ) e saturação por bases (V) em função da classe textural, na condição de pH 6,0. ....	12
Tabela 4. Doses de calcário estimadas para atingir valores de saturação por bases (V%) equivalentes a 50, 60 e 70%, nos solos incubados após 56 dias.....	15
Tabela 5. Valores de pH do solo estimados para valores de saturação por bases (V%) equivalentes a 50, 60 e 70%, nos solos estudados após 56 dias de incubação. ....	16
Tabela 6. Acúmulo de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu) na matéria seca da parte aérea do milho e do feijão em solos com diferentes classes textural, em função de doses crescentes de calcário.....	18

### CAPITULO 3

Tabela 1. Atributos químicos e granulométricos dos 13 solos utilizados no estudo, 0-20 cm de profundidade. ....	30
Tabela 2. Necessidade de calcário estimada pelo método tampão SMP para elevar o pH em água do solo a 5,5; 6,0 e 6,5, em alguns solos do Estado do Amazonas. ....	33
Tabela 3. Equação linear $H + Al = 35,572 - 4,818 \text{ pH SMP}$ para conversão de valores de pH SMP para acidez potencial (H + Al) em alguns solos do estado do Amazonas. .	34

## LISTA DE FIGURAS

### CAPITULO 2

Figura 1. Distribuições geográficas dos locais amostrados em seis municípios do Estado do Amazonas. ....	8
Figura 2. Valores de pH em água nos solos de textura média (●), argilosa (○) e muito argilosa (▼), em função do fornecimento de doses crescentes de calcário.....	13
Figura 3. Valores de alumínio trocável ( $Al^{3+}$ ) nos solos de textura média (●), argilosa (○) e muito argilosa (▼), em função do fornecimento de doses crescentes de calcário. ....	14
Figura 4. Valores de acidez potencial (H + Al) nos solos de textura média (●), argilosa (○) e muito argilosa (▼), em função do fornecimento de doses crescentes de calcário. ....	14
Figura 5. Valores de saturação por bases (V%) nos solos de textura média (●), argilosa (○) e muito argilosa (▼), em função do fornecimento de doses crescentes de calcário. ....	15
Figura 6. Relação entre pH em água e saturação por bases (V%), nos solos de textura média (●), argilosa (○) e muito argilosa (▼).....	16
Figura 7. Produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca de raízes (MSR) do milho (a, b) e do feijão (c, d) no solo 4 de textura média (●) e no solo 9 de textura argilosa (○), em função do fornecimento de doses crescentes de calcário.....	17

### CAPITULO 3

Figura 1. Distribuição geográfica dos locais amostrados em seis municípios do Estado do Amazonas. ....	29
Figura 2. Relação entre a necessidade de calagem pelo método da incubação e o pH SMP, nos solos para valor de pH em água 5,5 (a), pH em água 6 (b) e pH em água 6,5 (c).....	32
Figura 3. Relação entre acidez potencial (H + Al) extraídos com acetato de cálcio e pH SMP, nos solos estudados.....	33

# SUMÁRIO

RESUMO.....	1
ABSTRACT.....	2
CAPITULO 1. INTRODUÇÃO GERAL .....	3
CAPITULO 2. REQUERIMENTO DE CALAGEM PARA ALGUNS SOLOS DO ESTADO DO AMAZONAS.....	6
1. INTRODUÇÃO.....	7
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	8
2.1. Seleção de solos .....	8
2.2. Caracterizações químicas e granulométricas dos solos estudados.....	8
2.3. Estudo de incubação.....	9
2.4. Estimativa da necessidade de calagem.....	9
2.5. Efeito de doses pré-definidas pela curva de incubação no rendimento de milho e feijão.....	10
3. RESULTADOS.....	11
3.1. Atributos químicos do solo .....	11
3.2. Avaliação do requerimento de calagem .....	12
3.3. Rendimento das culturas .....	16
3.4. Acúmulo de nutrientes na parte aérea das culturas .....	17
4. DISCUSSÕES.....	19
4.1. Atributos químicos do solo .....	19
4.2. Efeito da calagem nos atributos químicos dos solos.....	19
4.3. Resposta das culturas ao requerimento de calagem .....	20
5. CONCLUSÕES.....	21
6. REFERÊNCIAS.....	21
CAPITULO 3: CALIBRAÇÃO DO MÉTODO SMP PARA RECOMENDAÇÃO DE CALAGEM E ESTIMATIVA DA ACIDEZ POTENCIAL EM ALGUNS SOLOS DO ESTADO DO AMAZONAS.....	27
1. INTRODUÇÃO.....	27
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	29
2.1. Seleção de solos .....	29
2.2. Caracterizações químicas e granulométricas dos solos estudados.....	29
2.3. Calibração do método SMP para recomendação de calagem .....	30
2.4. Calibração do método SMP para estimar a acidez potencial .....	31
3. RESULTADOS.....	31
3.1. Calibração do método SMP para recomendação de calagem .....	31
3.2. Calibração do método SMP para estimar a acidez potencial .....	33
4. DISCUSSÕES.....	34
4.1. Recomendação de calagem pelo método SMP .....	34
4.2. Avaliação da acidez potencial pelo pH SMP .....	35
5. CONCLUSÕES.....	36
6. REFERÊNCIAS.....	36

RESUMO- Os solos de terra firme do estado do Amazonas caracterizam-se por apresentar pH e  $Al^{3+}$  em níveis que limitam o bom rendimento das culturas. Objetivou-se com o presente estudo, avaliar as modificações químicas nos solos em função da adição de diferentes níveis de calcário e estimar quantidades necessárias de corretivo para atingir pH agricultável. Utilizou-se um delineamento em blocos inteiramente casualizados, com três repetições. Os tratamentos foram constituídos de um fatorial 3 x 7, combinando três classes texturais (textura média, argilosa e muito argilosa) com sete doses de calcário (0; 1,0; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0 e 10 t ha<sup>-1</sup>). Após 56 dias de incubação, determinaram-se os valores de pH em água, este foi plotado versus doses de calcário e ajustados a modelos de regressão polinomial, para determinar a quantidade de calcário necessária para atingir os valores de pH 5,5; 6,0 e 6,5. Nessa época, determinaram-se os teores de  $Al^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , K e H+Al e a partir desses valores calculou-se o índice de saturação por bases (V%). A eficiência da recomendação de calagem pelo método da curva de incubação foi avaliada em experimentos conduzidos em casa de vegetação por meio do efeito de diferentes doses de calcário na produção de MSPA e MSR nas culturas do milho e feijão. Os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado num esquema fatorial 2 x 7, combinando dois solos (Argissolo e Latossolo) e sete doses de calcário (0; 1,0; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0 e 10 t ha<sup>-1</sup>), com quatro repetições. Os dados de MSPA, MSR e conteúdo de P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn e Cu na parte aérea das plantas, foram ajustados a modelos de regressão e posteriormente estimadas as doses de calcário, correspondentes à MEE. Os solos estudados revelaram altos índices de significância com a necessidade de calcário para elevar o pH dos solos, sendo as doses de 0,3; 2,2 e 4,0; 2,6; 4,4 e 6,1; 2,2; 4,0 e 5,8 t ha<sup>-1</sup> de calcário nos solos de textura média, argilosa e muito argilosa são recomendadas para atingirem o pH 5,5; 6,0 e 6,5, respectivamente. A recomendação de 1,5; 2,6 e 2,2 t ha<sup>-1</sup> foi suficiente para reduzir o  $Al^{3+}$  e as doses de 3,7; 4,7 e 4,6 t ha<sup>-1</sup> elevando a saturação por bases a níveis adequados para o desenvolvimento das culturas, correspondendo a pH em água em torno de 6,3; 6,0 e 6,5 nos solos de textura média, argilosa e muito argilosa, respectivamente. As quantidades de calcário correspondente ao máximo rendimento econômico de MSPA e MSR tanto no milho quanto no feijão aproximam-se da quantidade recomendada pelo método da curva de incubação necessária para atingir o pH aceitáveis para cultivo e essas doses não reduziram abaixo do teor de deficiência a absorção durante os 60 dias de cultivo.

Palavras-chave: necessidade de calagem, pH do solo, método da incubação, análise de solo, solução tampão SMP.

ABSTRACT- Upland soils Amazonas state is characterized by having pH and  $\text{Al}^{3+}$  at levels that limit the good yields. The objective of this study was to evaluate the chemical changes in function in soils of the addition of different levels of limestone and estimate quantities needed corrective to reach pH arable. We used a completely randomized block design with three replications. The treatments consisted of a factorial  $3 \times 7$  by matching three textural classes (medium texture, clay, and much clay) with seven levels of limestone (0, 1.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8, 0 to 10 t ha<sup>-1</sup>). After 56 days of incubation, the pH values were determined in water; this was plotted versus liming and adjusted polynomial regression models, to determine the quantity of lime necessary to achieve pH 5.5; 6.0 and 6.5. At that time, it was determined the  $\text{Al}^{3+}$  content,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , K and H + Al and from these values calculated the base saturation (V%). The efficiency of liming by incubation curve method was evaluated in experiments conducted in a greenhouse through the effect of different rates of lime in the production of MSPA and MSR in the corn and bean crops. The treatments were arranged in a completely randomized design in a factorial  $2 \times 7$ , combining two soil (Ultisol and Oxisol) and seven levels of limestone (0, 1.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 and 10 t ha<sup>-1</sup>), with four replications. The data MSPA, MSR and content of P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn and Cu in the shoots were adjusted regression models and then estimated the limestone, corresponding to the ESM. The soil showed high significance indices with the amount of lime to raise the pH of the soil, and the levels of 0.3; 2.2 and 4.0; 2.6; 4.4 and 6.1; 2.2; 4.0 and 5.8 t ha<sup>-1</sup> of lime in medium textured soils, clayey and much clayey are recommended to achieve the pH 5.5; 6.0 and 6.5, respectively. The recommendation of 1.5; 2.6 to 2.2 t ha<sup>-1</sup> was sufficient to reduce  $\text{Al}^{3+}$  and the doses of 3.7; 4.7 and 4.6 t ha<sup>-1</sup> increasing the saturation to levels appropriate for crop development, corresponding to water pH around 6.3; 6.0 and 6.5 in medium textured soils, clayey and much clayey, respectively. The quantities of limestone corresponding to maximum economic yield MSPA and MSR both corn as the beans are close to the amount recommended by the method of incubation curve required to achieve the pH acceptable for cultivation and these doses have not reduced below the deficiency of the content absorption during the first 60 days of cultivation.

Keywords: Lime requirement, soil pH, incubation method, soil analysis, SMP buffer.

## CAPITULO 1. INTRODUÇÃO GERAL

Em muitas áreas do extremo norte do Brasil, o baixo rendimento agrícola está estreitamente relacionado com a acidez dos solos, fator que caracterizam solos com condições desfavoráveis ao bom desempenho das culturas. Em solos ácidos, a baixa concentração de cátions básicos, especialmente cálcio e magnésio, e a toxidez de alumínio e manganês afeta o crescimento radicular e a absorção de água e nutrientes pelas plantas, causando a redução no rendimento das culturas (Abruña-Rodriguez et al., 1970; Tang et al., 2003). A acidez dos solos pode ser resultado de ações antropogênicas, como a utilização em excesso de fertilizantes nitrogenados acidificantes (baseado em amônio), ou causas naturais como em regiões que a precipitação é maior que a evapotranspiração, responsável pela lixiviação de bases no perfil do solo (Fageria e Gheyi, 1999). Em regiões como o Amazonas, onde a precipitação é elevada, predominam solos onde a ação do intemperismo é mais intensa, como os Latossolos e Argissolos distróficos, geralmente solos ácidos com baixa fertilidade natural e baixa CTC (Rodrigues et al., 1971; Marques et al., 2002; Ferreira, 2006). Para a incorporação desses solos ao processo produtivo, a calagem é a prática de manejo mais comum, pois reduz a toxidez de alumínio e melhora o ambiente radicular, aumentando a eficiência na aplicação de nutrientes e beneficiando o crescimento e rendimentos das culturas (Farina et al., 2000; Singha, 2006; Caires et al., 2011).

Muitos estudos têm apresentado que a calagem eleva o pH do solo e reduz a toxidez de Al e Mn (Tsadilas, 2000), assim, criando condições que favorecem o melhor rendimento das culturas, como relatado para as culturas de feijão (Barbosa Filho e Silva, 2000), milho (Fageria, 2001) e trigo (Tang et al., 2003). Embora, os muitos resultados positivos, ressalta-se que a resposta a esta técnica é dependente de muitos fatores, tais como o tipo de solo, a espécie ou cultivar e dose utilizada (Paula et al., 1991), fato que pode conduzir a resultados contrastantes quanto ao uso dessa tecnologia. Dentro do fator solo, subfatores como teores de matéria orgânica (Kumar et al., 2012), e argila (Pagani e Mallarino, 2012) possuem estreita relação com a necessidade de calagem. Em estudo com a variabilidade dos atributos de acidez do solo e necessidade de calagem para o café, Santos et al. (2014) verificaram alta correlação do conteúdo de matéria orgânica com o requerimento de calagem.

Nesse sentido, a utilização de estimativa de calcário, baseado em métodos calibrados para outra região pode levar a manejos errôneos, podendo acarretar em prejuízos como deficiência micronutrientes catiônicos (Heckman et al., 2002; Steiner et al., 2009), devido à aplicação excessiva de corretivo. Foloni et al. (2008) observaram que doses elevadas de calcário afetaram negativamente a produção de matéria seca do feijoeiro; comportamento semelhante foram observados para a cultura de soja (Fageria, 2001) e do milho (Caires et al., 2004). Por outro lado, resultados negativos devido à ausência de aplicação ou uso de subdoses de calcário tem sido bastante comuns em solos brasileiros.

Vários métodos têm sido testados para recomendação de calagem no Brasil, entre os principais destacam-se: curva de incubação, solução tampão (SMP), saturação por bases, neutralização do  $Al^{3+}$  e elevação dos teores de cálcio e magnésio (Fazio, 1979; Souza et al., 1989; Lopes et al., 1990; Vasconcellos et al., 1994; Alvarez e Ribeiro, 1999; Quaggio, 2000; Fullin, 2001; Campanharo et al., 2007). A maioria das regiões da federação ter realizado estudos visando selecionar métodos para recomendação da calagem, Fazio (1979) para região Sul e Sudeste; Rajj et al. (1979) para o estado de São

Paulo; Ernani e Almeida (1986) para o estado de Santa Catarina; Souza et al. (1989) para solos cerrados; Vasconcelos et al. (1994) para o estado de Minas Gerais; Campanharo et al. (2007) para a Zona da Mata de Pernambuco; Ferreira et al. (2007) para o cerrado de Roraima. No estado do Amazonas não há nenhuma recomendação oficial de calagem, atualmente a recomendação tem sido feita com base na extrapolação de informações de métodos calibrados para outras regiões. Diante disso, é provável que a seleção de doses de calcário por meio de um método de alta acurácia e testado localmente, possa contribuir para o uso mais racional tanto do solo quanto de calcário nessa região.

Entre as principais metodologias para recomendação de calcário, o método da curva de incubação que permite simular as condições naturais do solo durante o período de incubação do mesmo com doses crescente de calcário (Raij e Batablia, 1991). Com a determinação dos índices de acidez (pH, Al, %Al, %V) são elaboradas curvas de neutralização a partir da qual será determinada a dosagem de calcário necessário para atingir o critério de tomada de decisão de calagem no solo desejado (Raij e Quaggio, 1997; Quaggio, 2000). Deste modo, em função de sua maior confiabilidade é considerado como padrão, portanto, indicado para calibração dos demais métodos (Quaggio, 2000). Porém, apesar de sua precisão não é utilizado como rotina, tendo em vista o tempo prolongado de sua realização, sendo necessária a calibração de métodos rápidos e eficientes em estimar o requerimento de calagem.

Em diversos países, e muitos estados do extremo sul do Brasil, a solução tampão SMP, descrito por Shoemaker et al. (1961) tem sido muito estudado para determinar a quantidade de corretivos a adicionar ao solo (Souza et al., 1989; Wiethölter, 2002). Por ser considerado um método barato, rápido, preciso e de elevada correlação com os valores da necessidade de corretivos obtidos na incubação do solo (Kaminski, 1974; Quaggio, 1983). A vantagem principal do procedimento é que a necessidade de calagem pode ser obtida somente das medidas de pH do solo e do pH SMP (Raij, 1991). Assim, com os resultados do pH SMP e a necessidade de corretivo, são elaboradas tabelas para a recomendação de calagem conforme as necessidades das culturas (Ernani e Almeida 1986; Raij et al. 2001; Pöttker, 2002). Fazendo um estudo comparativo dos critérios de avaliação da necessidade de solos do Estado de São Paulo, Freitas; Pratt e Vettori (1968) mostraram haver boa correlação entre os métodos de estimar a necessidade de calagem. Souza et al. (1997) adaptou o método para o cerrado do Centro-Oeste do Brasil e mostrou que ele é comparável ao uso do critério de saturação em bases para alcance de 50% e pH 6,0. Comparando o método SMP com outros critérios de recomendação de calagem, Ferreira et al. (2007) obteve resultados dentro do esperados por outros métodos, entretanto, é mais simples, rápido, barato e facilmente adaptável à análise de rotina de solos para fins de correção de sua fertilidade.

