



VANESSA DE OLIVEIRA LIMA REIS

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO
VERMELHO-AMARELO INCUBADO COM DOSES
CRESCENTES DE CALCÁRIO**

**LAVRAS – MG
2019**

VANESSA DE OLIVEIRA LIMA REIS

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO
INCUBADO COM DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Silvino Guimarães Moreira
Orientador
Me. Flávio Araújo de Moraes
Coorientador

**LAVRAS – MG
2019**

VANESSA DE OLIVEIRA LIMA REIS

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO
INCUBADO COM DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO
CHEMICAL ATTRIBUTES OF AN INCUBATED RED-YELLOW LATOSOL
WITH INCREASED CALCARY DOSES**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 12 de junho de 2019

Me. Júlia Rodrigues Macedo - UFLA

Me. Carine Gregório Machado Silva - UFLA

Prof. Dr. Silvino Guimarães Moreira
Orientador

Me. Flávio Araújo de Moraes
Coorientador

**LAVRAS – MG
2019**

À Deus por estar ao meu lado e ser presença em minha vida e me cobrir de bênçãos. À minha amada mãe Neide pelo incentivo, carinho e por ser meu maior exemplo de vida. Ao meu pai Jasmam por compreender o cansaço do dia a dia e pelo amor incondicional. À minha irmã pelo carinho, amor e amizade.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus, por iluminar a minha vida e cuidar de cada detalhe de uma forma especial, pela proteção e por me manter forte e firme na fé diante das diversas situações e escolhas da minha vida.

A minha mãe, Neide, por todos os ensinamentos, toda paciência, todas as orações, todo amor e por me apoiar sempre nas minhas decisões e ao meu pai, Jasvam, pela confiança, carinho, preocupação, incentivo, motivação e amor.

À minha irmã Marília, pela amizade, apoio e carinho de sempre. Por demonstrar que eu tenho sempre um braço amigo para me guiar e me apoiar em momentos delicados de minha vida.

Ao meu namorado Túlio, por todo amor, pela perseverança, companheirismo, pela paciência, pelos conselhos preciosos e por todos os ensinamentos e orientações sou imensamente grata. Você foi um apoio muito importante nessa etapa de minha vida.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Agricultura, juntamente com todos os excelentes professores e funcionários que me proporcionaram um aprendizado de qualidade.

Ao professor e orientador Dr. Silvino Guimarães Moreira que tive o privilégio de trabalhar e aprender bastante. Obrigada por todos os ensinamentos e pelas oportunidades.

A todos meus amigos, pela compreensão, pela ajuda diária, pelo apoio e pela parceria.

Ao meu Coorientador Flávio Araújo de Moraes, pelo auxílio, paciência, credibilidade, pela amizade e dedicação durante a condução desse trabalho.

Ao Grupo de Pesquisa em Manejo de Produção (G-MAP), pelo convívio, descontração, ensinamentos, aprendizado e grandes oportunidades, o que foi um diferencial na minha formação.

Ao Núcleo de estudos em Genética e Melhoramento de Plantas (GEN) por todo conhecimento e grandes amizades.

A minha família e a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização deste trabalho.

MUITO OBRIGADA!

RESUMO

Os solos brasileiros destinados à agricultura originalmente são ácidos e de baixa fertilidade natural em sua maioria. Para incorporar solos com essas características ao sistema produtivo, a primeira prática a ser realizada é a calagem, utilizando-se uma dose suficiente de calcário para neutralizar a acidez do solo e disponibilizar Ca^{2+} e Mg^{2+} . Assim sendo, esse trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da calagem na correção da acidez do solo, na disponibilidade de nutrientes e na elevação da V% em um solo incubado com diferentes doses de calcário. O trabalho foi realizado no setor de Grandes Culturas na Universidade Federal de Lavras-MG. Foi realizada a incubação de três Latossolos Vermelho-Amarelos. Os solos foram coletados na profundidade de 0 a 40 cm, em três áreas localizadas na mesorregião do Campo das Vertentes. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. As doses utilizadas de calcário foram de 1,5; 3,0; 4,5; 6,0; 7,5 g dm^{-3} , que correspondem às doses de 0, 3, 6, 9, 12, 15 t ha^{-1} . Foram utilizados 2 dm^3 de solo. As amostras foram incubadas por 90 dias e mantidas a 70% da capacidade de campo. Após o período de incubação, foram coletadas amostras de solo de cada vaso para determinação de alguns atributos químicos do solo. Os dados foram submetidos a análises estatísticas. De maneira geral, a calagem aumentou os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , elevou os valores de pH (CaCl_2) e V% e reduziu os teores de H+Al. Além disso, verificou-se influência das doses de calcário na disponibilidade de alguns micronutrientes.

Palavras-chave: Micronutrientes. Saturação por bases. Acidez do solo.

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO.....	8
2 - REFERENCIAL TEÓRICO.....	9
2.1 - Influência da calagem na acidez do solo	9
2.2 - Métodos de recomendação de calagem	10
2.3 - Calagem e a disponibilidade de nutrientes	11
3 - MATERIAL E MÉTODOS.....	13
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
5 - CONCLUSÕES	23
REFERÊNCIAS	24

1 - INTRODUÇÃO

Os solos brasileiros destinados à agricultura originalmente são ácidos e com baixa fertilidade natural. Assim, a produção de alimentos e matéria-prima agrícola é muito dependente da calagem (ROSSA, 2006). Solos ácidos limitam o crescimento e aprofundamento do sistema radicular, reduzindo a disponibilidade de nutrientes e a atividade biológica, o que afetará o estabelecimento e o desenvolvimento das culturas (CAMPANHARO et al., 2007; CHAVES; FARIAS, 2008).

A aplicação de calcário é fundamental para elevar o pH, neutralizar a acidez do solo e reduzir a toxidez de Al. Além disso, há benefícios como o fornecimento de nutrientes como Ca^{2+} e Mg^{2+} que são fundamentais para o desenvolvimento das plantas (AZEVEDO et al., 1996; MIRANDA; MIRANDA, 2000).

O calcário transforma os solos, deixando-os férteis, ou seja, capazes de permitir que as culturas expressem seu potencial produtivo. Essa prática é a mais efetiva na correção da acidez do solo e apresenta baixo custo. Além disso, ressalta-se que existem vastas reservas de calcário distribuídas em todo o território nacional (FAGERIA; STONE, 2004).

O Brasil conta com vários métodos de determinação da necessidade de calagem, mas apesar da existência desses métodos ainda há dúvidas relativas às doses a serem aplicadas quando se pensa na incorporação de calcário até 40 cm de profundidade, sobretudo porque as metodologias atuais calculam as doses para a camada referencial de 0 e 20 cm de profundidade. Dessa forma, para maiores profundidades é feita a multiplicação proporcional à camada de incorporação, o que nem sempre corresponde à dosagem correta (RAIJ, 2011a).

Em áreas que apresentam alta acidez e baixos teores de nutrientes tem se utilizado doses acima das recomendadas pelos métodos oficiais e incorporação do corretivo. Essas decisões têm sido tomadas com base em observações empíricas, necessitando-se de dados científicos para a sua validação, o que mostra a necessidade de novos estudos, pois é essencial que a calagem não só corrija a camada superficial, mas também evite a acidificação do subsolo (RAIJ, 2011a).

Tem-se observado que a recomendação de calagem pelos métodos oficiais requer, em muitos casos, novas aplicações de corretivos durante dois a três anos para que os solos atinjam os valores de V% e teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} adequados (MOREIRA; MORAES,

2018). Assim sendo, objetivou-se avaliar a eficiência da correção da acidez e disponibilidade de nutrientes em solos incubados com doses crescentes de calcário.

2 - REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 - Influência da calagem na acidez do solo

A acidez do solo é um limitante para a produção agrícola em consideráveis áreas no mundo, em decorrência dos altos teores Al e Mn em níveis tóxicos e da baixa saturação por bases (COLEMAN; NOONAN, 1967). Por esse motivo, as raízes das plantas não se desenvolvem em solos ácidos, restringindo o seu crescimento às camadas superficiais (PAVAN et al., 1982). De acordo com Caires et al. (2004), o uso do calcário é a prática mais eficiente para elevar o pH e reduzir Al trocável e Mn, quando tóxico, às plantas. Dessa forma, a calagem é uma prática indispensável no processo de construção da fertilidade e correção do perfil do solo.

Solos com altos teores de Al, com grande quantidade de matéria orgânica e de argila, geralmente, demandam maiores quantidades de calcário, isso ocorre por serem essas as principais fontes de acidez e de tamponamento dos solos (FOLONI et al., 2008). Os solos sob cerrado, normalmente, apresentam baixa produtividade em estado natural (FAGERIA; STONE, 2004).

Devido à influência da acidificação dos solos no desenvolvimento das plantas, deve-se compreender seus processos e saber quais os critérios devem ser considerados para que se faça uma correção eficiente (QUAGGIO, 2000). Sendo assim, sabe-se que a acidez do solo pode ser dividida em acidez ativa e acidez potencial, na qual a acidez potencial é subdividida em acidez trocável e acidez não trocável. A acidez ativa é aquela representada pelo hidrogênio que está na solução, na forma de H^+ e é expressa em valores de pH (LOPES et al., 1991).

A acidez trocável refere-se aos íons H^+ , em pequenas quantidades ligados à matéria orgânica, e ao Al^{3+} que está adsorvido na superfície dos colóides por forças eletrostáticas. Por sua vez, a acidez não trocável é representada pelo hidrogênio, com ligação covalente aos colóides do solo. Assim sendo, a acidez potencial representa a soma da acidez trocável e da acidez não trocável do solo (LOPES et al., 1991).

Devido ao poder tampão do solo, que é a capacidade do solo em resistir à variação do pH, alguns autores mencionam a dificuldade de se estimar a acidez potencial,

principalmente para aqueles solos que apresentam maior poder tampão (KAMINSKI et al., 2002; KOSTENKO, 2015; LEBLANC et al., 2016; ZANCANARO et al., 2018).

Acredita-se que essa dificuldade está relacionada com a textura, mineralogia e ao teor de matéria orgânica do solo (PAVINATO, ROSOLEM; 2008). Sendo assim, são necessários estudos detalhados dessas variáveis que influenciam na acidez do solo.

2.2 - Métodos de recomendação de calagem

Para se estimar a dose do corretivo a ser recomendada, além da análise química é preciso fazer a escolha do método que se vai utilizar. Os métodos de recomendação de calcário visam fornecer doses suficientes para a correção da acidez do solo, aumento dos valores de pH (H₂O) para níveis ideais, entre 6,0 e 6,5 e fornecimento de Ca²⁺ e Mg²⁺ (NOLLA; ANGUINONI, 2004).

Para recomendação de calagem no Brasil é possível utilizar o Método de Minas (ALVAREZ; RIBEIRO, 1999), o Método de São Paulo (RAIJ et al., 1997), o Método da Solução Tampão (SMP) (SHOEMAKER et al., 1961) e o Método de incubação com CaCO₃ (RAIJ; QUAGGIO, 1997; QUAGGIO, 2000).

O primeiro método, de Minas, considera no cálculo da dose a quantidade de calcário necessária para neutralizar o Al³⁺, somada com a quantidade para elevar os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺, considerados adequados para cada cultura (MARTINEZ et al., 1999).

O método da Saturação por Bases considera a quantidade de calcário necessária para se elevar a V% a valores adequados de acordo com cada cultura (RAIJ et al. 1997). A V% está relacionada ao fornecimento de bases (Ca, Mg, K) em níveis ótimos para o desenvolvimento das plantas, visando a produção máxima das culturas (FAGERIA, 2001a). Por sua vez, nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina é utilizada a solução tampão SMP, a qual utiliza-se a solução tampão na amostra de solo para descobrir o valor do pH e por meio de uma tabela chega-se à quantidade de calcário a ser aplicada (SHOEMAKER et al., 1961).