Somando-se as vantagens do método SMP, embora tenha sido inicialmente desenvolvido para a determinação da necessidade de calagem (Shoemaker et al., 1961), no Brasil vários estudos foram realizados utilizando a solução tampão SMP para estimar a acidez potencial (Souza et al., 1980; Freitas et al., 1986; Pereira et al., 1998; Sambatti et al., 2003; Silva et al., 2006) visando substituir, na análise de rotina, o método de determinação dos teores de H+Al utilizando a solução de acetato de cálcio a pH 7,0. Raij et al. (1979) observaram estreita correlação entre os valores do pH da solução tampão SMP e os teores de H+Al determinados pela extração com acetato de cálcio, sugerindo a possibilidade de se determinar a acidez potencial por meio da medida do pH de equilíbrio da solução tampão SMP com o solo. Contudo, é necessário dispor de

regressões que relacionem o teor de H+Al com o pH da solução SMP; além disso, segundo Quaggio et al. (1985) essas regressões devem ter uma abrangência regional, em virtude das variações encontradas entre tipos de solo. Fato justificado, observando o trabalho de Nascimento (2000) ao comparar as equações obtidas para outros estados como São Paulo (Quaggio, 1983), região dos cerrados (Souza et al., 1989), Rio de Janeiro (Pereira et al., 1998), Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Escosteguy e Bissani, 1999) com a obtida para o estado de Pernambuco, verificando tais equações superestimariam as quantidades de H+Al encontradas nos solos desse estado.

Diante do exposto, o objetivo geral deste trabalho foi gerar informações da necessidade de calagem de solos do Estado do Amazonas, corrigindo os fatores limitantes desses solos e, conseqüentemente aumentando o rendimento das culturas na região. Além disso, pretende-se ajustar e avaliar método prático e de maior precisão para estimar a acidez potencial, podendo ser utilizado como rotina, em laboratórios de análise de solo. Para isso, o trabalho propõe dois estudos: um para avaliar a aplicação de níveis de calcário sobre as características químicas dos solos e conseqüentemente no rendimento das culturas (Capítulo 2); e outro, para calibrar o método SMP para requerimento de calagem e estimativa da acidez potencial (Capítulo 3). Os objetivos específicos para o Capítulo 2 são: 1) avaliar as modificações químicas nos solos em função da adição de diferentes níveis de calcário, e 2) estimar quantidades necessárias de corretivo para atingir pH agricultável. Para o Capítulo 3 os objetivos específicos são: 1) calibrar o método SMP para recomendação de calagem, e 2) calibrar o método SMP para estimativa da acidez potencial.

## CAPITULO 2. REQUERIMENTO DE CALAGEM PARA ALGUNS SOLOS DO ESTADO DO AMAZONAS

### RESUMO

BATISTA, Iza Maria Paiva. **Requerimento de calagem para solos do Estado do Amazonas.** Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM. Orientador: José Zilton Lopes Santos.

Os solos de terra firme do estado do Amazonas caracterizam-se por apresentar pH e alumínio trocável em níveis que limitam o bom rendimento das culturas. E, o calcário tem sido o material mais utilizado para amenizar essas restrições. Objetivou-se com o presente estudo, avaliar as modificações químicas nos solos em função da adição de diferentes níveis de calcário e estimar quantidades necessárias de corretivo para atingir pH agricultável. Utilizou-se um delineamento em blocos inteiramente casualizados, com três repetições. Os tratamentos foram constituídos de um fatorial 3 x 7, combinando três classes texturais (textura média, argilosa e muito argilosa) com sete doses de calcário (0; 1,0; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0 e 10 t ha<sup>-1</sup>). Após 56 dias de incubação, determinaram-se os valores de pH em água, este foi plotado versus doses de calcário e ajustados a modelos de regressão polinomial, para determinar a quantidade de calcário necessária para atingir os valores de pH 5,5; 6,0 e 6,5. Nessa época, determinaram-se os teores de Al<sup>3+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K e H+Al e a partir desses valores calculou-se o índice de saturação por bases (V%). A eficiência da recomendação de calagem pelo método da curva de incubação foi avaliada em experimentos conduzidos em casa de vegetação por meio do efeito de diferentes doses de calcário na produção de MSPA e MSR nas culturas do milho e feijão. Os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado num esquema fatorial 2 x 7, combinando dois solos (Argissolo e Latossolo) e sete doses de calcário (0; 1,0; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0 e 10 t ha<sup>-1</sup>), com quatro repetições. Os dados de MSPA, MSR e conteúdo de P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn e Cu na parte aérea das plantas, foram ajustados a modelos de regressão e posteriormente estimadas as doses de calcário, correspondentes à MEE. Os solos estudados revelaram altos índices de significância com a necessidade de calcário para elevar o pH dos solos, sendo as doses de 0,3; 2,2 e 4,0; 2,6; 4,4 e 6,1; 2,2; 4,0 e 5,8 t ha<sup>-1</sup> de calcário nos solos de textura média, argilosa e muito argilosa são recomendadas para atingirem o pH 5,5; 6,0 e 6,5, respectivamente. A recomendação de 1,5; 2,6 e 2,2 t ha<sup>-1</sup> foi suficiente para reduzir o Al<sup>3+</sup> e as doses de 3,7; 4,7 e 4,6 t ha<sup>-1</sup> elevando a saturação por bases a níveis adequados para o desenvolvimento das culturas, correspondendo a pH em água em torno de 6,3; 6,0 e 6,5 nos solos de textura média, argilosa e muito argilosa, respectivamente. As quantidades de calcário correspondente ao máximo rendimento econômico de MSPA e MSR tanto no milho quanto no feijão aproximam-se da quantidade recomendada pelo método da curva de incubação necessária para atingir o pH aceitáveis para cultivo e essas doses não reduziram abaixo do teor de deficiência a absorção durante os 60 dias de cultivo.

**Termos de indexação:** necessidade de calagem, pH do solo, método da incubação, análise de solo.

## 1. INTRODUÇÃO

Os solos de terra firme do Estado do Amazonas caracterizam-se por apresentar elevados teores de alumínio ativo ( $Al^{3+}$ ) e elevada acidez (Rodrigues et al., 1971; Vieira e Santos, 1987; Falcão e Silva, 2004; Ferreira et al., 2007), condições desfavoráveis ao bom desempenho das culturas agrícolas, ocasionando perdas e baixo retorno econômico aos produtores rurais da região. Nos solos ácidos, o baixo rendimento das culturas está relacionado à deficiência Ca, Mg, K e P, e a toxicidade de Al, Mn e H (Mesfin, 2007; Manoj-Kumar, 2011). A toxidez de Alumínio tem sido identificada em muitos estudos como maior limitante no rendimento das culturas, como na produção de biomassa de cacau por Baligar e Fageria (2005); no crescimento radicular de milho (Chaffai et al., 2005); de soja (Nolla et al., 2007); de trigo, cevada, canola e feijão fava em rotação anual (Farhoodi e Coventry, 2008); de feijoeiro (Silva et al., 2011); pinhão-manso (Macedo et al., 2011). Diante disso, há necessidade de correção da acidez desses solos para torná-los aptos à exploração agrícola, sendo a técnica da calagem aquela que apresenta maior potencial para que tal objetivo seja alcançado.

Efeitos positivos da calagem têm sido relatados em vários estudos como Caires et al. (2004) e Caires et al. (2008), que verificaram maior concentração foliar de N, K, Mg e Ca, redução da acidez do subsolo e maior produção do milho sob o sistema plantio direto. Outros resultados positivos da calagem foram observados nas culturas do feijão, milho e soja em rotação anual (Fageria, 2001); cultivo de milho e feijão em sistema de rotação (Bianchini e Mallarino, 2002); milho (Ernani et al., 2002); trigo (Tang et al., 2003); cana-de-açúcar (Rossetto et al., 2004; Singha, 2006); formação de mudas de maracujazeiro (Prado et al., 2004); cacau (Baligar e Fageria, 2005); goiabeira e carambola em produção (Natale et al., 2007;2008); floresta de pinus (Marschner e Wilczynski, 1991) e angelim pedra na fase inicial de crescimento (Sena et al., 2010). Provavelmente em função da elevação do pH do solo, redução da toxidez por Al e Mn, fornecimento de Ca e Mg e aumento na disponibilidade de nutrientes para as plantas (Tsadilas, 2000; Chimdi et al., 2012).

Apesar dessa constatação, a real necessidade de calagem para tornarem solos da região amazônica aptos à exploração agrícola, ainda é desconhecida. Diante disso, o conhecimento quanto à interação entre diferentes solos e níveis de calcário para essa região permitirá a calibração de métodos de recomendação de calagem confiáveis e possibilitará estimar com precisão a recomendação de calcário para os mesmos. Entre as principais metodologias para recomendação de calcário, destaca-se o método da curva de incubação, que permite simular as condições naturais do solo durante o período de incubação com doses crescente de calcário (Raij e Batablia, 1991). Esse método tem sido considerado como padrão, para calibração dos demais métodos (Quaggio, 2000) em função da sua maior confiabilidade.

Em diversas regiões do Brasil, vários estudos foram feitos visando selecionar métodos para recomendação da calagem, Fazio (1979) para região Sul e Sudeste; Raij et al. (1979) para o estado de São Paulo; Ernani e Almeida (1986) para o estado de Santa Catarina; Souza et al. (1989) para solos do cerrado; Vasconcellos et al. (1994) para o estado de Minas Gerais; Campanharo et al. (2007) para a Zona da Mata de Pernambuco; Ferreira et al. (2007) para o cerrado de Roraima. No estado do Amazonas, atualmente a recomendação de calagem tem sido feita com base na extrapolação de informações de métodos calibrados para outras regiões, o que pode comprometer o uso eficiente tanto dos solos quanto de insumos nessa região.

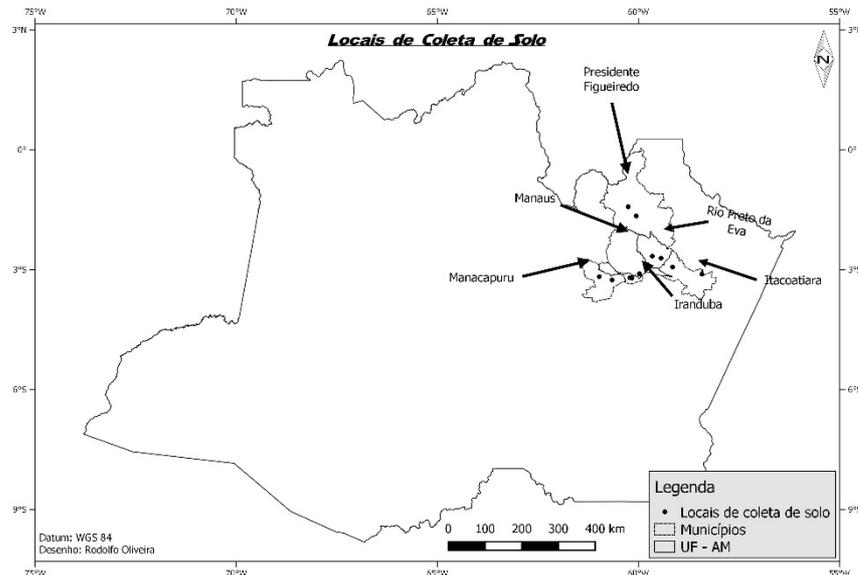
Vale ressaltar que a necessidade de calagem é condicionada pelas propriedades dos solos relacionada à acidez (Keeney e Corey, 1963; Rajj et al., 1984; Aitken et al., 1990; Kumar et al., 2012). Dentre essas, a capacidade de troca catiônica dos solos, que são na sua maioria determinada pelo conteúdo de matéria orgânica, teor e tipo de argila dos solos. Portanto, o requerimento de calcário nos solos com alta porcentagem, tanto de matéria orgânica quanto de argila, pode ser elevado (Husni et al., 1995; Pagani e Mallarino, 2012). Além disso, para uma boa estimativa da necessidade de calcário é necessário correlacionar os fatores que contribuem com a acidez com a quantidade de calcário a ser aplicada e, como estes influenciam no rendimento das plantas.

Diante exposto, objetivou-se com o presente estudo, avaliar as modificações químicas nos solos em função da adição de diferentes níveis de calcário e estimar quantidades necessárias de corretivo para atingir pH agricultável.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Seleção de solos

Utilizaram-se amostras de 13 solos, coletados na camada superficial de 0-20 cm de profundidade, em seis municípios do Estado do Amazonas: sendo dois solos em Manacapuru, dois em Presidente Figueiredo, dois em Itacoatiara, dois em Iranduba, dois em Rio Preto da Eva e três em Manaus (Figura 1). A seleção dos locais foi feita procurando abranger ampla faixa de solos que já vem sendo explorados com fins agrícolas na região. A coleta foi efetuada em único ponto, sob vegetação nativa (floresta ombrófila aberta), onde os solos estavam mais preservados e mantinham suas características físicas e químicas originais.



**Figura 1.** Distribuições geográficas dos locais amostrados em seis municípios do Estado do Amazonas.

### 2.2. Caracterizações químicas e granulométricas dos solos estudados

Após a coleta, as amostras de solos foram destorroadas, homogeneizadas, secas à sombra e subamostras foram passadas em peneira de 2,0 mm de abertura para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA) e posteriormente submetida a análises químicas: pH em

água (Schofield e Taylor, 1955); alumínio trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ) (Mclean et al., 1958); cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) extraído pela solução  $\text{NH}_4\text{Cl}$  1M (Shuman e Duncan, 1990); fósforo (P) e potássio (K) disponível (Mehlich, 1953); acidez potencial (H+Al) (Shoemaker et al., 1961); fósforo remanescente (P-rem) (Alvarez e Fonseca 1990); zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn) e cobre (Cu) disponível (Lindsay e Norvell, 1978); boro (B) disponível (Hatcher e Wilcox, 1950) e enxofre (S) disponível (Fox et al., 1987); matéria orgânica do solo (Walkey e Black, 1934) e a análise granulométrica pelo método Bouyoucos (1927). Posteriormente à caracterização granulométrica, os solos foram agrupados segundo a amplitude textural em: textura média, textura argilosa e textura muito argilosa.

### 2.3. Estudo de incubação

O estudo foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Engenharia Agrícola e Solos da Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Utilizaram-se amostras de solo secas ao ar, homogeneizadas e passada em peneira de 4 mm de abertura. Posteriormente as amostras foram acondicionadas em vasos plásticos de polietileno, sem poro de drenagem, com capacidade de  $1 \text{ dm}^3$  e colocadas para incubação com doses de calcário segundo método proposto por Dunn (1943).

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. Os tratamentos foram constituídos de um fatorial  $3 \times 7$ , combinando três classes texturais (textura média, argilosa e muito argilosa) com sete doses de calcário (0; 1,0; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0 e  $10 \text{ t ha}^{-1}$ ). O calcário utilizado foi obtido pela mistura de  $\text{CaCO}_3 + 4\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (p.a.) na relação estequiométrica Ca:Mg de 3:1. A escolha das doses foi baseada em ensaios prévios com solos dessa região.

O calcário foi adicionado ao solo seco em sacolas plásticas de 5 kg e foram vigorosamente agitados, de forma manual, por dois minutos. Em seguida, o solo foi umedecido com água deionizada em aproximadamente 70% da capacidade de campo, sendo esta umidade mantida durante o período de incubação por meio de pesagem diária dos vasos.

Para a determinação da estabilidade do pH, foram coletados semanalmente 50g de solos e analisados pH em água na relação solo/solução de 1:2,5, em todas as unidades experimentais. Após atingir o pH de equilíbrio (56 dias de incubação), as amostras de solos foram coletadas, seca a sombra, destorroadas e passadas em peneiras de 2 mm de abertura para obtenção TFSA e submetidas as análises químicas: pH em água,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , K e H+Al em acetato de cálcio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  a pH 7,0 de acordo com metodologias descritas no item 2.2; além disso, foram estimadas a soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica total (T) e saturação por bases (V).

### 2.4. Estimativa da necessidade de calagem

Os valores finais do pH em água foi plotado *versus* doses de calcário e ajustados a modelos de regressão polinomial. Os modelos de regressão foram escolhidos pela significância (5% de probabilidade pelo teste de F) e pelo maior coeficiente de determinação. A partir das equações de regressão ajustadas, estimou-se a quantidade de calcário necessária para atingir os valores de pH desejados (5,5; 6,0 e 6,5) em cada classe textural. Posteriormente foram estimados os teores de  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , H + Al e os valores de saturação por bases (V) correspondentes ao pH 6,0 por meios de equações.

## 2.5. Efeito de doses pré-definidas pela curva de incubação no rendimento de milho e feijão.

Com a finalidade de aferir as doses de calcário recomendadas pela curva de incubação foram conduzidos, concomitantemente dois experimentos, um com milho e outro com feijão em condições de casa de vegetação no Departamento de Engenharia Agrícola e Solos da Universidade Federal do Amazonas, no período de outubro a dezembro de 2013. Entre os treze tipos de solo utilizados na curva de incubação, para esse estudo foi selecionado apenas um Argissolo Vermelho Amarelo de textura média (solo 4) e um Latossolo Amarelo Distrófico argiloso (solo 9), por serem de maior representatividade na região (Marques et al., 2002; Ferreira, 2006). O estudo foi conduzido em vasos plásticos de polietileno sem orifícios de drenagem e com capacidade para 3 dm<sup>3</sup>.

Para cada experimento, os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado num esquema fatorial 2 x 7, combinando dois solos (S4 e S9) e sete doses de calcário (0; 1,0; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0 e 10 t ha<sup>-1</sup>), com quatro repetições. O calcário utilizado foi obtido de uma mistura de CaCO<sub>3</sub> + 4MgCO<sub>3</sub>.Mg(OH)<sub>2</sub>.5H<sub>2</sub>O (p.a) na relação estequiométrica Ca:Mg de 3:1. Após a aplicação do calcário, o solo foi incubado por 30 dias.

Após a incubação das doses de calcário, realizou-se em todas as parcelas uma adubação básica, conforme recomendação adaptadas de Allen et al. (1976) e Malavolta (1980), com macro e micronutrientes e balanceadas para que somente as doses de calcário variassem. Esta foi constituída de 100 mg de N; 350 mg de P; 73,3 mg de K; 50 mg de S; 4,5 mg de Zn; 1,4 mg de Cu; 3,5 mg de Mn; 0,6 mg de B; 0,15 mg de Mo por dm<sup>3</sup>. Essa adubação foi feita com reagentes p.a. uréia, fosfato diamônio, fosfato de potássio, sulfato de amônio, sulfato de zinco, sulfato de cobre, sulfato de manganês, ácido bórico e molibdato de amônio, na forma de solução, e após o seu fornecimento o solo foi novamente incubado por 25 dias.

Após o período de incubação, procederam-se à semeadura de seis sementes de milho híbrido simples “DKB 390” e feijão cultivar “Pérola” por vaso, 10 dias após emergência foram efetuados desbastes, deixando apenas duas plantas por vaso, respectivamente. Todas as unidades experimentais receberam doses de 100 mg N dm<sup>3</sup>, aos 20, 30 e 40 dias após o semeio e 73,3 mg K dm<sup>3</sup>, aos 20 e 30 dias após o semeio. Durante as fases de incubação e a condução do experimento, a umidade foi mantida em torno de 60 % do volume total de poros, por meio de pesagem diária dos vasos e adição de água deionizada.

Aos 60 dias após o semeio, as plantas foram colhidas, separando-as em parte aérea (folhas + ramos + caule) e raízes. As diferentes partes foram lavadas em água deionizada e secas em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de 70°C até atingirem massa constante. Após a secagem foi determinada a massa da matéria seca da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR), que em seguida foram moídas em moinho tipo Willey e analisadas quimicamente quanto aos elementos P, K, Ca, Mg, Mn, Zn, Cu e Fe. Sendo o preparo do extrato e determinação analítica dos nutrientes realizados conforme Malavolta et al. (1997). Com base nos teores de nutrientes e na produção de MSPA foi calculado o acúmulo de nutrientes na parte aérea das plantas.

Os dados obtidos foram testados quanto a distribuição pelo método de Shapiro-Wilk ( $P < 0,05$ ) e posteriormente submetidos à análise de variância utilizando o programa Sistema para Análises Estatísticas – SISVAR 5.3 (Ferreira, 2011). Quando o F foi significativo ( $P < 0,05$ ), os dados de MSPA e MSR foram submetidos ao teste de Tukey

para comparar o efeito das diferentes classes texturais e posteriormente ajustados a modelos de regressão polinomial, para comparar o efeito dos diferentes níveis de calcário. As variáveis que ajustaram a um modelo de regressão linear adotou-se como produção máxima de MSPA e MSR aquela obtida com a maior dose de calcário.

Os critérios para escolha dos modelos de regressão foram maior coeficiente de determinação, significância dos coeficientes de regressão até 5% de probabilidade pelo teste de F e significado biológico do modelo. A partir das equações obtidas para produção de matéria seca e conteúdo de nutrientes na parte aérea, foram estimadas as doses de calcário, correspondentes à máxima eficiência econômica (MEE), que neste estudo foi considerado como 90% da máxima eficiência física (MEF).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Atributos químicos do solo

De acordo com os resultados e interpretação feita conforme a CFSEMG (1999), os solos estudados apresentaram valores de pH em H<sub>2</sub>O entre de 3,9 a 4,7; teores de Al<sup>3+</sup> entre 0,8 a 1,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, saturação por Al (m) entre 63,2 a 88,7% e capacidade de troca cátions total (T) acima de 9,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, exceto para o solo 2 e 4. Além disso, foram observados teores extremamente baixos dos cátions de caráter básico: Ca, Mg e K, consequentemente os valores de saturação por bases (V) estavam muito baixo, encontrando na faixa de 1,8 a 7,9% (Tabela 1).

**Tabela 1.** Atributos químicos e granulométricos dos 13 solos utilizados no estudo, 0-20 cm de profundidade.

Solo	pH (H <sub>2</sub> O)	P	K	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Al <sup>+3</sup>	H+Al	T	T	V	m	Argila	M.O
1	4,2	45,0	16,0	0,2	0,1	1,4	9,8	1,7	10,2	3,4	80,5	190,0	27,4
2	4,4	1,4	8,0	0,1	0,1	0,8	4,0	1,0	4,3	5,2	78,4	220,0	11,8
3	4,1	2,3	10,0	0,1	0,1	1,4	10,9	1,6	11,2	2,0	85,9	220,0	24,8
4	4,4	2,0	9,0	0,1	0,1	1,3	6,3	1,5	6,5	3,7	84,3	232,0	14,0
5	4,4	3,2	16,0	0,2	0,1	1,4	9,8	1,7	10,2	3,4	80,5	360,0	26,1
6	4,2	1,4	8,0	0,1	0,1	1,2	8,8	1,4	9,0	2,4	84,5	360,0	18,7
7	4,1	2,0	12,0	0,1	0,1	1,8	12,3	2,0	12,5	1,8	88,7	360,0	28,7
8	4,0	2,6	12,0	0,1	0,1	1,6	10,9	1,8	11,2	2,1	87,4	390,0	24,8
9	3,9	2,9	14,0	0,2	0,1	1,4	9,8	1,7	10,2	3,3	80,5	550,0	18,7
10	3,9	2,3	8,0	0,1	0,1	1,6	8,8	1,8	9,0	2,4	87,9	570,0	21,1
11	4,7	5,8	20,0	0,8	0,2	1,8	12,3	2,8	13,3	7,9	63,2	620,0	32,8
12	4,1	2,6	10,0	0,2	0,1	1,2	8,8	1,5	9,1	3,6	78,4	670,0	16,4
13	4,1	2,0	10,0	0,0	0,1	1,2	8,8	1,4	9,0	2,5	83,9	740,0	21,1

Manacapuru: solo 5 e 11; Presidente Figueiredo: solo 2 e 13; Itacoatiara: solo 6 e 7; Iranduba: solo 3 e 8; Rio Preto da Eva: solo 10 e 12; Manaus: solo 1, 4 e 9. M.O: matéria orgânica.

Em relação aos atributos matéria orgânica, acidez potencial e textura, considerados por Keeney e Corey (1963), Raij et al. (1984), Aitken et al. (1990) e Husni et al. (1995) como aqueles que tem relação mais estreita com a necessidade de calagem. Nota-se que, os solos apresentaram teores considerados baixos a médio de matéria orgânica, a acidez potencial variou entre 4,1 a 12,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, estando a maioria dos solos na faixa de alta

acidez potencial (CFSEMG, 1999); com relação a textura, conforme Embrapa (2006), quatro solos apresentaram textura média, seis textura argilosa e três textura muito argilosa (Tabela 1).

### 3.2. Avaliação do requerimento de calagem

Não houve efeito significativo ( $P < 0,05$ ) da interação dos fatores classe textural e doses de calcário no pH dos solos avaliados. Porém, tanto a classe textural quanto os níveis de calcário afetaram isoladamente o pH do solo.

Em relação ao efeito da classe textural na necessidade de calcário, verifica-se que os solos de textura argilosa requer uma maior quantidade de calcário em relação aos demais para atingir determinado valor de pH. Por outro lado, a menor necessidade de calcário foi observado para os solos de textura média (Tabela 2).

**Tabela 2.** Necessidade de calcário para atingir o pH 5,5; 6,0 e 6,5 nos solos estudados em função da classe textural, após incubação por 56 dias.

Classe textural	Necessidade de Calagem (t ha <sup>-1</sup> de calcário)		
	pH 5,5	pH 6,0	pH 6,5
Média	0,3	2,2	4,0
Argilosa	2,6	4,4	6,1
Muito argilosa	2,2	4,0	5,8

É importante ressaltar que não houve uma estreita relação entre os teores de argila e a necessidade de calagem, principalmente quando são comparados os solos de textura argilosa com aqueles de textura muito argilosa.

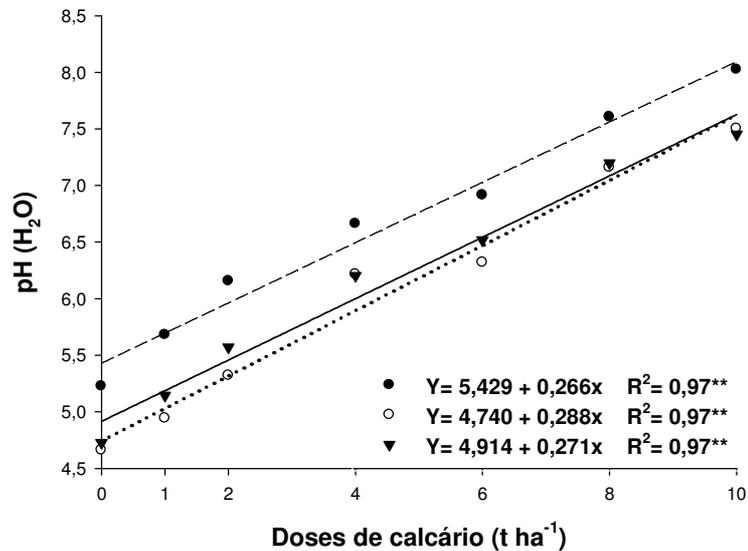
Levando em consideração apenas o pH 6,0 como sendo aquele considerado adequado para o bom desenvolvimento da maioria das culturas (Malavolta, 1989; Fageria e Zimmermann, 1998), nota-se que a classe textural afetou significativamente apenas os atributos Al<sup>3+</sup> e H+Al enquanto que nessa faixa de pH os teores de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e V não foram afetados pela classe textural (Tabela 3). Observa-se que no pH 6,0 os menores valores de Al<sup>3+</sup> e H+Al foram observados na classe textura média.

**Tabela 3.** Alumínio trocável (Al<sup>3+</sup>), acidez potencial (H + Al), cálcio (Ca<sup>2+</sup>), magnésio (Mg<sup>2+</sup>) e saturação por bases (V) em função da classe textural, na condição de pH 6,0.

Classe textural	Al <sup>3+</sup>	H+Al	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	V
	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				--%--
Média	0,26c	2,95b	1,95 <sup>a</sup>	1,80a	86,24a
Argilosa	0,50a	4,47 <sup>a</sup>	2,29 <sup>a</sup>	2,01a	84,67ab
Muito argilosa	0,37b	4,77 <sup>a</sup>	2,13 <sup>a</sup>	1,86a	83,93b
C.V.	54,34**	35,38**	45,97 <sup>ns</sup>	42,49 <sup>ns</sup>	6,29 <sup>ns</sup>

\*\*significativo a  $P < 0,01$ ; ns: não significativo a  $P < 0,05$ .

Quanto ao efeito dos níveis de calcário no comportamento do pH dos solos nas respectivas classes texturais, observa-se que os valores de pH foram afetados de maneira positiva e de forma linear com o fornecimento de doses crescentes de calcário, independente da classe textural (Figura 2).

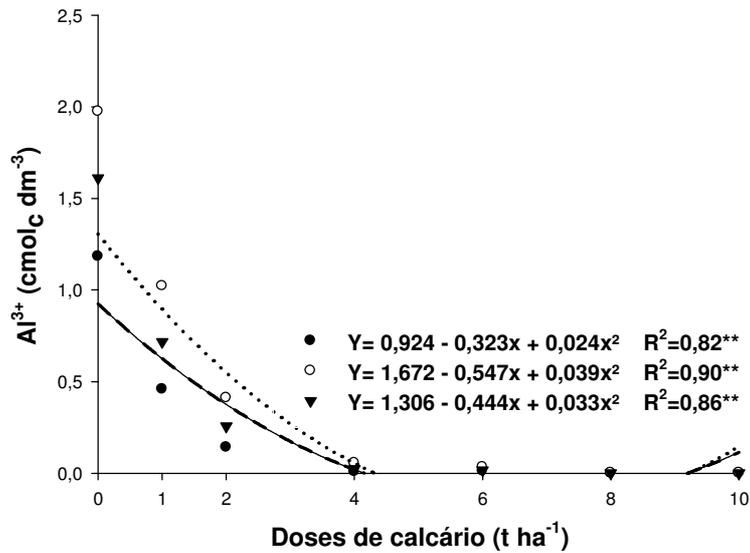


**Figura 2.** Valores de pH em água nos solos de textura média (●), argilosa (○) e muito argilosa (▼), em função do fornecimento de doses crescentes de calcário.

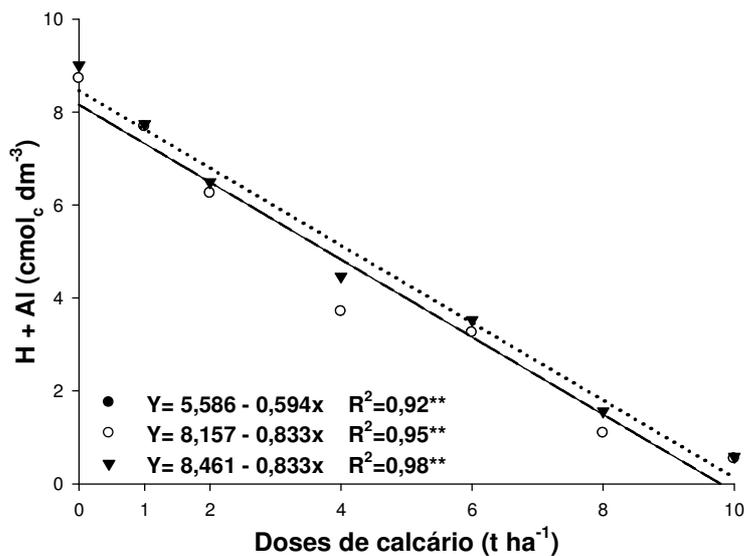
Apesar de haver semelhança de comportamento dos coeficientes angulares observados isoladamente (Figura 2) com o coeficiente angular de todos os solos agrupados (dados não apresentados), sugerindo que o comportamento do pH nesses solos em função da adição de corretivos, podem ser explicados por uma única equação. É importante ressaltar que houve expressivo efeito da classe textural na recomendação de calagem para solos dessa região, como observado na tabela 2.

De modo geral, para cada tonelada de calcário adicionada aos solos de textura média e muito argilosa, há uma variação de 0,27 unidades de pH (Figura 2), no entanto, a necessidade de calcário para atingir valores de pH de 5,5; 6,0 e 6,5 situaram-se em torno de 0,3; 2,2 e 4,0 t ha<sup>-1</sup> para solos de textura média e 2,2; 4,0 e 5,8 t ha<sup>-1</sup> para os solos de textura muito argilosa, respectivamente. Por outro lado, nos solos de textura argilosa há uma mudança de 0,29 unidades de pH para cada tonelada de calcário adicionada ao solo (Figura 2), enquanto que as doses de corretivo necessárias para atingir o pH 5,0; 6,0 e 6,5 é de aproximadamente 2,6; 4,4 e 6,1 t ha<sup>-1</sup>. Em relação aos atributos Al<sup>3+</sup> e H+Al, estes foram influenciados negativamente pelo aumento das doses de calcário aplicadas, sendo que os teores de Al reduziram de forma curvilínea (Figura 3) enquanto os valores de H+Al decresceram linearmente (Figura 4) com o fornecimento de níveis crescentes de calcário. Sendo a magnitude de redução do H+Al maior quando comparado com a diminuição dos teores de Al<sup>3+</sup>, independente da classe textural.

Considerando que os teores de Al trocável no solo considerados aceitáveis devem estar em torno ou abaixo de 0,5 cmolc dm<sup>-3</sup> (CFSEMG, 1999), nota-se que essa condição pode ser alcançada adicionando o equivalente a 1,5; 2,6 e 2,2 t ha<sup>-1</sup> de calcário nos solos de textura média, argilosa e muito argilosa, respectivamente.