Segundo Nolla e Anguioni (2004), o método de incubação com CaCO₃ consiste na determinação da dose de calcário necessária para atingir os valores referenciais dos índices de acidez e isso é feito por meio de doses crescentes de calcário em amostras de solos representativas da região.

Assim, amostras devidamente umedecidas são incubadas por tempo necessário para a completar a reação do carbonato com as fontes de acidez do solo. Com a determinação dos índices de acidez, são elaboradas curvas de neutralização. Por meio das curvas de calibração, pode-se determinar a dosagem de corretivo a ser utilizada no momento da calagem (RAIJ e QUAGGIO, 1997; QUAGGIO, 2000).

Esse método, por ser bastante preciso é muito utilizado para a calibração de outros métodos mais práticos, sendo considerado um método padrão (NOLLA; ANGHINONI, 2004; MELÉM JÚNIOR et al., 2008). No entanto, devido à grande demanda por mão de obra e tempo ele não é muito utilizado na prática (SOUSA et al., 2014).

Apesar dos métodos de determinação da necessidade de calagem apresentarem fundamento científico adequado, na prática como visto anteriormente, as metodologias utilizadas não têm sido eficientes para calcular uma dose adequada de corretivo para correção da acidez do solo e aumento da V% (QUAGGIO et al., 1982; CAIRES; ROSOLEM, 1993), principalmente se pensando em incorporação profunda, visando a construção da fertilidade do solo ao longo do perfil, a fim de se alcançar altas produtividades (RAIJ, 2011).

2.3 - Calagem e a disponibilidade de nutrientes

A calagem, como falado anteriormente, é considerada um grande salto tecnológico, difundida e comumente utilizada em todas as regiões brasileiras para corrigir solos ácidos (FOLONI et al., 2008). Porém para se alcançar valores adequados de V% na profundidade de 40 cm, as quantidades de calcário aplicadas têm sido maiores do que as indicadas pelos métodos oficiais. Acredita-se que essas doses acima das recomendadas pela literatura possam causar grandes problemas na disponibilidade de micronutrientes, reduzindo a produtividade das culturas, uma vez que ocorre elevação do pH a valores iguais ou acima de 7 (FOLONI et al., 2008).

São vários os fatores que podem alterar a disponibilidade de nutrientes no solo tais como, teor de matéria orgânica, potencial redox, temperatura, umidade, atividade de microrganismos, fisiologia da planta, além da competição por sítios de adsorção e até mesmo pelo próprio sistema de cultivo (FAGERIA et al., 2002; MOREIRA et al., 2017).

O Cu, por exemplo, é um micronutriente que pode ser fortemente complexado pela matéria orgânica (ABREU et al., 2007; BASTA; TABATABAI, 1992; VITTI; TREVISAN, 2000), o que diminui sua disponibilidade. Por outro lado, o Mn e Fe tem sua

disponibilidade alterada na solução em função das condições de oxirredução do solo (ABREU et al., 2007). Segundo Gupta et al. (2008), de um modo geral, tem se atribuído as deficiências ao aumento excessivo do pH na camada superficial do solo.

Apesar disso, esta explicação pode não ser sempre correta, pois mesmo quando o pH estava alto, foram encontrados teores adequados de Zn e Mn nas camadas superficiais de solos sob sistema de plantio direto de alguns estudos (TEIXEIRA et al., 2003; MOREIRA et al., 2006; MOREIRA et al., 2016).

De um modo geral, os sintomas de deficiências de micronutrientes tem aparecido em condições de pH elevado, maior ou igual a 7, o que pode ser evitado realizando-se a calagem com uma dose adequada (MOREIRA et al., 2017; MOREIRA; MORAES, 2018). Ainda assim, novos estudos devem ser realizados, pois o aparecimento das deficiências pode estar relacionado ao aumento do pH após a aplicação de calcário, mas as respostas serão variáveis dependendo de cada condição devido ao comportamento variável do pH de acordo com o tamponamento dos solos.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido no setor de Grandes Culturas da Universidade Federal de Lavras. Para sua realização, foram coletadas amostras de três Latossolos Vermelho-Amarelos em áreas na mesorregião do Campo das Vertentes, cujos atributos químicos e do solo estão representados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 - Análise química dos solos amostrados (LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO), antes da implantação do experimento.

pH (CaCl ₂)	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	H+Al	T	V %	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		cmol _c dm ⁻³							mg dm ⁻³			
Solo 1												
5,4	0,1	0,1	0,3	0,2	3,1	3,7	18	0,2	7,1	36	19	0,3
Solo 2												
5,5	0,6	0,1	4,1	1,4	2,3	7,9	71	0,1	3,4	30	33	1,1
Solo 3												
5,0	0,3	0,1	1,0	0,3	4,0	5,5	29	0,1	2	27	7	0,4

Tabela 2 –Análise textural (LATOSSOLO VERMELHO- AMARELO), antes da implantação do experimento.

Prof cm	Areia	Silte	Argila	Classificação textural
	g kg ⁻¹			
Solo 1				
0-20	251	208	541	Argilosa
20-40	232	197	571	
Solo 2				
0-20	444	161	395	Argilosa
20-40	425	153	422	
Solo 3				
0-20	235	303	462	Argilosa
20-40	239	277	485	

As amostras dos solos foram coletadas da camada de 0 a 40 cm de profundidade. O solo foi destorroado, peneirado em peneira de 2,0 mm de malha e seco em estufa de secagem e esterilização a 105 °C. Posteriormente, as amostras dos três solos foram colocadas em recipientes, para a saturação do solo (Figura 1). Depois de saturado, foi

determinada a Ucc (Umidade na capacidade de campo), que consiste no conteúdo de água retirada pelo solo após a saturação e consequente ação da gravidade, até o cessamento da drenagem livre. O cálculo foi feito com a equação abaixo proposta por Souza et al. (2000):

$$MU = MS \times (1 + UCC \times 0,7)$$

onde MU foi a massa úmida, em kg, na capacidade de campo obtida pela pesagem dos três solos; MS foi a massa seca, em kg, determinada para os vasos (N=3) e UCP foi a umidade do solo, em g/g, na capacidade de campo, obtida em laboratório, pelo método gravimétrico padrão de estufa (EMBRAPA, 2011). Após a estimativa da massa seca em estufa e com o valor da umidade obtido, o peso (MU) de cada vaso, com capacidade para 5L, foi definido. O calcário utilizado no experimento continha 35% de CaO, 19 % de MgO e um PRNT igual a 74 %.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, sendo cada unidade experimental representada por um vaso de capacidade de 2 Kg de solo. As amostras de solo foram colocadas para incubação com diferentes doses de calcário. Os tratamentos consistiram em seis doses crescentes de calcário equivalentes a 0, 3, 6, 9, 12 e 15 t ha⁻¹, que corresponde a 0; 1,5; 3,0; 4,5; 6,0 e 7,5 g/dm³, com quatro repetições totalizando setenta e duas unidades experimentais.

As doses de calcário foram adicionadas nas suas respectivas unidades experimentais, homogeneizadas e armazenados em recipientes plásticos com capacidade para 5L, contendo 2kg de solo. A umidade do solo em cada unidade experimental foi mantida em 70% da capacidade de campo, realizando-se pesagens diárias para adicionar água e manter essa capacidade de campo por todo período de incubação.

Aos 90 dias após o início da incubação foram coletadas amostras de solo de cada unidade experimental para determinar os seguintes atributos químicos: Ca, Mg, H+Al, B, Cu, Fe, Mn e Zn, conforme metodologia descrita por Silva (1999), além dos valores de pH (CaCl₂), T e V%. Os resultados dessas variáveis foram submetidos à análise de variância e quando significativos à análise de regressão.

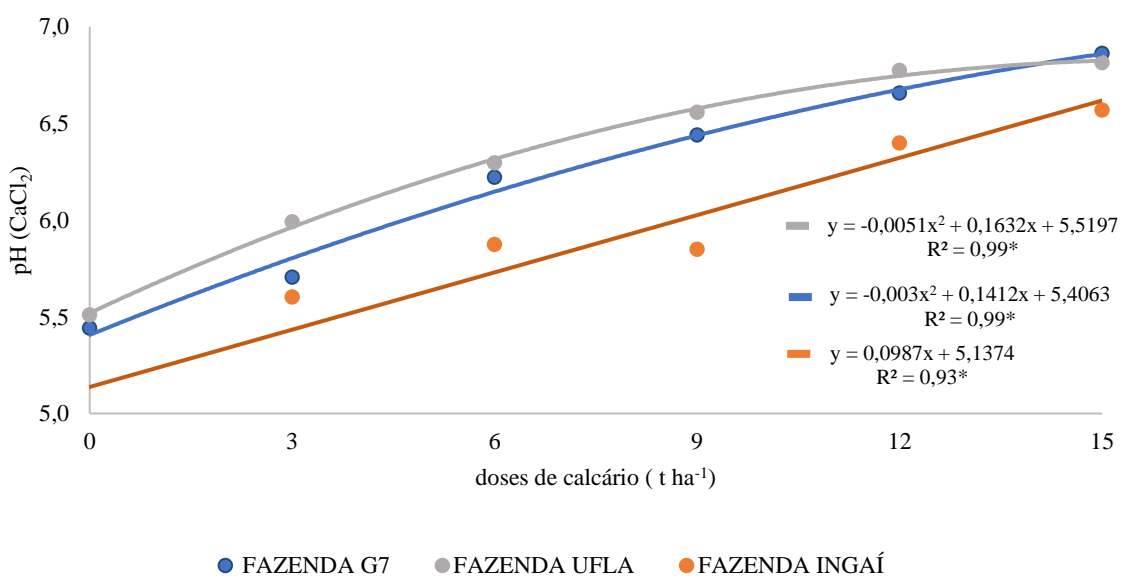
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância dos resultados provenientes da análise química do solo, nos 90 dias de incubação, demonstrou que as doses de calcário influenciaram as variáveis pH (CaCl_2); H^+Al ; Ca^{2+} Mg^{2+} ; V% e os micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn nos três locais.

De acordo com Almeida et al. (1999), Natale et al. (2007), as alterações sobre essas variáveis já eram esperadas, uma vez que as modificações químicas após a calagem têm proporcionado incrementos nos teores de bases no solo, saturação por bases, aumento do pH e a diminuição de Al trocável, proporcionando melhorias significativas na fertilidade do solo e refletindo em aumento de produtividade da maioria das culturas.

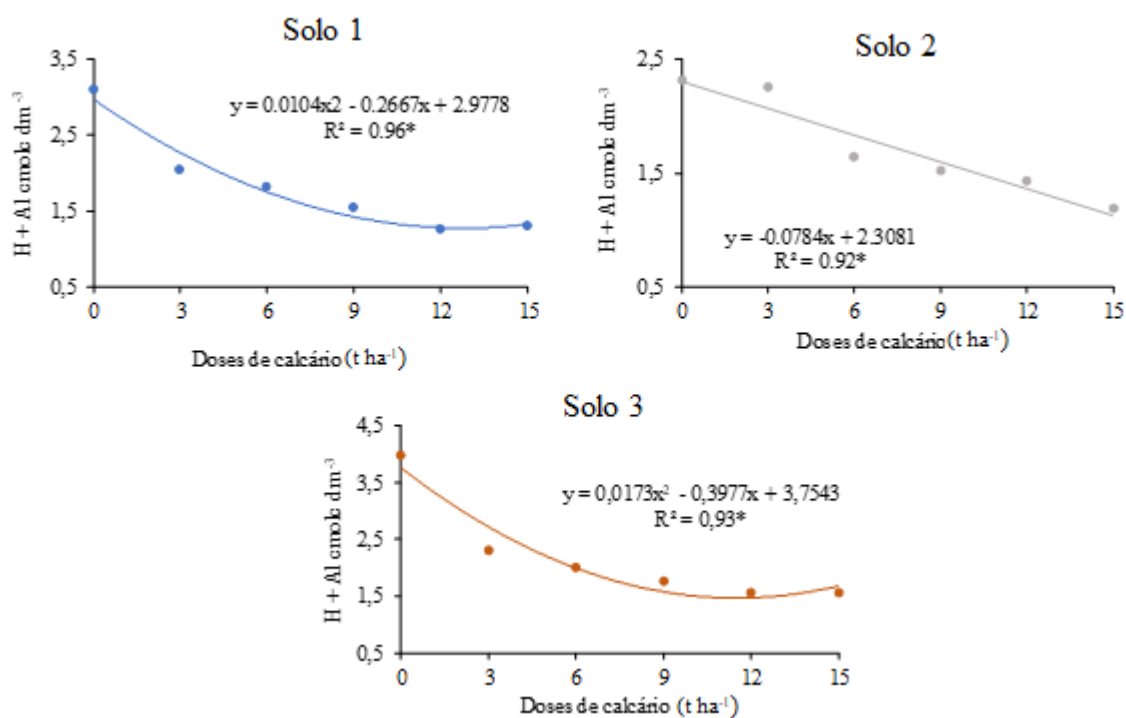
Assim, as doses crescentes de calcário aplicadas no solo promoveram alterações significativas nos valores de pH e H^+Al (Figura 1 e Figura 2) dos três locais. O efeito da calagem sobre os valores de pH teve ajuste quadrático, exceto para o solo da Fazenda da Solo 3, onde foi observado efeito linear.