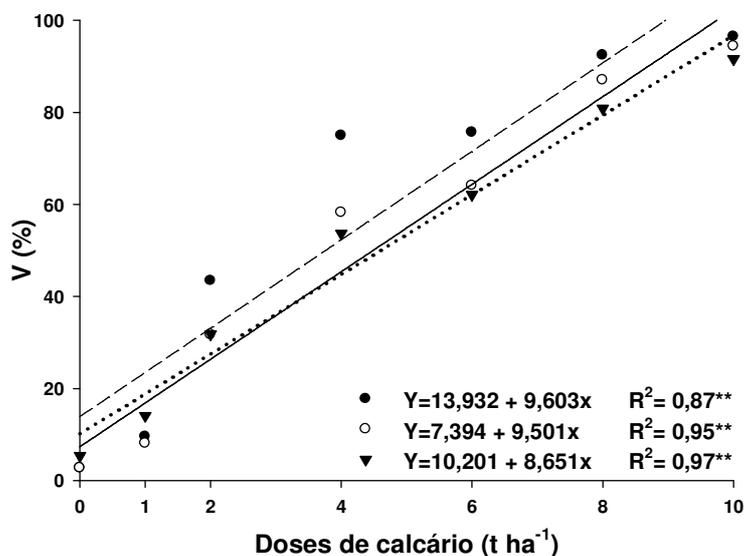


**Figura 3.** Valores de alumínio trocável ( $Al^{3+}$ ) nos solos de textura média (●), argilosa (○) e muito argilosa (▼), em função do fornecimento de doses crescentes de calcário.



**Figura 4.** Valores de acidez potencial (H + Al) nos solos de textura média (●), argilosa (○) e muito argilosa (▼), em função do fornecimento de doses crescentes de calcário.

Por outro lado, os valores de saturação por bases nas respectivas classes texturais, foram influenciados positivamente e de maneira linear com o fornecimento de doses crescentes de calcário (Figura 5). De modo semelhante ao observado no atributo pH do solo, a saturação por bases respondeu de forma positiva e linear ao fornecimento de doses de calcário, tanto nas classes texturais isoladas (Figura 5) quanto na forma de dados agrupados (dados não apresentados).



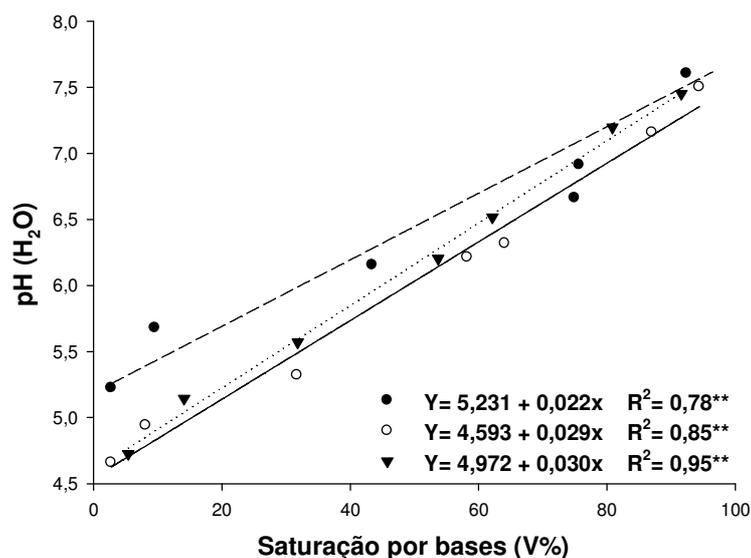
**Figura 5.** Valores de saturação por bases (V%) nos solos de textura média (●), argilosa (○) e muito argilosa (▼), em função do fornecimento de doses crescentes de calcário.

No entanto, considerando que as culturas têm exigências diferenciadas quanto a saturação por bases, as doses de calcário necessária para alcançar valores de V% equivalentes a 50, 60 e 70%, seriam variável para cada classe textural, como observado na tabela 4. Sugerindo que este atributo não pode ser negligenciado na recomendação de calagem para esses solos.

**Tabela 4.** Doses de calcário estimadas para atingir valores de saturação por bases (V%) equivalentes a 50, 60 e 70%, nos solos incubados após 56 dias.

Classe textural	(V%)		
	50	60	70
Dose de calcário (t ha <sup>-1</sup> de calcário)			
Média	3,7	4,8	5,8
Argilosa	4,5	5,5	6,6
Muito argilosa	4,6	5,7	6,9

Relacionando os valores de pH em água e a saturação por bases, percebe que há estreita relação entre esses atributos, de modo que há uma mudança de 0,022; 0,029 e 0,030 unidades de pH do solo (Figura 6a, b, c) para cada unidade variada na V%. Nota-se que uma recomendação de calcário para esses solos procurando atingir valores de saturação por base comumente aceitos na literatura (50, 60 e 70%), há uma maior probabilidade de extrapolar os valores de pH exigidos (5,5 a 6,5) (CFSEMG, 1999) para o cultivo em solos tropicais (Tabela 5).



**Figura 6.** Relação entre pH em água e saturação por bases (V%), nos solos de textura média (●), argilosa (○) e muito argilosa (▼).

**Tabela 5.** Valores de pH do solo estimados para valores de saturação por bases (V%) equivalentes a 50, 60 e 70%, nos solos estudados após 56 dias de incubação.

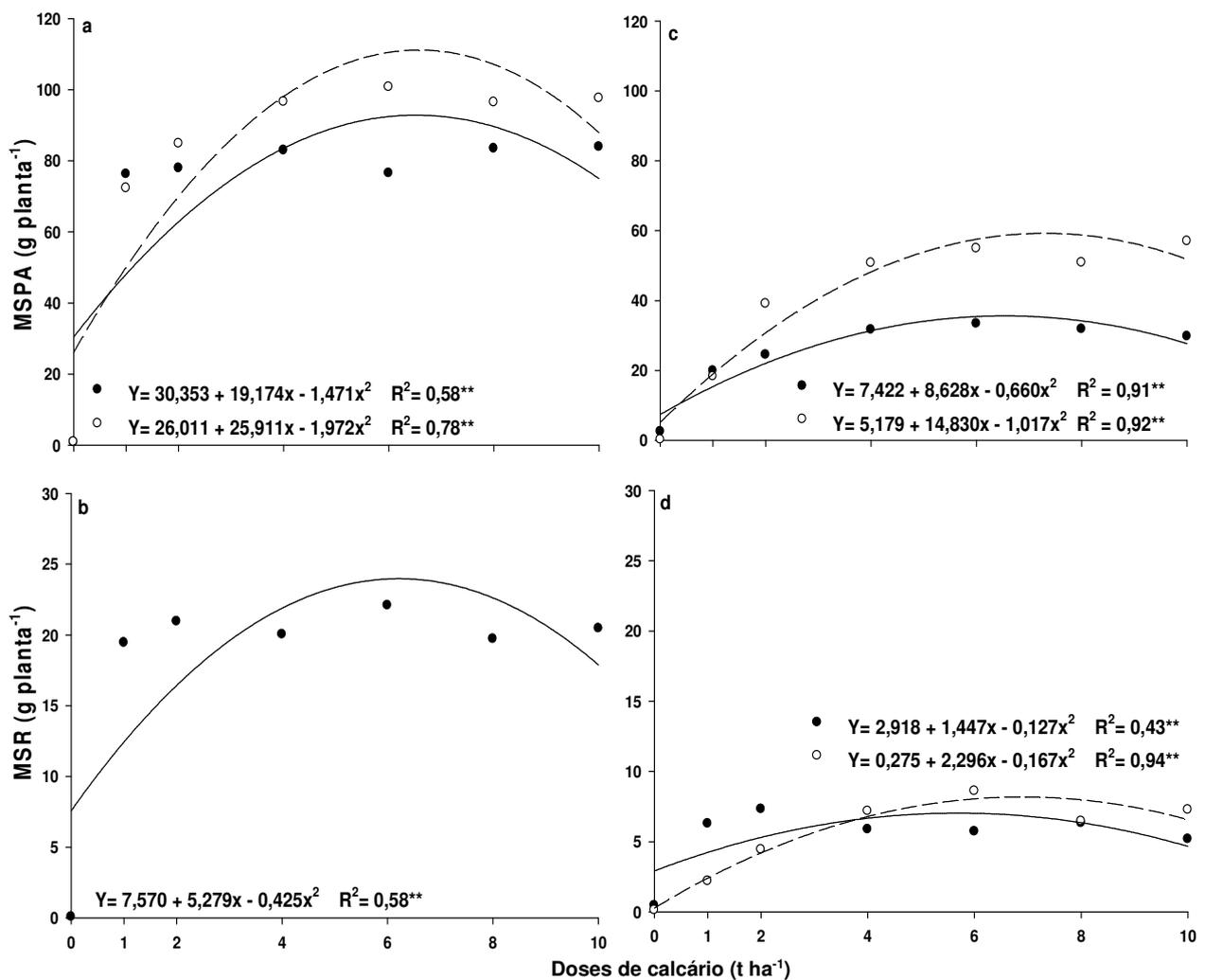
Classe textural	(V%)		
	50	60	70
	pH (H <sub>2</sub> O)		
Média	6,3	6,6	6,8
Argilosa	6,0	6,3	6,6
Muito argilosa	6,5	6,8	7,1

### 3.3. Rendimento das culturas

Houve interação significativa ( $P < 0,05$ ) entre os fatores tipo de solo e doses de calcário para variável MSPA independente da cultura avaliada, enquanto que para a variável MSR, observa interação significativa na cultura do feijão e apenas efeito isolado do fator níveis de corretivo na cultura do milho (Figura 7a, b, c e d). Em condições de ausência ou o fornecimento de doses inferiores a 1,5 e 0,6 tonelada de calcário na cultura do milho e feijão, respectivamente, maiores valores de MSPA foram proporcionados pelo solo 4. Porém, com o fornecimento de doses crescentes de corretivo, maiores valores de dessa variável foi observada no solo 9.

Em ambos os solos e culturas, verificou-se a adição de doses crescentes de calcário afetou positivamente a produção MSPA com os dados ajustando um modelo quadrático (Figura 7a e c). As doses de corretivo que promoveram a máxima eficiência econômica para MSPA foram 4,0 e 4,2 t ha<sup>-1</sup> na cultura do milho para os solos 4 e 9, respectivamente, e 4,2 e 4,9 t ha<sup>-1</sup> na cultura do feijão.

Quanto ao comportamento da produção de MSR, na cultura do feijão houve resposta positiva com o fornecimento de doses crescentes de calcário (Figura 7d). Relação similar não é evidente na cultura do milho, observa-se um rápido aumento de produção de 0 a 1 t ha<sup>-1</sup> de calcário aplicado, seguido de estabilização nas demais doses aplicadas (Figura 7b). As doses de corretivo que promoveram a máxima eficiência econômica para MSR foi 3,8 t ha<sup>-1</sup> na cultura do milho, e 3,3 e 4,7 t ha<sup>-1</sup> na cultura do feijão para os solos 4 e 9, respectivamente. Em relação ao efeito do fator solo, verifica-se que os maiores valores de MSR foram proporcionados pelo solo 4 tanto para a cultura do milho quanto para a cultura do feijão (dados não apresentados).



**Figura 7.** Produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca de raízes (MSR) do milho (a, b) e do feijão (c, d) no solo 4 de textura média (●) e no solo 9 de textura argilosa (○), em função do fornecimento de doses crescentes de calcário.

### 3.4. Acúmulo de nutrientes na parte aérea das culturas

A calagem influenciou significativamente ( $P < 0,05$ ) o acúmulo de nutrientes na parte aérea do milho, exceto o nutriente Cu em ambos os solos que não teve ajuste de modelo (Tabela 6). Verifica-se que o acúmulo foliar de P e Ca em ambos os solos, o

efeito dos níveis crescentes de calcário foi positivo e os dados ajustaram-se a um modelo quadrático com doses de 3,7 e 4,2 t ha<sup>-1</sup> de calcário no solo 4; 4,2 e 3,1 t ha<sup>-1</sup> de calcário no solo 9, responsáveis para máxima eficiência econômica de P e Ca, respectivamente. Apesar do acúmulo de Mg ser influenciado também pela adição de doses crescentes de calcário este apresentou um comportamento linear, sendo a máxima eficiência econômica correspondente a dose de 10 t ha<sup>-1</sup> de calcário. Já o acúmulo de K, Zn, Fe e Mn, variaram com os níveis de calcário nos dois solos, ajustando-se ao modelo cúbico, mas com comportamento similar ao acúmulo de P e Ca. Em relação o efeito do fator solo, observa que o solo 9 proporcionou um maior acúmulo dos nutrientes, conforme a tabela 6.

Quanto à cultura do feijão, o conteúdo de nutrientes na parte aérea também foi influenciado pelas doses crescentes de calcário (Tabela 6). Os dados relativos ao acúmulo foliar de P e Cu em ambos os solos, Fe e Mn no solo 9 apresentaram um comportamento quadrático, com as doses de 3,9 e 4,3 t ha<sup>-1</sup> de calcário no solo 4; 4,6; e 4,4 t ha<sup>-1</sup> de calcário no solo 9 responsáveis pela máxima eficiência econômica de P e Cu, respectivamente. Enquanto, as doses 4,5 e 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário no solo 9 promoveram a máxima eficiência econômica de Fe e Mn. Por outro lado, o acúmulo dos elementos Ca e Mg em ambos os solos tiveram comportamento linear com o fornecimento de doses crescentes de calcário. Já os nutrientes K e Zn, nos dois solos e Fe e Mn no solo 4, o comportamento do acúmulo foliar foi cúbico, com características similares a um modelo quadrático.

**Tabela 6.** Acúmulo de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu) na matéria seca da parte aérea do milho e do feijão em solos com diferentes classes textural, em função de doses crescentes de calcário.

Solo	Milho		Feijão		
	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	
P	S4	$Y = 0,052 + 0,069x - 0,006x^2$	0,76**	$Y = 0,027 + 0,059x - 0,005x^2$	0,93**
	S9	$Y = 0,053 + 0,089x - 0,007x^2$	0,89**	$Y = 0,011 + 0,055x - 0,004x^2$	0,90**
K	S4	$Y = 0,069 + 0,108x - 0,018x^2 + 0,001x^3$	0,79**	$Y = 0,068 + 0,117x - 0,023x^2 + 0,001x^3$	0,96**
	S9	$Y = 0,065 + 0,163x - 0,031x^2 + 0,001x^3$	0,81**	$Y = 0,018 + 0,161x - 0,032x^2 + 0,002x^3$	0,96*
Ca	S4	$Y = 0,042 + 0,040x - 0,003x^2$	0,78**	$Y = 0,028 + 0,020x$	0,93**
	S9	$Y = 0,033 + 0,049x - 0,005x^2$	0,70**	$Y = 0,007 + 0,047x$	0,99*
Mg	S4	$Y = 0,082 + 0,044x$	0,91**	$Y = 0,053 + 0,047x$	0,94**
	S9	$Y = 0,061 + 0,060x$	0,93**	$Y = 0,025 + 0,068x$	0,96**
Zn	S4	$Y = 0,722 + 1,173x - 0,279x^2 + 0,017x^3$	0,49**	$Y = 0,529 + 0,505x - 0,099x^2 + 0,005x^3$	0,82**
	S9	$Y = 0,555 + 1,429x - 0,337x^2 + 0,019x^3$	0,69**	$Y = 0,458 + 1,225x - 0,262x^2 + 0,015x^3$	0,56**
Fe	S4	$Y = 0,735 + 1,726x - 0,336x^2 + 0,019x^3$	0,82**	$Y = 1,301 + 1,288x - 0,256x^2 + 0,014x^3$	0,75**
	S9	$Y = 0,892 + 2,211x - 0,386x^2 + 0,019x^3$	0,79**	$Y = 1,050 + 1,491x - 0,109x^2$	0,85**
Mn	S4	$Y = 1,152 + 3,669x - 0,876x^2 + 0,051x^3$	0,81**	$Y = 1,326 + 1,710x - 0,432x^2 + 0,026x^3$	0,80**
	S9	$Y = 0,632 + 3,664x - 0,703x^2 + 0,036x^3$	0,93**	$Y = 0,684 + 1,561x - 0,146x^2$	0,74**
Cu	S4	$Y = \bar{Y} = 0,111$		$Y = 0,047 + 0,028x - 0,002x^2$	0,68**
	S9	$Y = \bar{Y} = 0,030$		$Y = 0,013 + 0,092x - 0,007x^2$	0,93*

S4= Argissolo Vermelho Amarelo de textura média; S9= Latossolo Amarelo Distrófico argiloso;

\* Significante a  $P < 0,05$ ; \*\* Significante a  $P < 0,01$ .

## 4. DISCUSSÕES

### 4.1. Atributos químicos do solo

Os baixos valores de pH é consequência da própria idade desses solos e da rápida e contínua decomposição da matéria orgânica (Malavolta et al., 1987). Valores de pH variando entre 4,3 e 4,8 foram observados por Lima et al. (2002) em solos da região central do Amazonas próximo a Manaus. Condição que potencializa a solubilização de Al contido na superfície dos minerais presentes no solo, consequentemente aumentando a concentração de  $Al^{3+}$  na solução do solo como observado no presente estudo.