Figura 1 - Valores de pH do solo após 90 dias da aplicação das doses de calcário da Solo1, Solo 2 e da Solo 3.



Fonte: Do autor (2019)

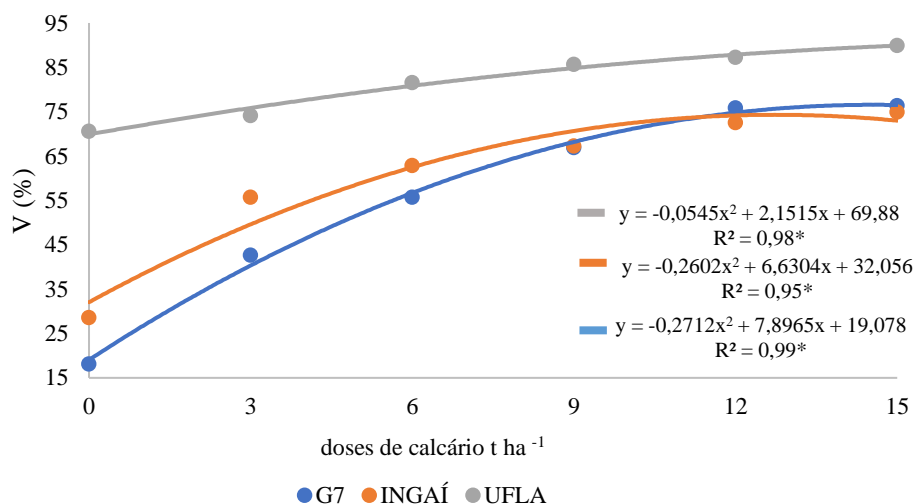
Figura 2- Valores de H+Al do solo após 90 dias da aplicação das doses de calcário do Solo 1, Solo 2 e do Solo 3.



Fonte: Do autor (2019)

Como proposto por Moraes (2018), para elevar a saturação por bases no Solo 1, Solo 2 e Solo 3 a 70%, valor ideal segundo Raij et al. (1997), seriam necessárias 2,6, 0,0 e 3,0 t ha⁻¹ de calcário, respectivamente, com PRNT de 74%, uma vez que os valores médios iniciais de V% segundo a Tabela 1 eram de 18, 71 e 29. Porém, esses valores são calculados para a camada de 0 a 20 cm de profundidade e, pensando em altas produtividades e na construção do perfil do solo, o calcário deveria ser aplicado visando uma profundidade de 0 a 40 cm. Assim sendo, na prática, as doses seriam multiplicadas por dois, o que corresponderia a 5,0; 0,0 e 6,0 t ha⁻¹ de calcário para essas áreas. Para o cálculo das doses por meio das equações de regressão da Figura 3, as doses necessárias seriam de 9,6 e 8,7 t ha⁻¹ de calcário para que os valores de V% iguais a 70 fossem atingidos nos Solo 1 e Solo 3, respectivamente. No Solo 2, mesmo com um V% inicial de 71, após a aplicação de 15 t ha⁻¹ não houve grandes alterações, mostrando um poder tampão elevado neste solo.

Figura 3 - Saturação por bases (V%) dos Solos 1,2 e 3 após aplicação das doses crescentes de calcário.

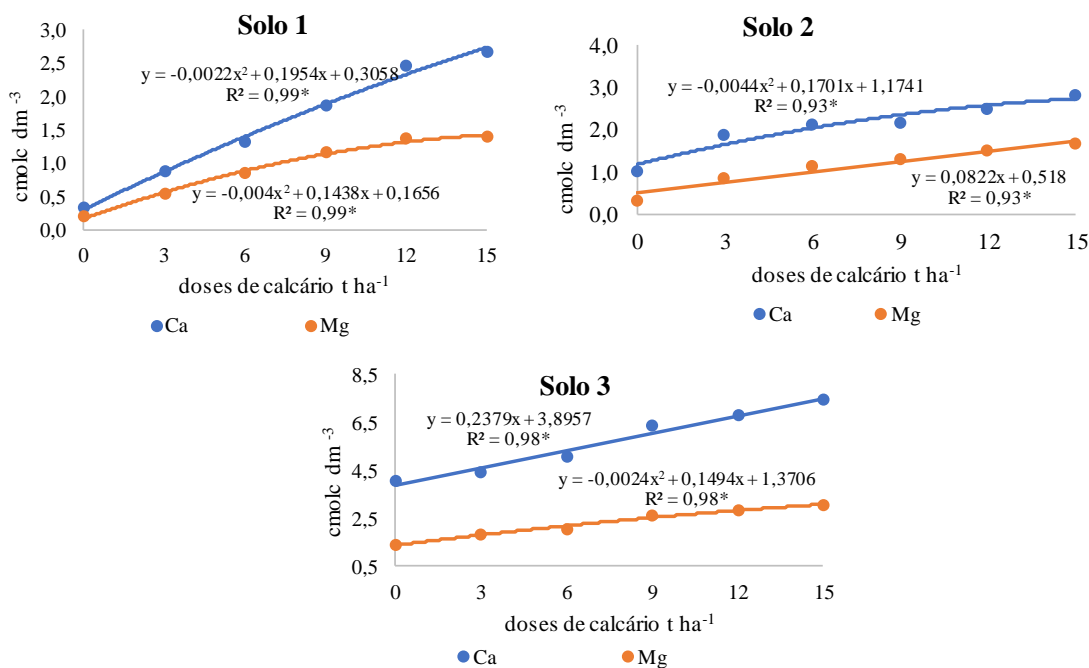


Fonte: Do autor (2019)

Segundo Alvarez et al. (1999), os valores críticos mínimos adequados de Ca^{2+} e Mg^{2+} são de 2,4 e 0,9 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente. Dessa forma, com base nas equações de regressão da Figura 4, seriam necessárias 12,5 e 6,2 t ha^{-1} de calcário para que os valores de Ca^{2+} e Mg^{2+} fossem atingidos no Solo 1. Como a dose ideal para se ter um valor adequado de Ca^{2+} foi de 12,5 t ha^{-1} , se essa dose de calcário fosse utilizada, então o teor de Mg^{2+} atingiria o valor de 1,3 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, que ainda estaria dentro da faixa adequada (0,9 a 1,5 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) de acordo com Alvarez et al. (1999).

Da mesma forma ocorre no Solo 3, em que as quantidades de calcário para se atingir esses valores de Ca^{2+} e Mg^{2+} seriam de 9,6 e 4 t ha^{-1} de calcário, respectivamente, e se fosse utilizada a dose de 9,6 t ha^{-1} de calcário para elevar os teores de Ca^{2+} , atingiria 1,4 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ de Mg, valor ainda dentro da faixa adequada, segundo Alvarez et al. (1999). Portanto não provocaria um desbalanço no teor de Mg no solo.

Figura 4 - Teores de Ca e Mg da Solo 1, Solo 2 e Solo 3 após a aplicação das doses crescentes de calcário.



Fonte: Do autor (2019)

Assim, pode-se observar que quando se compara as doses de Ca^{2+} e Mg^{2+} dos três solos obtidas pelas equações (curva de incubação) com às obtidas pelo método da saturação por bases, que o método oficial de recomendação, a quantidade ideal de calcário exigida pelas culturas tem sido subestimada (OLIVEIRA et al., 2004), uma vez que as doses dos três solos determinadas pelo método direto (curvas de incubação) foram maiores do que as doses calculadas pelo método oficial, que é um método indireto.

A utilização do método direto é pouco comum devido à grande demanda por mão de obra e tempo. Assim, deve-se buscar entender os fatores responsáveis por estas diferenças observadas e buscar incorporá-las nos métodos indiretos.

Acredita-se que essas diferenças possam ser explicadas pela dificuldade de se estimar a acidez potencial dos solos, às reações de equilíbrio causadas pelo corretivo e à formação de hidróxidos poucos solúveis (NATALE et al., 2007), à granulometria do calcário e ao poder tamponante do solo (OLIVEIRA et al., 1997). Desta forma, ao utilizar o método direto de recomendação de calagem juntamente aos experimentos conduzidos em campo, a longo prazo, pode-se propor um fator de correção para a metodologia da V%.

Segundo Foloni et al. (2008) doses de calcário acima das recomendadas pelos métodos oficiais podem alterar a disponibilidade de micronutrientes. Porém, os teores de B do solo antes da incubação encontravam-se dentro de valores baixos (0,16 a 0,35 mg dm⁻³) no Solo 1 e muito baixo ($\leq 0,15$ mg dm⁻³) nos Solo 3 e Solo 2, de acordo com Alvarez V. et al. (1999). Após o período de 90 dias de incubação, os teores não sofreram alterações em sua classificação (Tabela 3) à exceção do Solo 1, em que após a aplicação de 12 t ha⁻¹, o teor diminuiu, passando a ser classificado na faixa de valores muito baixos ($\leq 0,15$ mg dm⁻³). Assim, para a disponibilidade de B, observou-se um efeito não significativo, nos três solos avaliados, com a aplicação de calcário.

Geralmente, reações de adsorção são responsáveis pela redução da concentração de B na solução do solo e, portanto, definem a predisposição do micronutrientes para absorção pelas plantas e o seu potencial de mobilidade no solo (SOARES et al; 2008). Segundo Rosolem e Biscaro (2007), essa adsorção de B pelo solo é muito alta no ano de realização da calagem, diminuindo com o tempo.

Tabela 3 - Efeito das doses crescentes de calcário nos teores de micronutrientes do solo, na camada de 0 a 40 cm, nos Solos 1, 2 e 3.

Tratamento	B	Cu	Fe	Mn	Zn
—————mg dm ⁻³ —————					
Calcário t ha ⁻¹			Solo 1		
0	0,19	7,1	36,2	18,6	0,3
3	0,13	6,9	28,9	18,1	0,3
6	0,15	6,7	25,0	16,4	0,3
9	0,16	6,6	25,4	18,0	0,3
12	0,14	6,5	24,5	20,7	0,3
15	0,14	6,6	26,0	25,6	0,4
Efeito	NS	Q*	Q*	Q*	NS
R ²	—	0,98	0,96	0,97	—
C.V. (%)	18,8	3,0	9,4	10,3	21,3
Calcário t ha ⁻¹			Solo 3		
0	0,13	1,5	26,9	6,5	0,4
3	0,13	1,5	22,3	6,4	0,3
6	0,11	1,5	23,5	7,1	0,4
9	0,14	1,4	25,2	8,0	0,3
12	0,10	1,4	22,2	7,6	0,3
15	0,12	1,4	24,8	7,7	0,4
Efeito	NS	L*	Q*	L*	NS
R ²	—	0,88	0,32	0,74	—
C.V. (%)	20,69	2,76	6,72	7,16	12,27
Calcário t ha ⁻¹			Solo 2		
0	0,13	3,4	30,0	33,3	1,1
3	0,13	3,4	29,9	34,6	1,2
6	0,12	3,3	29,8	35,8	1,2
9	0,15	3,2	25,9	39,5	1,2
12	0,15	3,3	27,8	42,4	1,2
15	0,12	2,9	22,0	39,2	1,1
Efeito	NS	NS	NS	NS	NS
R ²	—	—	—	—	—
C.V. (%)	18,66	7,67	17,16	12,4	17,16

NS, * = não significativo e significativo, respectivamente a 5% de probabilidade.