Em relação aos elementos de caráter básico, Moreira e Fageria (2009) caracterizando aproximadamente 3.340 amostras de solo coletadas em diferentes ambientes no estado do Amazonas, verificaram que 88,39 e 74,33% dos níveis de Ca e Mg, estavam abaixo de 1,17 e 0,46  $cmol_c\ dm^{-3}$ , respectivamente. No presente estudo, além dos baixos valores desses elementos, foram observadas também baixas concentrações de K, constituindo um forte limitante para a exploração de espécies vegetais nesse ambiente, dada a essencialidade desses elementos.

Considerando que a capacidade de troca de cátions (CTC) indica como os nutrientes podem se ligar e ficarem retidos nas cargas do solo (Fearnside e Leal Filho, 2001), os valores encontrados no presente estudo indica que ao contrário para a maioria dos solos tropicais, esses solos apresentam um considerado potencial para retenção de nutrientes. Isto, provavelmente pode estar relacionado à presença de minerais de argila de atividade alta, embora que em solos de terra firme predominam argila de baixa atividade (Lima, 2001), e também ao efeito da matéria orgânica do solo (MOS), uma vez que as amostras foram obtidas na camada de 0-20cm de profundidade, e estas apresentaram, na maioria dos solos avaliados, média porcentagem de MOS. No entanto, apesar dessa maior CTC, a maior parte da mesma está ocupada por Al, pois os valores de V% estavam inferiores a 8  $cmol_c\ dm^{-3}$ . Resultados semelhantes foram observados em solos da Amazônia por Moreira e Fageria (2009).

Em relação valores de  $Al^{3+}$ , H+Al e saturação por alumínio (m) observado, nota-se que os mesmos estão em concentrações consideradas muito altas para a maioria das culturas (CFSEMG, 1999), o que confirma o caráter distrófico desses solos, que provavelmente é consequência do alto grau de intemperização.

Os médios e baixos valores de MOS encontrada na maioria dos solos estudados podem estar relacionados a elevadas temperaturas e umidade do ar típicas da região causando uma maior atividade e rápida mineralização, o que restringem um acúmulo de matéria orgânica (Davidson et al., 2000). No caso da textura, segundo Lima et al. (2002), solos de região tropical apresentam textura que variam de 300 a 600  $g\ kg^{-1}$  de argila. Em relação aos atributos da MOS, H+Al e textura, Keeney e Corey (1963), Raij et al. (1984), Aitken et al. (1990) e Husni et al. (1995) consideram como aqueles que tem relação mais estreita com o tamponamento do solo e consequentemente com a necessidade de calagem. Levando em consideração o baixo teor de MOS apresentados nos solos estudados, é provável que a necessidade de calcário nestes estejam mais relacionados a H+Al e a classe textural.

### 4.2. Efeito da calagem nos atributos químicos dos solos

A resposta linear do pH do solo em função da adição de doses de calcário estão de acordo com as características dos atributos químicos dos solos estudados, e, padrão de resposta semelhante foram observados em outros estudos (Wolf et al., 2008; Pagani e

Mallarino, 2012). Este comportamento está relacionado à redução de atributos de caráter ácido do solo como  $\text{Al}^{3+}$  (Figura 3), acidez potencial (Figura 4) e manganês. Pois, com o aumento da disponibilidade dos ânions  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{OH}^-$ , originados da dissociação do calcário, ocorre a reação desses com os cátions ácidos ( $\text{H}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$ ) na solução do solo, neutralizando seus efeitos.

Em relação à redução menos acentuada de  $\text{H}+\text{Al}$  quando comparado ao  $\text{Al}^{3+}$  é um indicativo de que o H está sendo mais expressivo em tamponar a acidez desses solos. Por outro lado, o alumínio trocável só influencia na necessidade de calagem para pH 5,5, pois, acima desse pH estaria neutralizado e teria pouca influência sobre as necessidades de calcário dos solos.

O aumento da saturação por bases em função do fornecimento de doses crescentes de calcário está relacionado à presença de elementos de caráter básico (Ca e Mg) na composição química do corretivo, e indica que houve melhorias significativas na fertilidade do solo, que certamente deverão refletir no aumento da produtividade para a maioria das culturas cultivadas nesses solos. Quando se considera a classe textural sobre a saturação por bases, a grande semelhança no ajuste dos dados (Figura 5) fica evidente que textura dos solos tem influência nesse atributo do solo.

A alta correlação entre pH e a saturação por bases já era esperada, sendo um indicador indireto da acidez do solo. Com a neutralização do Al e do H pela calagem, os sítios de troca catiônica são ocupados por bases trocáveis, aumentando simultaneamente, o pH do solo e a saturação por bases (Quaggio, 2000; Carballo, 2004).

De acordo com os resultados obtidos, pelo agrupamento de todos os solos, a classe textural avaliada teve pouca contribuição no requerimento da calagem. Porém são necessários estudos mais específicos com estes atributos, pois quanto maior o teor de argila, maior a capacidade tampão do solo e maior a necessidade de calcário. Além disso, no presente estudo, os valores dos teores de MOS e de argila estão muito próximos nos solos (Tabela 1), o que pode dificultar a estimativa da necessidade de calagem em função desses atributos. Porém, de modo geral, os solos de textura média exigiram menor quantidade de calcário para atingir valores de pH desejados, certamente está relacionado aos baixos teores de matéria orgânica e  $\text{Al}^{3+}$  nesses solos (Tabela 1). Neste aspecto deve-se considerar, que a capacidade de tamponamento dos solos se relacionam diretamente com os teores de argila e de matéria orgânica, assim os solos de textura média são menos tamponados necessitando de menor quantidade de calcário para elevar seu pH.

#### **4.3. Resposta das culturas ao requerimento de calagem**

Os resultados obtidos para a produção de MSPA indicam que a necessidade de calagem é dependente do tipo de solo utilizado, pois o solo 9 apresentou um maior potencial de resposta ao calcário quando comparado ao solo 4. Provavelmente, em função das diferenças entre os atributos que influenciam o tamponamento do solo, como textura e matéria orgânica. Para essa variável observa-se que as doses de calcário necessária para atingir a máxima eficiência econômica estão próximas aquelas obtidas pela curva de incubação para atingir o pH 6,0 e 6,5.

Em relação a produção de MSR, apesar da variação na eficiência de cada cultura, os resultados demonstra e reforça que o tipo de solo interfere no requerimento de calagem, e de forma similar as doses para atingir a máxima eficiência econômica coincidiram com a recomendação para atingir o pH 6,0 e 6,5 pela curva de incubação, o que sugere a

escolha das doses estão de acordo. Tal premissa é verdadeira, pois nessas doses houve os melhores acúmulos de nutrientes na parte aérea da planta.

É importante destacar, também, que as doses economicamente viáveis para o acúmulo de nutrientes são próximas as obtidas para MSPA e MSR e condizente com a recomendação de calcário para pH 6,0 e 6,5. O que demonstra a importância do requerimento de calagem correto, pois, além da diminuição da acidez parte da resposta à calagem está associada a disponibilidade de nutrientes no solo que são princípios para obtenção de bons incrementos das culturas.

## 5. CONCLUSÕES

A necessidade de calcário dos solos é dependente de sua classe textural. Sendo necessário o fornecimento de doses equivalentes a 0,3, 2,2 e 4,0; 2,6, 4,4 e 6,1; 2,2, 4,0 e 5,8 t ha<sup>-1</sup> de calcário para atingir o pH 5,5; 6,0 e 6,5 nos solos de textura média, argilosa e muito argilosa, respectivamente.

Doses de calcário equivalente a 1,5, 2,6 e 2,2 t ha<sup>-1</sup> é suficiente para reduzir o Al<sup>3+</sup> a valores não tóxicos (0,5 cmolc dm<sup>-3</sup>) nos solos de textura média argilosa e muito argilosa, respectivamente.

Enquanto as doses equivalentes a 3,7, 4,5 e 4,6 t ha<sup>-1</sup> de calcário é suficiente para elevar a saturação por bases dos solos ao patamar de solos considerados eutróficos (V=50%), correspondendo a pH em água em torno de 6,3, 6,0 e 6,5 nos solos de textura média, argilosa e muito argilosa, respectivamente.

As quantidades de calcário correspondente ao máximo rendimento econômico de MSPA e MSR tanto no milho quanto no feijão aproximam-se da quantidade recomendada pelo método da curva de incubação necessária para atingir o pH aceitáveis para cultivo e essas doses não reduziram abaixo do teor de deficiência a absorção durante os 60 dias de cultivo.

## AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Desenvolvimento agropecuário do Estado do Amazonas pelo apoio na coleta das amostras de solos, e ao Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia pelo apoio as análises químicas dos solos e plantas.

## 6. REFERÊNCIAS

- Abruña-Rodrigues, F., Vicente-Chandler, J., Pearson, R.W., Silva, S. 1970. Crop Response to soil acidity factors in ultisols and oxisols: I. Tobacco. Soil Science Society of America Proceedings. 34:629-635.
- Aitken, R.L., Moody, P.W., Mckinley, P.G. 1990. Lime requirement of acidic Queensland soils. I. Relationships between soil properties and pH buffer capacity. Australian Journal Soil Res. 28: 695-701.
- Allen, S.E.; Terman, G.L.; Clements, L.B., 1976. Greenhouse techniques for soil-plant-fertilizer research. Muscle Shoals: National Fertilizer Development Center. 55p.
- Alvarez V., V.H.; Fonseca, D.M., 1990. Definição de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios de casa de vegetação. Revista Brasileira de Ciências do Solo, (14): 48-55.

- Alvarez V., V.H.; Ribeiro, A.C., 1999. Calagem. In: Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G.; Alvarez, V.H. *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*. Viçosa. 359p.
- Baligar, V.C., Fageria, N.K., 2005. Soil aluminum effects on growth and nutrition of Cacao. *Soil Science Plant Nutricion*, 51(5): 709-713.
- Bianchini, A.A., and Mallarino, A.P. 2002. Soil-sampling alternatives and variable-rate liming for a soybean-corn rotation. *Agronomy Journal*. 94: 1355-1366.
- Bouyoucos, G.J., 1927. The hydrometer method improved for the mechanical analysis of soil. *Soil Science*. 23: 343-353.
- Broch, D.L.; Nolla, A.; Quiqui, E.M.D.; Possenti, J.C., 2008. Influência no rendimento de plantas de soja pela aplicação de fósforo, calcário e gesso em um Latossolo sob plantio direto. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, 10 (2).
- Caires, E.F.; Kusman, M.T.; Barth, G.; Garbuio, F.J.; Padilha, J.M., 2004. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28: 125-136.
- Caires, E.F.; Garbuio, F.J.; Churka, S.; Barth, G.; Corrêa, J.C.L., 2008. Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. *European Journal of Agronomy*, 28: 57-64.
- Campanharo, M., Lira junior, M. de A., Nascimento, C.W.A. do, Freire, F.J., Costa, J. V.T. da. 2007. Avaliação de métodos de necessidade de calagem no Brasil. *Revista Caatinga*. 20(1):97-105.
- Carballo, A.M.C., 2004. Atributos químicos do solo afetados por métodos de preparo e sistemas de culturas. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 83p. (Tese de mestrado)
- Castro, G.S.A., Crusciol, C.A.C., 2013. Effects of superficial liming and silicate application on soil fertility and crop yield under rotation. *Geoderma*, 195-196: 234-242.
- Chaffai, R., Marzouk, B., El Ferjani, E., 2005. Aluminum mediates compositional alterations of polar lipid classes in maize seedlings. *Phytochemistry*, 66: 1903-1912.
- Chimdi, A., Gebrekidam, H., Kibret, K., Tadesse, A., 2012. Effects of liming on acidity-related chemical properties of soils of diferente land use systems in Western Oromia, Ethiopia. *World Journal of Agricultural Sciences*. 8 (6): 560-567.
- Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*. 5ed., Lavras. 359p.
- Davidson, E.A., Verchot, L.V., Cattânio, J.H., Ackerman, I.L., Carvalho, J.E., 2000. Effets of soil water content on soil respiration in forest and cattle pastures of eastern Amazonia. *Biogeochemistry*, 48:53-69.
- Dunn, L.E., 1943. Lime requirement determination of soils by means of titration curves. *Soil Science*. 56(5): 341-351.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, 2006. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2. ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos – Rio de Janeiro: Embrapa-SPI, 306.
- Ernani, P.R. e Almeida, J.A., 1986. Comparação de métodos analíticos para avaliar a necessidade de calcário dos solos do estado de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 10: 143-150.
- Ernani, P.R., Bayer, C., Maestri, L., 2002. Corn yield as affected by liming and tillage system on na acid Brazilian oxisol. *Agronomy Journal*. 94: 305-309.

- Fageria, N.K., Zimmermann, F.J.P., 1998. Influence of pH on growth and nutrient uptake by crop species in an Oxisol. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 29 (17): 2675-2682.
- Fageria, N.K., Zimmermann, F.J.P., 1998. Influence of pH on growth and nutrient uptake by crop species in an Oxisol. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 29 (17): 2675-2682.
- Falcão, N.P. de S. e Silva, J.R.A. da. 2004. Características de adsorção de fósforo em alguns solos da Amazônia Central. *Acta Amazonica*. 34(3): 337 – 342.
- Farhoodi, F., Coventry, D.R., 2008. Field crop responses to lime in the mid-north region of south Australia. *Field Crops Research*, 108: 45-53.
- Fazio, P.I. 1979. Seleção e avaliação de métodos para estimar a necessidade de calcário em solos brasileiros. 99p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Fearnside, P.M. e Leal Filho, N., 2001. Soil and development in Amazonia: Lessons from the Biological Dynamics of Forest Fragments Project. p. 291-312. In: Biorregard, R.O., Gascon, C., Lovejoy, T.E., Mesquita, R. (eds). *Lessons from Amazonia: The Ecology and Conservation of a Fragment Forest*. Yale University Press, New Haven, Connecticut, U.S.A. 478pp.
- Ferreira, S.J.F., Luizão, F.J., Miranda, S.A.F., Silva, M.S.R. da, Vital, A.R.T., 2006. Nutrientes na solução do solo em floresta de terra firme na Amazônia central submetida à extração seletiva de madeira. *Revista Acta Amazônica*, 36: 59-68.
- Ferreira, G.B., Mattioni, J.A.M., Smiderle, O.J., Uchôa, S.C.P., Melo, V.F. 2007. Recomendação de calagem pelo método do pH SMP para o Cerrado de Roraima. *Embrapa Roraima: Comunicado Técnico*, 07.
- Ferreira, D.F., 2011. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia (UFPA)*. 35(6): 1039-1042.
- Foloni, J.S.S., Santos, D.H., Creste, J.E.; Salvador, J.P., 2008. Resposta do Feijoeiro e Fertilidade do Solo em Função de Altas Doses de Calcário em Interação com a Gessagem. *Colloquium Agrariae*, 4(2): 27-35.
- Fullin, E.A., 2001. Acidez do solo e calagem. In: Dadalto, G.G., Fullin, E.A. *Manual de necessidade de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo*. Vitória: SESA/INCAPER. p.70-98.
- Fox, R.L., Hue, N.V., Parra, A.J., 1987. A turbidimetric method for determining phosphate-extractable sulfates in tropical soils. *Communications in Soil Science Plant and Analysis*. 18:343-357.
- Freitas, L.M.M., Pratt, P.F., Vettori, L. 1968. Testes rápidos para estimar a necessidade de calcário em alguns solos do estado de São Paulo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 3:159-164.
- Hatcher, J.T. e Wilcox, L.V., 1950. Colorimetric determination of boron using carmine. *Analytical Chemistry*, 22: 567-569.
- Husni, M.H.A., Devi, S., Manas. A.R., Anuar, A.R., Shamshuddin, J. 1995. Chemical variables affecting the lime requirement determination of tropical peat soils. *Commun Soil Sci Plan* 26: 2111-2122.
- Kaminski, J. 1974. Fatores de acidez e necessidade de calcário em solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, UFRGS.
- Keeney, D.R., Corey, R.B. 1963. Factors affecting the lime requirements of Wisconsin soils. *Soil Science Society American Journal*. 27: 277-280.