Q* = Quadrática; L = Linear

Fonte: Do autor (2019)

De acordo com Caires et al. (2006), são esperadas reduções nos teores de Cu com a elevação de pH, como foi observado neste estudo, onde se obteve efeito quadrático e linear, com pequenas reduções nos teores de Cu, nas fazendas G7 e Solo 3, respectivamente. No entanto, independente da dose de calcário utilizada, os teores de Cu

(Tabela 3) se mantiveram dentro de valores altos ($> 1,8 \text{ mg dm}^{-3}$) e adequados ($1,3 - 1,8 \text{ mg dm}^{-3}$), de acordo com a classificação de Alvarez V. et al. (1999), para o Solo 1 e Solo 3, respectivamente. Na Solo 2, os valores encontrados estavam dentro da faixa de teores altos ($> 1,8 \text{ mg dm}^{-3}$) e após os 90 dias de incubação continuaram nessa faixa de classificação (Tabela 3), não sendo observado diferença estatística entre os teores de Cu no solo.

Houve pequena redução na disponibilidade de Fe no solo das fazendas G7 e Solo 3, onde foi possível observar um efeito quadrático (Tabela 3). Quanto à classificação, segundo Alvarez V. et al. (1999), não houve mudanças de classe nas três Fazendas. Na Solo 1 os teores se mantiveram na faixa adequada de disponibilidade, enquanto nas fazendas SOLO 2 e Solo 3 os teores se mantiveram médios.

Nos Solos 1 e 2, os teores de Mn no solo encontrados estavam acima de 12 mg dm^{-3} , considerado valor alto de acordo com Alvarez V. et al. (1999) e os valores encontrados na Solo 3 estavam na faixa de valores médios ($6 - 8 \text{ mg dm}^{-3}$). Sabe-se que o aumento da disponibilidade de determinados micronutrientes como Mn e Zn, está altamente relacionado ao aumento da matéria orgânica no solo superficial (TEIXEIRA et al., 2003 ; MOREIRA, PROCHNOW, KIEHL, MARTIN-NETO E PAULETTI, 2006 ; SANTIAGO et al., 2008 ; MOTSCHENBACHER et al., 2014 ; MOREIRA et al., 2016). Foi observado efeito quadrático e linear para as fazendas G7 e Solo 3 respectivamente, sendo possível perceber um pequeno aumento nos teores do solo. Normalmente são esperadas reduções nos teores de Mn e aumento das formas oxidadas, com a elevação do pH do solo. Na Solo 2, não foi observado efeito significativo para os teores de Mn no solo.

Quanto à disponibilidade de Zn, o efeito foi não significativo para os Solo 1, Solo 2 e solo 3. A classificação desse micronutriente nos Solos 1 e 3 segundo Alvarez V. et al. (1999), estavam na faixa de valores muito baixos ($\leq 0,4 \text{ mg dm}^{-3}$) e não sofreram alterações após a aplicação de doses crescentes de calcário. Na Solo 2, os valores de Zn encontrados foram classificados como médios ($1 - 1,5 \text{ mg dm}^{-3}$), e não sofrerem modificação em sua classificação (Tabela 3).

5 – CONCLUSÕES

A incubação do solo com doses crescentes de calcário aumentou os teores de Ca e Mg e os valores de V% e pH, além de reduzir os teores de H+Al.

Para elevar a V % a 70 são necessárias as doses de 9,6 e 8,7 t ha⁻¹ de calcário nas Fazendas G7 e Solo 3, respectivamente.

As doses influenciaram os teores de micronutrientes nos Solos 1 e 3, no entanto os valores se mantiveram na faixa de classificação.

REFERÊNCIAS

- ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. C. G. Fertilidade do solo: Micronutrientes. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Cap. 10, p. 1017, 2007.
- ALMEIDA, J. A.; ERNANI, P. R.; MAÇANEIRO, K. C. Recomendação alternativa de calcário para solos altamente tamponados do extremo sul do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 4, p. 651-656, 1999.
- ALVAREZ V, V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Diagnose foliar. In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, p.359, 1999.
- ALVAREZ V., V., H., NOVAIS, R.F., BARROS, N.F., CANTARUTTI, R.B., LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solo In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, p. 359, 1999.
- ALVAREZ V., V., H., RIBEIRO, A. C. Calagem In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, p. 359, 1999.
- AZEVEDO, A. C.; KÄMPF, N.; BOHNEN, H. Alterações na dinâmica evolutiva de Latossolo Bruno pela calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 191-198, 1996.
- BASTA, N. T.; TABATABAI, M. A. Effect of cropping systems on adsorption of metals by soils: II. Effect of pH. **Soil Science**, v. 153, n. 3, p. 195-204, 1992.
- CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J.; ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 1, p. 87-98, 2006.
- CAIRES, E.F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. & KUSMAN, M.T. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 1, 2004.
- CAIRES, E. F.; ROSOLEM, C. A. Calagem em genótipos de amendoim. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, n. 2, p. 193-202, 1993.
- CAMPAHARO, M.; LIRA JÚNIOR, M. A.; NASCIMENTO, C. W. A.; FREIRE, F. J.; COSTA, J. V. T. Avaliação de métodos de necessidade decalagem no Brasil. **Revista Caatinga, Mossoró**, v. 20, n. 1, p. 97-105, jan./mar, 2007.
- CHAVES, L. H. G.; FARIAS, C. H. A. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo e na disponibilidade de cálcio, magnésio e fósforo. **Revista Caatinga, Mossoró**, v. 21, n. 5, p. 75-82, dez. 2008.