- Kumar, M., Khan, M.H.; Singh, P., Ngachan, S.V., Rajkhowa, D.J., Kumar, A., Devi, M.H. 2012. Variable Lime Requirement based on differences in organic matter content of iso-acidic soils. *Indian Journal of Hill Farming*. 25(1): 26-30.
- Lima, H.N., 2001. Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental. Tese (doutorado). Viçosa: UFV, 176p.
- Lima, H.N. Schaefer, C.E., Mello, J.W., Gilkes, R.J., Ker, J.C., 2002. Pedogenesis and pre-colombian land use of “Terra Preta Anthrosols” (“Indian black earth”) of western Amazonia. *Geoderma*, 110: 1-7.
- Lindsay, W.L. e Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. *Soil Science Society of America Journal*. 42(3): 421-428.
- Malavolta, E., 1980. Elementos de nutrição mineral de plantas. Piracicaba: Agronômica Ceres. 251p.
- Lopes, A. S.; M. de C. Silva & L. R. G. Guilherme., 1990. Acidez do solo e calagem. 3a ed. São Paulo, ANDA. 22 p. (Boletim Técnico, 1).
- Macedo, F.L. de, Pedra, W.N., Silva, S.A. da, Barreto, M.C. de V., Silva-mann, R., 2011. Efeito do alumínio em plantas de pinhão-mansó (*Jatropha curcas* L.), cultivadas em solução nutritiva. *Semina: Ciências Agrárias*. 32(1): 157-164.
- Malavolta, E. 1987. Fertility of Amazon soils. In *Amazon: Its use and other natural resources*, ed. Vieira, L.S. and Santos, P.C.T.C., p.374–416. São Paulo: Editora Ceres.
- Malavolta, E., Vitti, G.C., Oliveira, S.A., 1989. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Patafos, 201p.
- Malavolta, E., Vitti, G.C., Oliveira, S.A. de, 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2ed. Piracicaba: POTAFOS, 319p.
- Manoj-Kumar, 2011. North East India: soil and water management imperatives for food security in a changing climate. *Curr Science*. 101: 1119.
- Marschner, B.U. Wilszynski, A.W., 1991. The effect of liming on quantity and chemical composition of soil organic matter in a pine forest in Berlin, Germany. *Plant Soil*. 137: 229-236.
- Marques, J.J., Teixeira, W.G., Schulze, D.G. and Curi, N., 2002. Mineralogy of soils with unusually high exchangeable Al from the western Amazon Region. *Clay Minerals*, 37: 651-661.
- McLean, E.O., Heddleson, M.R., Bartlett, R.J., Holowaychuk, N., 1958. Aluminum in soils: I. Extraction methods and magnitude in clays and Ohio soils. *Soil Science Society of America Proceedings*. 22: 382-387.
- Mehlich, A., 1953. Determinatio of P, Ca, Mg, K, Na and NH<sub>4</sub> by North Carolina Soil Testing Laboratories. Raleigh, University of North Carolina.
- Mesfin, A., 2007. Nature and Management of Acid Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods, 2<sup>nd</sup> edition.
- Moreira, A., Fageria, N.K., 2009. Soil Chemical Attributes of Amazonas State, Brazil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 40:17, 2912 – 2925.
- Nascimento, C.W.A. 2000. Acidez potencial estimada pelo pH SMP em solos do Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 24: 679-682.
- Natale, W., Prado, R. de M., Rozane, D.E., Romualdo, L.M., 2007. Efeitos da calagem na fertilidade do solo e na nutrição e produtividade da goiabeira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31: 1475-1485.
- Natale, W., Prado, R. de M., Rozane, D.E., Romualdo, L.M., Hernandez, A., 2008. Resposta da caramboleira à calagem. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 30(4): 1136-1145.

- Nolla, A., Schindwein, J.A., Anghinoni, I., 2007. Crescimento, morfologia radicular e liberação de compostos orgânicos por plântulas de soja em função da atividade de alumínio na solução do solo de campo natural. *Ciência Rural*, 37(1): 97-101.
- Pagani, A., Mallarino, A.P. 2012. Comparison of methods to determine crop lime requirement under field conditions. *Soil Science Society American Journal*. 76: 1855-1866.
- Paula, M.B. de, Alvarez V., V.H., Nogueira, F.D., 1991. Determinação da necessidade de calagem dos solos. *Informativo Agropecuário*, Belo Horizonte, 15 (170): 45-55.
- Pereira, M.G., Valladares, G.S., Souza, J.M.P.F., Pérez, D.V., Anjos, L.H.C. 1998. Estimativa da acidez potencial pelo método do pH SMP em solos do estado do Rio de Janeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:159-162.
- Pottker, D. 2002. Correção da acidez do solo no sistema plantio direto. In: *Curso de Fertilidade do Solo em Plantio Direto*. Guarapuava, São Paulo. Resumos. Guarapuava: Cooperativa Agrária, p. 54-62.
- Prado, R. de M., Natale, W., Corrêa, M.C. de M., Braghirolli, L.F., 2004. Efeitos da aplicação de calcário no desenvolvimento, no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro. *Revista Brasileira Fruticultura*, 26 (1): 145-149.
- Quaggio, J.A. 1983. Critérios para calagem em solos no estado de São Paulo. Piracicaba. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, ESALQ/USP.
- Quaggio, J.A. 2000. Acidez e calagem em solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas. 111p.
- Raij, B.V., Cantarella, H., Zullo, M.A.T. 1979. O método tampão SMP para determinação da necessidade de calagem de solos do Estado de São Paulo. *Bragantia*, 38(7):57-69.
- Raij, B.Van e Quaggio, S. 1984. Uso eficiente de calcário e gesso na agricultura. In: *Simposio sobre fertilizante na agricultura Brasileira*, Brasília, Anais..., Embrapa/Potafos. 323-46p.
- Raij, B.Van, Batablia, C.O. 1991. Análise de laboratório. In: Oliveira, A.J. de (Coord.). *Métodos de pesquisa em fertilidade do solo*. Brasília: Embrapa-SEA, p.81-102.
- Raij, B.Van., Quaggio, J.A., Cantarella, H., Abreu, C.A. de. 2001. Os métodos de análise química no sistema IAC de análise de solo no contexto nacional. In: Raij, B. Van, Andrade, J.C. de, Cantarella, H., Quaggio, J.A. (Eds.). *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, p. 5-39.
- Rodrigues, T.E., Morikawa, I.K., Reis, R.S. dos, Falesi, E.I.C. 1971. Solos do distrito agropecuário da Suframa. (trecho: km 30-79, rodovia BR 174). Instituto de pesquisas e experimentação agropecuária da Amazônia ocidental. Manaus-amazonas. IPEAAOc. Serie solos, 1(1): 1-99.
- Rossetto, R., Spironello, A., Cantarella, H., Quaggio, J. A., 2004. Calagem para a cana-de-açúcar e sua interação com a adubação potássica. *Bragantia*, 63(1): 105-119.
- Santos, E.O. de J.; Gontijo, I. Silva, M.B. de. Spatial Variability of Soil Acidity Attributes and Liming Requirement for Conilon Coffee. *Coffee Science*, 9(2): 275-283, 2014.
- Sambatti, J.A., Souza Junior, I.G., Costa, A.C.S., Tormena, C.A. 2003. Estimativa da acidez potencial pelo método do pH SMP em solos em formação Caiuá – Noroeste do Estado do Paraná. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:257-264.

- Schofield, R.K. e Taylor, A.W., 1955. The measurement of soil pH. Soil Science Society of America Proceedings. 19: 164-167.
- Sena, J. dos S., Tucci, C.A.F., Lima, H.N., Hara, F.A. dos S., 2010. Efeito da calagem e da correção dos teores de Ca e Mg do solo sobre o crescimento de mudas de angelim pedra (*Dinizia excelsa* Ducke). Acta Amazônica, 40 (2): 309-318.
- Shoemaker, H.E., McLean, E.O. and Pratt, P.F., 1961. Buffer methods for determining lime requirement of soils with appreciable amounts of extractable aluminum. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 25:274-277.
- Shuman, L.M. e Duncan, R.R. 1990. Soil exchangeable cations and aluminum measured by ammonium chloride, potassium chloride, and ammonium measured by ammonium chloride, potassium chloride, and ammonium acetate. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 21: 1217-1218.
- Silva, E.B., Costa, H.A.O., Farnezi, M.M.M. 2006. Acidez potencial estimada pelo método do pH SMP em solos da região do Vale do Jequitinhonha no estado de Minas Gerais. R. Bras. Ci. Solo, 30:751-757.
- Silva, S. de A., Moraes, W.B., Souza, G.S., 2011. Doses de cálcio crescimento do feijoeiro cultivado em solução nutritiva na presença de alumínio. IDESIA (Chile). 29(3): 53-58.
- Singha, D.D. 2006. Effect of liming on the sugarcane (*Saccharum officinarum*) yield, juice quality and available soil nutrients in acid soil. Indian Journal of Agricultural Sciences. 76(3): 203-4.
- Sousa, D.M.G., Miranda, L.N., Lobato, E., Klieman, H.J. 1980. Avaliação de métodos para determinar as necessidades de calcário em solos do cerrado de Goiás e do Distrito Federal. R. Bras. Ci. Solo, 4:144-148.
- Sousa, D.M.G. de, Miranda, L.N. de, Lobato, E., Klieman, H.J., 1989. Métodos para determinar as necessidades de calagem em solos dos cerrados. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 13: 193-198.
- Steiner, F., Fey, R., Frandoloso, J.F.; Zoz, T., 2009. Influência da calagem na disponibilidade de zinco e no desenvolvimento da cultura do milho cultivado em Latossolo Vermelho Eutroférico. Cascavel, 2(2): 40-51.
- Tang, C., Reagel, Z., Diatloff, E., Gazey, C. 2003. Responses of wheat and barley to liming on a Sandy soil with subsoil acidity. Field Crops Res. 80, 235-244.
- Tsadilas, C.D. 2000. Soil pH influence on cadmium uptake by tobacco in high cadmium exposure. Journal Plant Nutrition. 23: 1167-1178.
- Vasconcellos, C.A., Santana, D.P., Ferreira, L. 1994. Métodos de determinação da necessidade de calagem e características físico-químicas de alguns solos de Minas Gerais. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 29(8): 1253-1263.
- Vieira, L.S., Santos, P.C.T.C. 1987. Amazônia seus solos e outros recursos naturais. Ed. Agronômica Ceres. São Paulo. 416p.
- Walkley, A. e Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science. 37:29-38.
- Wolf, A.M., Beegle, D.B. & Hoskins, B., 2008. Comparison of Shoemaker-McLean-Pratt and modified Mehlich buffer tests for lime requirement on Pennsylvania soils. Commun. Soil Science Plant Anal., 39: 1848-1857.

### CAPITULO 3: CALIBRAÇÃO DO MÉTODO SMP PARA RECOMENDAÇÃO DE CALAGEM E ESTIMATIVA DA ACIDEZ POTENCIAL EM ALGUNS SOLOS DO ESTADO DO AMAZONAS

#### RESUMO

BATISTA, Iza Maria Paiva. **Calibração do método SMP para recomendação de calagem e estimativa da acidez potencial em alguns solos do estado do Amazonas.** Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM. Orientador: José Zilton Lopes Santos.

A estimativa rápida da quantidade de corretivo e da acidez potencial pode ser realizada com eficiência através do método SMP, porém seu uso requer regionalização edafológica. Objetivou-se com o presente estudo, calibrar o método SMP para recomendação de calagem e estabelecer uma equação que estime a acidez potencial dos solos da região central do estado do Amazonas. Utilizou-se 13 solos, aos quais foram aplicados as quantidades de 0,0; 1,0; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0 e 10,0 t ha<sup>-1</sup> da mistura CaCO<sub>3</sub> e 4MgCO<sub>3</sub>.Mg(OH)<sub>2</sub>.5H<sub>2</sub>O na relação estequiométrica Ca:Mg de 3:1. Após este período os solos permaneceram incubados por 56 dias e ao final desse período, determinaram-se os valores pH em água. Nas amostras originais sem incubação e que não receberam calcário determinaram-se os valores de acidez potencial (H+Al) extraída em solução de Ca(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> e pH SMP 7,5. A calibração do método SMP foi obtida plotando os valores médios da depressão do pH da solução tampão SMP obtidos nos solos sem incubação versus quantidades de calcário obtidas mediante curva de incubação para atingir o pH em água em 5,5; 6,0 e 6,5. Através de equações de regressão simples criou-se uma tabela de recomendação de calcário para atingir os pHs pré-definidos. Por outro lado, a calibração do método SMP para estimar a acidez potencial foi obtida plotando os valores médios da depressão do pH da solução tampão SMP versus os valores de H+Al obtidos via acetato de cálcio. O método SMP correlacionou satisfatoriamente com as necessidades de calcário dos solos estudados e mostrou-se eficaz em predizer a necessidade de calagem para elevar o pH do solo a valores de 6,5; 6,0 e 5,5. A equação linear  $H + Al = 35,572 - 4,818 \text{ pH SMP}$  ( $R^2 = 0,93$ ), expressando os valores de H + Al em cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, foi a que melhor estimou a acidez potencial dos solos da região estudada.

**Termos de indexação:** requerimento de calcário, solução-tampão, acidez do solo, métodos analíticos.

#### 1. INTRODUÇÃO

A avaliação do requerimento de calagem pode ser feita através de vários métodos (Fazio, 1979; Sousa et al., 1989; Lopes et al., 1990; Vasconcellos et al., 1994; Alvarez e Ribeiro, 1999; Quaggio, 2000; Fullin, 2001; Campanharo et al., 2007), sendo a busca por métodos convenientes e precisos para quantificar as doses de calcário, amplamente relatada (Catani et al., 1972; Ernani e Almeida, 1986; Rossel e McBratney, 2001; Wolf et al., 2008). Dentre estes, destaca-se o método tampão SMP (Schoemaker et al., 1961), no qual a necessidade de calcário é obtida a partir da determinação dos valores de pH após o equilíbrio da solução tampão com o solo.

O método SMP é muito utilizado em vários países, e com apropriada calibração é considerado um método bastante eficaz pela rapidez e acurácia na estimação do requerimento de calagem para solo (Tran e Van Lierop, 1981; Aitken et al. 1995). Segundo McLean et al (1966), o método SMP é bem adaptado para solos com pH abaixo de 5,8; menos que 10% de matéria orgânica e elevada quantidade de alumínio solúvel, características comum dos solos da região central do Amazonas. As vantagens do tampão SMP como método de estimativa da necessidade de calagem têm sido bastante relatadas: Edmeades et al. (1985) comparando métodos para determinação do requerimento de calagem para solos em Nova Zelândia, verificaram que dos quatro métodos tampões avaliados, o SMP foi o melhor na predição do requerimento de calagem em campo; resultado semelhante foi observado também por Aitken et al. (1995) em solos da região da Austrália; Rossel e McBratney (2001) observaram que os métodos tampões, incluindo o tampão SMP, foram os mais precisos no requerimento de calagem. No Brasil os resultados não foram diferentes, o método SMP vem sendo utilizado com grande eficiência na estimativa da necessidade de calcário para os solos das regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste e especialmente para a região sul (Raij e Quaggio, 1983; Sousa et al., 1989; Pereira et al., 1998; Escosteguy e Bissani, 1999; Silva et al., 2000 e Gama et al., 2002), respectivamente.

Apesar de inicialmente ter sido desenvolvido para determinar a necessidade de calagem e ser amplamente difundido para esse fim, o método SMP vem sendo cada vez mais empregado no Brasil para a avaliação da acidez potencial (Sambatti et al., 2003); em virtude de sua grande simplicidade analítica. Pois, a determinação da acidez potencial (H+Al) em amostras de solo, apresenta alguns problemas. Dentre eles, o custo operacional e a dificuldade na perfeita visualização do ponto de viragem da titulação do extrato de acetato de cálcio (Nascimento, 2000). Inconvenientes, que podem ser superados com o uso do método SMP que também demonstra estreita correlação com o método do acetato (Pavan et al., 1992). No entanto, apesar da ampla divulgação deste método para ambas as finalidades, recomendação de calagem e estimativa da acidez potencial, o seu uso está condicionado a calibrações próprias para diferentes regiões, dada a diversidade de solos com propriedades específicas e clima; que inviabiliza a generalização do seu uso sendo necessário sofrer modificações para adaptá-las às condições locais (Souza et al., 1989).

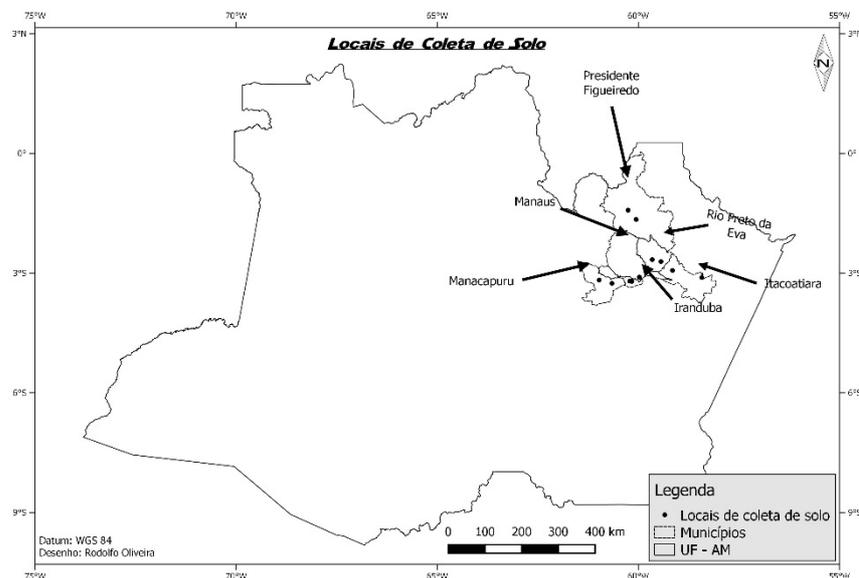
Em vista disso, vários estudos de estimativa da acidez potencial do solo através do pH SMP têm sido desenvolvidos: Quaggio et al. (1985) apresentaram um modelo de equação para o estado de São Paulo; Corrêa et al. (1985) e Silva et al. (2002), para o estado de Minas gerais; Souza et al. (1989), para cerrados; Pavan et al. (1996), para o estado do Paraná; Maeda et al. (1997), para os estado do Mato grosso do Sul; Escosteguy e Bissani (1999), para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina; Nascimento (2000), para o estado de Pernambuco; Silva et al. (2002), para os solos do nordeste brasileiro; Sambatti et al. (2003), para o estado do Paraná; e Ferreira et al. (2007), para o cerrado de Roraima. Nestes estudos observaram-se diferentes equações de correlação, evidenciando a influência de características específicas dos solos de cada região, especialmente aquelas relacionadas ao poder tampão do solo como teor de matéria orgânica, textura, tipo e quantidade de minerais da fração argila e pH (Escosteguy e Bissani,1999). Em função disso, Quaggio e Raij (2001) recomenda regionalização edafológica previamente ao uso deste método, visando obter curvas de calibração específicas.

Diante do exposto, objetivou-se com o presente estudo calibrar o método SMP para recomendação de calagem e estimativa da acidez potencial em alguns solos do estado do Amazonas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Seleção de solos

Utilizaram-se amostras de 13 solos, coletados na camada superficial de 0-20cm de profundidade, em seis municípios do Estado do Amazonas: sendo dois solos em Manacapuru, dois solos em Presidente Figueiredo, dois solos em Itacoatiara, dois solos em Iranduba, dois solos em Rio Preto da Eva e três solos em Manaus (Figura 1). A seleção dos locais foi feita procurando abranger ampla faixa de solos que já sendo exploração com fins agrícolas na região. A coleta foi efetuada em único ponto, sob vegetação nativa (floresta ombrófila aberta), onde os solos estavam mais preservados e que mantinham suas características físicas e químicas originais.



**Figura 1.** Distribuição geográfica dos locais amostrados em seis municípios do Estado do Amazonas.

### 2.2. Caracterizações químicas e granulométricas dos solos estudados

Após a coleta, as amostras de solos foram destorroadas, homogeneizadas, secas à sombra e subamostras foram passadas em peneira de 2,0 mm de abertura para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA) e posteriormente submetidos a análises químicas: pH em água (Schofield e Taylor, 1955); alumínio trocável ( $Al^{3+}$ ) (Mclean et al., 1958); cálcio ( $Ca^{2+}$ ) e magnésio ( $Mg^{2+}$ ) extraído pela solução  $NH_4Cl$  1M (Shuman e Duncan, 1984); fósforo (P) e potássio (K) disponível (Mehlich, 1953); acidez potencial (H+Al) (Shoemaker et al., 1961); fósforo remanescente (P-rem) (Alvarez e Taylor, 1955); zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn) e cobre (Cu) disponível (Lindsay e Norvell, 1978); boro (B) disponível (Hatcher e Wilcox, 1950) e enxofre (S) disponível (Fox et al., 1987); matéria orgânica do solo (Walkey e Black, 1934) e a análise granulométrica pelo método Bouyoucos (1927). Posteriormente à caracterização granulométrica, os solos

foram agrupados segundo a amplitude textural em: textura média, textura argilosa e textura muito argilosa (Embrapa, 2006).

**Tabela 1.** Atributos químicos e granulométricos dos 13 solos utilizados no estudo, 0-20 cm de profundidade.

Solo	pH (H <sub>2</sub> O)	P	K	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Al <sup>+3</sup>	H+Al	T	T	V	m	Argila	M.O
		--mg dm <sup>-3</sup> --			----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					---%---		--g Kg <sup>-1</sup> --	
1	4,2	45,0	16,0	0,2	0,1	1,4	9,8	1,7	10,2	3,4	80,5	190,0	27,4
2	4,4	1,4	8,0	0,1	0,1	0,8	4,0	1,0	4,3	5,2	78,4	220,0	11,8
3	4,1	2,3	10,0	0,1	0,1	1,4	10,9	1,6	11,2	2,0	85,9	220,0	24,8
4	4,4	2,0	9,0	0,1	0,1	1,3	6,3	1,5	6,5	3,7	84,3	232,0	14,0
5	4,4	3,2	16,0	0,2	0,1	1,4	9,8	1,7	10,2	3,4	80,5	360,0	26,1
6	4,2	1,4	8,0	0,1	0,1	1,2	8,8	1,4	9,0	2,4	84,5	360,0	18,7
7	4,1	2,0	12,0	0,1	0,1	1,8	12,3	2,0	12,5	1,8	88,7	360,0	28,7
8	4,0	2,6	12,0	0,1	0,1	1,6	10,9	1,8	11,2	2,1	87,4	390,0	24,8
9	3,9	2,9	14,0	0,2	0,1	1,4	9,8	1,7	10,2	3,3	80,5	550,0	18,7
10	3,9	2,3	8,0	0,1	0,1	1,6	8,8	1,8	9,0	2,4	87,9	570,0	21,1
11	4,7	5,8	20,0	0,8	0,2	1,8	12,3	2,8	13,3	7,9	63,2	620,0	32,8
12	4,1	2,6	10,0	0,2	0,1	1,2	8,8	1,5	9,1	3,6	78,4	670,0	16,4
13	4,1	2,0	10,0	0,0	0,1	1,2	8,8	1,4	9,0	2,5	83,9	740,0	21,1

Manacapuru: solo 5 e 11; Presidente Figueiredo: solo 2 e 13; Itacoatiara: solo 6 e 7; Iranduba: solo 3 e 8; Rio Preto da Eva: solo 10 e 12; Manaus: solo 1, 4 e 9. M.O: matéria orgânica.

### 2.3. Calibração do método SMP para recomendação de calagem

Amostras de cada solo foram passadas em peneiras de 4,0 mm, em seguida acondicionadas em vasos plásticos de polietileno, sem poro de drenagem, com capacidade de 1 dm<sup>3</sup> e colocadas para incubação com doses correspondentes a 0; 1,0; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0 e 10 t ha<sup>-1</sup> uma mistura de CaCO<sub>3</sub> + 4MgCO<sub>3</sub>.Mg(OH)<sub>2</sub>.5H<sub>2</sub>O (p.a.) na relação estequiométrica Ca:Mg de 3:1. Os tratamentos foram, portanto, fatoriais resultantes da combinação de 13 solos com 7 níveis de calcário. Cada unidade experimental foi constituída por um vaso e estes foram distribuídos em bancada, seguindo-se um delineamento completamente casualizado, com três repetições.

A incubação ocorreu em ambiente de casa de vegetação do Departamento de Engenharia Agrícola e Solos da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e durante essa fase a umidade dos solos foi mantida em torno 70% da capacidade de campo, através da pesagem diária dos vasos e adição de água deionizada. Terminado o período de incubação (56 dias) as amostras de solo foram coletadas, seca a sombra em temperatura ambiente, destorroadas e passadas em peneiras (2 mm) e submetidas a análises de pH em água (Schofield e Taylor, 1955) e pH CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup> na relação solo:água 1:2,5 (Embrapa, 2009), além de determinar a acidez potencial (H+Al) extraída em solução de Ca(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,0 e determinada por titulação com NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>, conforme Silva (1999) e o pH SMP. Sendo os valores deste último determinados conforme SMP 7,5 modificado (Raij e Quaggio, 1983), adicionada sobre a suspensão solo-solução de CaCl<sub>2</sub> 0,01 M na relação 1:2,5, onde previamente haviam sido lido os valores de pH CaCl<sub>2</sub>. Sendo o conjunto agitado por 15 minutos a 160 rpm e, após repouso de uma hora, procedeu-se à leitura da depressão do pH da solução-tampão (pH SMP).

A calibração do método SMP para a predição da recomendação de calagem dos solos estudados foi obtida graficamente, plotando as doses de calcário ( $t\ ha^{-1}$ ) estabelecidas pelas curvas de incubação, para elevar o pH  $H_2O$  aos valores 5,5; 6,0 e 6,5, com o valores de pH SMP dos solos. Com o ajuste dos dados, foram geradas equações para estimativa da necessidade de calcário pelo método SMP, a partir dessas equações foi obtida a tabela da necessidade de calagem do SMP.

#### **2.4. Calibração do método SMP para estimar a acidez potencial**

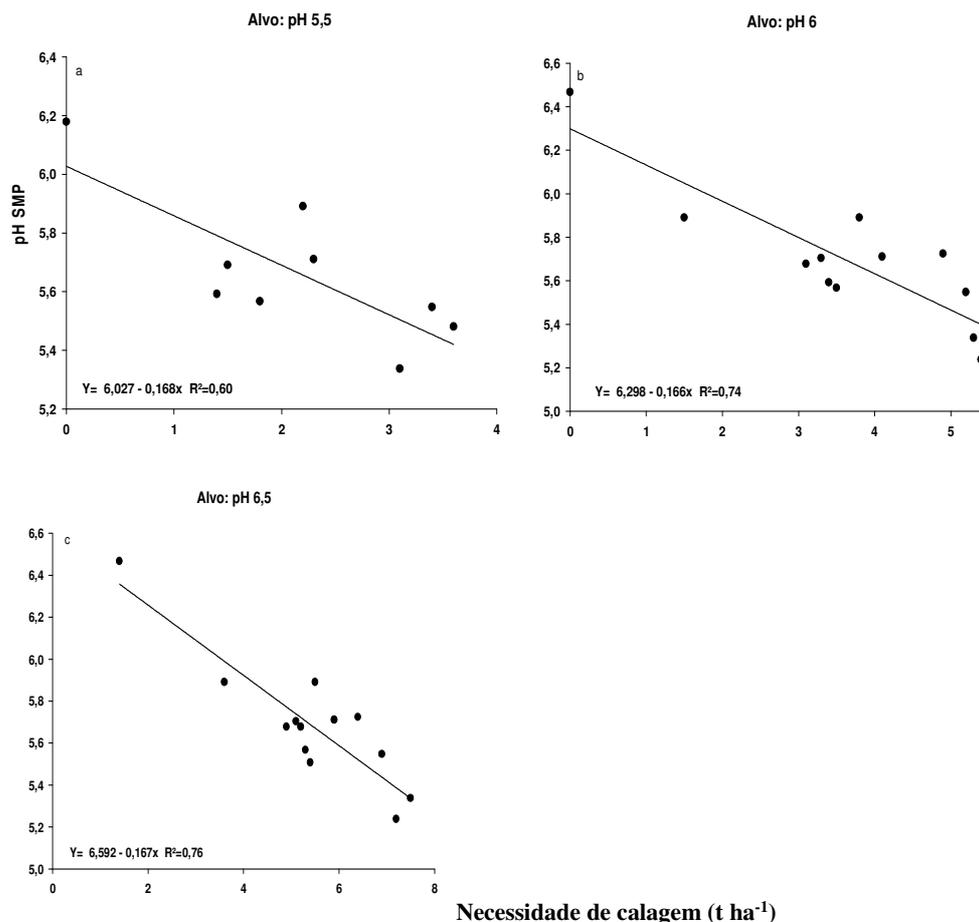
Os valores médios de pH SMP e acidez potencial (H+Al), conforme descrição feita no tópico 2.3, obtidos de amostras de cada solo que não foram incubadas e nem receberam calcário, foram submetidos a ajustes de modelos de regressão, utilizando-se o Software estatístico Sistema para Análises Estatísticas – SISVAR 5.3 (Ferreira, 2011).

Das equações obtidas, foi selecionada a que melhor descrevia a relação entre as duas variáveis, portanto com maior capacidade preditiva dos teores de H+Al. Tendo-se como critério de escolha, a significância do modelo a 5% de probabilidade pelo teste de F e o maior valor do coeficiente de determinação.

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1. Calibração do método SMP para recomendação de calagem**

Houve efeito significativo entre o pH SMP dos solos e o requerimento de calagem para obtenção do pH 5,5; 6,0 e 6,5 pela curva de incubação, com os dados ajustando-se a um modelo linear (Figura 2a, b e c). A relação positiva entre pH SMP dos solos e a necessidade de calagem de todos os solos agrupados foi semelhante ao verificado nos solos separados por classe textural (dados não apresentados). Nesse sentido, optou-se por apresentar a equação para o pH alvo obtida de todos os solos agrupados, em virtude do comportamento da relação pH SMP e da necessidade de calagem estimada pela curva de incubação sugerir que os resultados podem ser explicado por uma única equação.



**Figura 2.** Relação entre a necessidade de calagem pelo método da incubação e o pH SMP, nos solos para valor de pH em água 5,5 (a), pH em água 6 (b) e pH em água 6,5 (c).

Verifica-se pelo comportamento dos coeficientes angulares das diferentes equações, que para o aumento de cada unidade de pH SMP há uma variação de 0,6 tonelada de calcário adicionada no solo, independente do pH alvo (Figura 2a, b, c).

Em relação à necessidade de calcário nos solos pelo método SMP, nota-se que para um mesmo pH SMP a estimativa da necessidade de calagem para atingir os valores de pH 5,5; 6,0 e 6,5 aumenta  $1,7\ t\ ha^{-1}$  de calcário (Tabela 2). Os valores de pH SMP variaram de 6,5 a 5,5, gerando doses de calcário de 0,2 a 3,1; 0,6 a 4,8 e 0,5 a 6,5  $t\ ha^{-1}$  para alcançar pH em água de 5,5; 6,0 e 6,5, respectivamente (Tabela 2). As doses de calcário para determinar valores de pH pré-estabelecidos pelo método SMP são bastante similares ao obtido no estudo anterior pelo método da incubação. Porém, deve-se considerar que a estimativa do método SMP foi determinada de equações obtida do agrupamento de todos os solos, enquanto pelo método da curva de incubação foram de equações obtidas dos solos agrupados por classe textural.

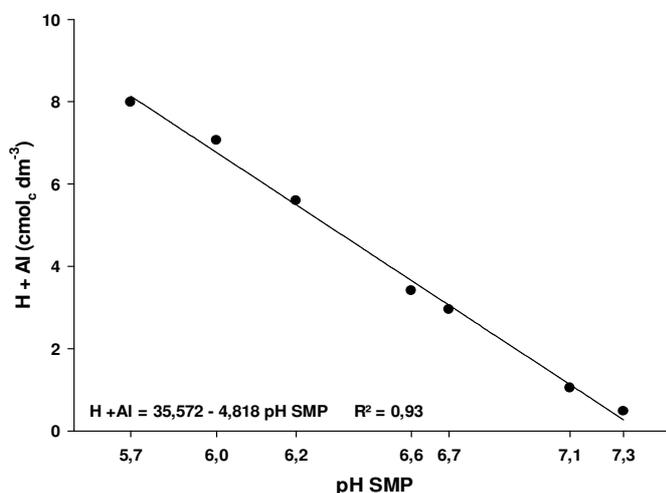
No geral, a aplicação do método SMP permitiu observar que são necessários em média 1,6; 2,7 e 3,5  $t\ ha^{-1}$  de calcário para que os solos alcancem o pH previsto (Tabela 2). Essas doses médias permitem o alcance de teores de Al trocável de 0,6; 0,1 e 0,2; de H+Al de 6,1; 5,3 e 4,7; percentagem de saturação por bases de 25, 35 e 40%, com pH em água de 5,4; 5,7 e 5,9, respectivamente.

**Tabela 2.** Necessidade de calcário estimada pelo método tampão SMP para elevar o pH em água do solo a 5,5; 6,0 e 6,5, em alguns solos do Estado do Amazonas.

pH SMP	pH H <sub>2</sub> O		
	pH 5,5	pH 6,0	pH 6,5
Necessidade de calcário (t ha <sup>-1</sup> )			
6,5	-	-	0,5
6,4	-	-	1,2
6,3	-	-	1,7
6,2	-	0,6	2,3
6,1	-	1,2	2,9
6,0	0,2	1,8	3,5
5,9	0,7	2,4	4,1
5,8	1,3	3,0	4,7
5,7	1,9	3,6	5,3
5,6	2,5	4,2	5,9
5,5	3,1	4,8	6,5

### 3.2. Calibração do método SMP para estimar a acidez potencial

Houve efeito significativo do pH SMP e a acidez potencial dos solos, sendo a relação descrita satisfatoriamente ( $r^2 = 0,93$ ) por um modelo linear (Figura 3). O comportamento da relação pH SMP e acidez potencial foram similares tanto na análise dos solos em conjunto, quanto no agrupamento por classe textural.



**Figura 3.** Relação entre acidez potencial (H + Al) extraídos com acetato de cálcio e pH SMP, nos solos estudados.

Conforme o coeficiente angular da equação nota-se que para o aumento de cada unidade de pH SMP, há uma variação de 0,48 nos valores da acidez potencial no solo (Figura 3).

Com a equação linear obtida da relação pH SMP e acidez potencial, estimou-se os valores de acidez potencial a partir dos resultados de pH SMP (Tabela 3). Verifica-se

que os teores de H+Al aumentaram à medida que diminuía o pH SMP, similares ao obtido pelas estimativas com o acetato de cálcio nos solos não incubados, variando de 0,40 a 9,07  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ .

**Tabela 3.** Equação linear  $H + Al = 35,572 - 4,818 \text{ pH SMP}$  para conversão de valores de pH SMP para acidez potencial (H + Al) em alguns solos do estado do Amazonas.

<b>pH SMP</b>	<b>H + Al</b> $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$	<b>pH SMP</b>	<b>H + Al</b> $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$	<b>pH SMP</b>	<b>H + Al</b> $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$
<b>7,5</b>	-	<b>6,8</b>	2,81	<b>6,1</b>	6,18
<b>7,4</b>	-	<b>6,7</b>	3,29	<b>6,0</b>	6,66
<b>7,3</b>	0,40	<b>6,6</b>	3,77	<b>5,9</b>	7,15
<b>7,2</b>	0,88	<b>6,5</b>	4,25	<b>5,8</b>	7,63
<b>7,1</b>	1,36	<b>6,4</b>	4,74	<b>5,7</b>	8,11
<b>7,0</b>	1,85	<b>6,3</b>	5,22	<b>5,6</b>	8,59
<b>6,9</b>	2,33	<b>6,2</b>	5,70	<b>5,5</b>	9,07

## 4. DISCUSSÕES

### 4.1. Recomendação de calagem pelo método SMP

O comportamento linear do pH SMP em função da recomendação de calagem pela curva de incubação foi semelhante ao obtido em outros estudos (Raij et al., 1979; Roseel e McBratney, 2001; Wolf et al., 2008). Resultados condizente com o esperado, uma vez que, a solução tampão SMP fornece uma relação linear negativa entre pH e ácido consumido. Além disso, a linearidade da relação é devida ao fato de que, quando o calcário é adicionado ao solo úmido, o cálcio reage lentamente com o Al causando apenas uma mudança gradual no pH (Shoemaker et al., 1961).

Por outro lado, as doses recomendadas nesse estudo são bem inferiores quando comparado ao recomendado para solos de outras regiões, isso sugere a necessidade de elaboração de uma curva de calibração para solos de cada região. Segundo Souza et al. (1980), se os solos forem muito diferentes, é necessária uma nova curva de calibração. Entretanto, isto discorda dos resultados obtidos por Murdock et al. (1978), Loyanachan (1981) e, Ernani e Almeida (1986), os autores verificaram similaridade de recomendação para um mesmo pH SMP, sugerindo que curvas calibradas para solos de uma região poderá ser utilizada em outras regiões.

Em relação ao comportamento semelhante entre o pH SMP e as necessidades de calagem para todos os solos e para os solos agrupados por classe textural, mostram que uma única curva de calibração poderá ser utilizada para os solos estudados. Contudo, de acordo com Ernani e Almeida (1986) os solos não devem apresentar grandes diferenças no tamponamento e nas suas causas determinantes. De fato, isso se justifica ao observar os trabalhos de Lucas (1982), o autor verificou que a quantidade de calcário requerida por unidade de pH varia entre os diferentes solos; Galvão e Vahl (1996) ao calibrar o método SMP para solos orgânicos observaram grande variabilidade dos solos em relação à necessidade de calcário.

Quanto às doses recomendadas pelo método SMP, a similaridade com as recomendadas no estudo anterior pela curva de incubação, era esperada já que o primeiro foi calibrado com o segundo. Convém lembrar que, o critério SMP permite fazer a recomendação de calagem bastando ler o pH em uma suspensão, tornando-se um

método simples e com alta acurácia. Conforme Raij et al. (1979), o método SMP é uma excelente alternativa para recomendar calagem visando corrigir o pH a determinados valores.

Em relação às estimativas dos atributos dos solos, com base nas doses médias recomendadas pelo método SMP, os teores de Al trocável e H+Al estão de acordo com as exigências de correção de acidez do solo considerados aceitáveis pela CFSEMG (1999). Da mesma forma, Ferreira et al. (2007) verificou que a recomendação de calagem pelo método SMP para solos de Roraima permitiu o alcance de teores de Ca+Mg, saturação em bases e pH em água compatíveis com as exigências de correção de acidez para bom desenvolvimento produtivo da maioria das plantas cultivadas.

Por outro lado, as estimativas para saturação por bases e pH em água são inferiores ao considerado adequado para o bom desenvolvimento das culturas, em torno de 50% de saturação por bases (Fageria, 2001; Oliveira et al., 2005) e pH em torno de 6,0 (Malavolta, 1989). Vale ressaltar que as estimativas dos atributos Al trocável, H+Al, saturação por bases e pH em água, foram obtidas de equações geradas de solos agrupados por classe textural, enquanto as doses são médias obtidas de equações geradas de valores de todos os solos agrupados, com isso provavelmente justificaria a subestimação de valores estimados de saturação por bases e pH em água.

#### **4.2. Avaliação da acidez potencial pelo pH SMP**

Os resultados obtidos apresentam comportamento semelhante com estudos no Estado do Rio de Janeiro (Pereira et al., 1998) e no noroeste do Estado do Paraná (Sambatti et al., 2003). O comportamento linear está associado a queda do teor de H+Al que diminuiu a medida que aumentou o pH SMP dos solos analisados. O que já era esperado, pois, quando o solo é posto em contato com o tampão SMP, seus ácidos são neutralizados pelas bases do tampão (Galvão e Vahl, 1996), com conseqüente elevação do pH.

Por outro lado nas demais regiões, as equações que apresentaram as melhores estimativas da acidez potencial foram a quadrática, a exponencial e logarítmica (Souza et al., 1989; Escosteguy e Bissani, 1999; Silva et al., 2000; Gama et al., 2002; Kaminski et al., 2002). Tais diferenças podem estar relacionadas com o fato de serem os solos com diferentes graus de textura podendo muitas vezes apresentar baixo poder tamponante (Ciprandi, 1993). Pois Nascimento (2000), este fato pode ser explicado pela diversidade de características químicas e mineralógicas de solo, que influem no seu tamponamento, corroborando a necessidade de ajuste regional para a estimativa da acidez potencial, pelo método pH SMP.

Quando comparado a estimativa da acidez potencial com as equações obtidas para diferentes Estados, verifica-se que a aplicação dessas equações superestima as quantidades de acidez potencial dos solos do estado do Amazonas. Corroborando com as observações de Silva et al. (2002) e Silva et al. (2006), que ao estudarem a estimativa da acidez potencial pelo pH SMP em solos minerais das regiões norte e Vale do Jequitinhonha, ambas no Estado de Minas Gerais, verificaram que a aplicação de equações desenvolvidas para outras regiões do Brasil proporciona uma superestimativa das quantidades de acidez potencial desses solos. Sugerindo a necessidade de elaboração de uma curva de calibração para solos de cada região Kaminski et al., 2002; Escosteguy e Bissani, 1999). Pois segundo Silva et al. (2006), as equações obtidas durante o processo de calibração podem variar de acordo com decorrência das diferentes

características dos solos, tais como: CTC, matéria orgânica, pH do solo, teor e tipo de argila, dentre outras.

Quanto a pequena variação dos teores de acidez potencial por unidade de pH, sugere que a adoção do método SMP para estimar a acidez potencial dos solos do estado do Amazonas apresenta uma boa acurácia. Corroborando com as observações de Pereira et al. (1998), além de avaliarem o uso da solução-tampão SMP, também verificaram ser possível uma adaptação do método do acetato de cálcio para determinação da acidez potencial. Gama et al. (2002) também obteve baixos valores de variação entre as equações determinada em trabalho com solos paranaenses.

Segundo Rajj et al. (1987) e Ciprandi (1993), a acidez potencial pode ser estimada pelo uso do pH SMP, o qual apresenta boa correlação com o teor do H + Al extraído com acetato de cálcio. Considerando a facilidade e a eficiência apresentada na estimativa da acidez potencial, esse método tem sido utilizado por vários laboratórios brasileiros em substituição ao método da solução do acetado de cálcio (Silva et al., 2000). Uma vez que, segundo Moreira et al. (2004), este método é de fácil execução e apresenta boa correlação com a quantidade de H + Al extraída com acetato de cálcio.

## 5. CONCLUSÕES

O método SMP correlacionou satisfatoriamente com as necessidades de calcário dos solos estudados e mostrou-se eficaz em prever a necessidade de calagem para elevar o pH do solo a valores de 6,5; 6,0 e 5,5.

A acidez potencial (H + Al) dos solos da região estudada no estado do Amazonas pode ser determinada indiretamente pela utilização da solução-tampão SMP, empregando-se a equação de regressão linear  $H + Al = 35,572 - 4,818pH \text{ SMP}$ .

## AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Desenvolvimento agropecuário do Estado do Amazonas pelo apoio na coleta das amostras de solos, e ao Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia pelo apoio as análises químicas dos solos e plantas.

## 6. REFERÊNCIAS

- Aitken RL, Woody PW, Dickson T. 1995. Field calibration of lime requirement soil tests. In 'Plant and soil interactions at low pH'. Proceedings of the 3rd International Symposium on Plant-soil Interactions at low pH, Brisbane, Qld. (Eds RA Date, NJ Grundon, GE Rayment, ME Probert) pp. 65-70. (Kluwer Academic Publishers: Dordrecht).
- Alvarez Van, V.H., Ribeiro, A.C., 1999. Calagem. In: Ribeiro, A.C., Guimarães, P.T.G., Alvarez, V.H. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 359p
- Bouyoucos, G.J., 1927. The hydrometer method improved for the mechanical analysis of soil. Soil Science. 23: 343-353.
- Campanharo, M., Lira junior, M. de A., Nascimento, C.W.A. do, Freire, F.J., Costa, J. V.T. da. 2007. Avaliação de métodos de necessidade de calagem no Brasil. Revista Caatinga. 20(1):97-105.

Ciprandi, M.A.O. 1993. Avaliação da metodologia de determinação da acidez ativa e potencial em solos do Rio Grande do Sul. 90p. (Tese de mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Corrêa, J.B.; Costa, P.C.; Lopes, A.S. & Carvalho, J.G. Avaliação de H + Al pelo método SMP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 12., Caxambu, 1985. Anais. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro do Café, 1985. p.111-112.

Edmeades, D.C.; Pringle, R.M.; Mansell, G.P.; Shannon, P.W.; Ritchie J.; Stewart, K.M. 1985. Effects of lime on pasture production on soils in the North Island of New Zealand 5. Description of a lime recommendation scheme. New Zealand journal of experimental agriculture 13: 47-58.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2.ed. Rio de Janeiro. Embrapa, 2006. 306p.

Ernani, P.R. e Almeida, J.A., 1986. Comparação de métodos analíticos para avaliar a necessidade de calcário dos solos do estado de Santa Catarina. Revista Brasileira de Ciências do Solo, 10: 143-150.

Escosteguy, P. A.; Bissani, C. A. 1999. 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, n.1, p.175-179.

Fazio, P.I. 1979. Seleção e avaliação de métodos para estimar a necessidade de calcário em solos brasileiros. 99p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Ferreira, D.F., 2011. Sisvar: a computer statistical analysis system. Ciência e Agrotecnologia (UFPA). 35(6): 1039-1042.

Fox, R.L., Hue, N.V., Parra, A.J., 1987. A turbidimetric method for determining phosphate-extractable sulfates in tropical soils. Communications in Soil Science Plant and Analysis. 18:343-357.

Fullin, E.A., 2001. Acidez do solo e calagem. In: Dadalto, G.G., Fullin, E.A. Manual de necessidade de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo. Vitória:SEEA/INCAPER. p.70-98.

Gama, M.A.P.; Prochnow, L.I.; Gama, J.R.N.F. 2002. Estimativa da acidez potencial pelo método SMP em solos ocorrentes no nordeste paraense. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.26, p.1093-1097.

Hatcher, J.T. e Wilcox, L.V., 1950. Colorimetric determination of boron using carmine. Analytical Chemistry, 22: 567-569.

lime requirement methods. Soil Sci. 131:178-188.

Kaminski, J., Gatiboni, L.C., Rheinheimer, D.S., Martins, J.R., Santos, E.J.S., Titsot, C.A. 2002. Estimativa da acidez potencial em solos e sua implicação no cálculo da necessidade de calagem. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 26: 1107-1113.

Lindsay, W.L. e Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. Soil Science Society of America Journal. 42(3): 421-428.

Lopes, A. S., M. de C. Silva e Guilherme, L.R.G., 1990. Acidez do solo e calagem. 3ª ed.-São Paulo, ANDA. 22 p. (Boletim Técnico, 1).

Maeda, S.; Kurihara, C.H.; Hernani, L.C.; Fabricio, A.C.; Silva, W.N. 1997. Estimativa da acidez potencial pelo método do pH SMP, em solos do Mato Grosso do Sul. Dourados: Embrapa Meio Oeste,. 25p. (Boletim de Pesquisa, 3).

Malavolta, E., 1980. Elementos de nutrição mineral de plantas. Piracicaba: Agronômica Ceres. 251p.

- McLean, E.O., Heddlson, M.R., Bartlett, R.J., Holowaychuk, N., 1958. Aluminum in soils: I. Extraction methods and magnitude in clays and Ohio soils. *Soil Science Society of America Proceedings*. 22: 382-387.
- Mehlich, A., 1953. Determinatio of P, Ca, Mg, K, Na and NH<sub>4</sub> by North Carolina Soil Testing Laboratories. Raleigh, University of North Carolina.
- Moreira, A., Almeida, M.P., Costa, D.G., Santos, L.S. 2004. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 39:89-92.
- Nascimento, C.W.A. 2000. Acidez potencial estimada pelo pH SMP em solos do Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, Viçosa, 24:679-682.
- Pavan, M.A.; Bloch, M.F.; Zempulski, H.C.; Miyazawa, M.; Zocoler, D.C. 1992. Manual de análise química de solo e controle de qualidade. Londrina: IAPAR, 39p. (IAPAR. Circular, 76).
- Pereira, M.G.; Valladares, G.S.; Souza, J.M.P.F.; Pérez, D.V. e Dos Anjos, L.H.C. 1998. Estimativa da acidez potencial pelo método do pH SMP em solos do Estado do Rio de Janeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:159-162.
- Quaggio, J.A. 2000. Acidez e calagem em solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas. 111p.
- Quaggio, J.A.; Raij, B. van. Determinação do pH em cloreto de cálcio e da acidez total. In: Raij, B. van; Andrade, J.C.; Cantarella, H.; Quaggio, J.A. (Ed.). *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. p.181-188.
- Quaggio, J.A.; Ramos, V.J.; Bataglia, O.C.; Raij, B. VAN; Sakai, M. 1985. Calagem para sucessão batata-triticale-milho usando calcário com diferentes teores de magnésio. *Bragantia*, v.44, p.391-406.
- Raij, B. Van e Quaggio, S. 1983. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas: Instituto Agrônômico. 31p. (Boletim Técnico, 81).
- Rossel, R.A.V., and A.B. McBratney. 2001. A response surface calibration model for rapid and versatile site-specific lime requirement predictions in southeastern Australia. *Austr. J. Soil Res.* 39:185-201.
- Sambatti, J. A., Souza Junior, I.G., Costa, A.C.S., Tormena, C.A. 2003. Estimativa da acidez potencial pelo método do pH SMP em solos da formação Caiuá-Noroeste do estado do Paraná. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 27:257-264.
- Schofield, R.K. e Taylor, A.W., 1955. The measurement of soil pH. *Soil Science Society of America Proceedings*. 19: 164-167.
- Shoemaker, H.E., McLean, E.O. and Pratt, P.F., 1961. Buffer methods for determining lime requirement of soils with appreciable amounts of extractable aluminum. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 25:274-277.
- Shuman, L.M. e Duncan, R.R. 1990. Soil exchangeable cations and aluminum measured by ammonium chloride, potassium chloride, and ammonium measured by ammonium chloride, potassium chloride, and ammonium acetate. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 21: 1217-1218.
- Silva, C.A.; Avellar, M.L. e Bernandi, A.C.C. 2000. Estimativa da acidez potencial pelo pH SMP em solos do semi-árido do nordeste brasileiro. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:689-692.
- Silva, E.B.; Dias, M.S.C.; Gonzaga, E.I.C. & Santos, N.M. 2002. Estimativa da acidez potencial pelo pH SMP em solos da região norte do Estado de Minas Gerais. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:561-565.

- Silva, F.C., 1999. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 370p.
- Silva, E.B., Costa, H.A.O., Farnezi, M.M.M. 2006. Acidez potencial estimada pelo método do SMP pH em solos da Região do Vale do Jequitinhonha no Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 30:751-757.
- Sousa, D.M.G.de, Miranda, L.N.de, Lobato, E., Castro, L.H.R., 1989. Métodos para determinar as necessidades de calagem em solos dos cerrados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 13: 193-198.
- Tran, T.S., and W. Van Lierop. 1981. Evaluation and improvement of buffer-pH
- Vasconcellos, C.A., Santana, D.P., Ferreira, L. 1994. Métodos de determinação da necessidade de calagem e características físico-químicas de alguns solos de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 29(8): 1253-1263.
- Walkley, A. e Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37:29-38.