- COLEMAN, S. S.; NOONAN, T. D. Anderson's method of tibial-lengthening by percutaneous osteotomy and gradual distraction: experience with thirty-one cases. **JBJS**, v. 49, n. 2, p. 263-279, 1967.
- FAGERIA, N. K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 11, p. 1419-1424, 2001a.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; CLARK, R. B. Micronutrients in crop production. **Advances in Agronomy**, n. 77, p. 185-268, 2002.
- FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. Produtividade de feijão no sistema plantio direto com aplicação de calcário e zinco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 1, p. 73-78, 2004.
- FOLONI, J. S. S.; SANTOS, D. H.; CRESTE, J. E.; SALVADOR, J. P. Resposta do feijoeiro e fertilidade do solo em função de altas doses de calcário em interação com a gessagem. In **Colloq. Agrar**, v. 4, p. 27-35, 2008.
- GUPTA, U. C.; KENING, W.; SIYUAN, L. Micronutrients in soil, crops, and livestock. **Earth Science Frontiers**, v. 15, n. 5, p. 110-125, 2008.
- KAMINSK, J.; GATIBONI, L. C.; RHEINHEIMER, D. S.; MARTINS, J. R.; TISSOT, C. A. Estimativa da acidez potencial em solos e sua implicação no cálculo da necessidade de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.1107-1113, 2002.
- KOSTENKO, I. V. Composition of exchangeable bases and acidity in soils of the Crimean Mountains. **Eurasian soil science**, v. 48, n. 8, p. 812-822, 2015.
- LEBLANC, M. A.; PARENT, É.; PARENT, L. E. Lime requirement using Mehlich-iii extraction and infrared-inferred cation exchange capacity. **Soil Science Society of America Journal**, v. 80, n. 2, p. 490-501, 2016.
- LOPES, A. S.; SILVA, M. de C.; GUILHERME, LRG. Acidez do solo e calagem. ANDA, São Paulo. 1991. 22p. **Boletim Técnico**, n. 1.
- MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J.G. & SOUZA, R.B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**, v. 5, p. 143-168, 1999.
- MELÉM JÚNIOR, N. J.; BRITO, O. R.; RICHART, A. CARNEIRO, C. E. A.; GUEDES, M. C. Disponibilidade de micronutriente após incubação com CaCO₃ em LATOSSOLO AMARELO distrófico do cerrado do Amapá. In: SIMPÓSIO NACIONAL CERRADO, 9., 2008, Brasília. **Anais ...**, Brasília, 2008.
- MIRANDA, L. N.; MIRANDA, J. C. C. de. Efeito residual do calcário na produção de milho e soja em solo Glei Pouco Húmico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 1, p. 209-215, 2000.

MOREIRA, S. G.; MORAES, F. A. Construção da Fertilidade do Solo para o Sistema de Produção de Culturas Anuais. In: Maria Cristina Dias Paes; Renzo Garcia Von Pinho; Silvino Guimarães Moreira. (Org.). Soluções integradas para os sistemas de produção de milho e sorgo no Brasil. 21ed. Sete Lagoas: IV. **Congresso Nacional de Milho e Sorgo**, v. 32, p. 347-383, 2018.

MOREIRA, S. G.; PROCHNOW, L. I.; KIEHL, J. D. C.; MARTIN NETO, L.; PAULETTI, V. Chemical forms in soils and bioavailability of manganese to soy bean under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 121-136, 2006.

MOREIRA, S. G.; PROCHNOW, L. I.; KIEHL, J. de C.; PAULETTI, V.; MARTIN NETO, L. Chemical forms in soil and availability of manganese and zinc to soybean in soil under different tillage systems. **SOIL & TILLAGE RESEARCH**, v. 163, p. 41-53, 2016.

MOREIRA, S. G.; PROCHNOW, L. I.; PAULETTI, V.; SILVA, B. M.; KIEHL, J. C.; SILVA, C. G. M. Effect of liming on micronutrient availability to soybean grown in soil under different lengths of time under no tillage. **ACTA SCIENTIARUM-AGRONOMY**, v. 39, p. 89, 2017.

MOTSCHENBACHER, J. M.; BRYE, K. R.; ANDERS, M. M.; GBUR, E. E. Long-term rice rotation, tillage, and fertility effects on near-surface chemical properties in a silt-loam soil. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, v. 100, n. 1, p. 77-94, 2014.

NATALE, W., PRADO, R. D. M., ROZANE, D. E., ROMUALDO, L. M. Efeitos da calagem na fertilidade do solo e na nutrição e produtividade da goiabeira. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa-MG, v. 31, n. 6, p. 1475-1485, Nov/Dez 2007.

NOLLA, A. e ANGHINONI, I. Métodos utilizados para a correção da acidez do solo no Brasil. **Revista de Ciências Exatas e Naturais**, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 97111, jan./jun., 2004.

OLIVEIRA, M. W. et al. Doses de corretivo e alterações químicas em dois solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004 Campina Grande, 23 a 26 de Nov. 2004. **Anais**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004.

OLIVEIRA, E. L.; PARRA, M. S.; COSTA, A. Resposta da cultura do milho, em um Latossolo vermelho-escuro álico, à calagem. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa- MG, v. 21, n. 1, p. 65-70, 1997.

PAVAN, Marcos A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Toxicity of Aluminum to Coffee in Ultisols and Oxisols Amended with CaCO₃, MgCO₃, and CaSO₄· 2H₂O 1. **Soil Science Society of America Journal**, v. 46, n. 6, p. 1201-1207, 1982.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo, decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 32, p. 911-920, 2008.

PRADO, RENATO DE MELLO et al. Liberação de micronutrientes de uma escória aplicada em um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com mudas de goiabeira (*Psidium guajava* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 2, p. 536-542, 2002.

QUAGGIO, J. A. Acidez e calagem em solos tropicais. Campinas: **Instituto Agrônomo de Campinas**, 2000.

QUAGGIO, J. A.; MASCARENHAS, H. A. A.; BATAGLIA, O. C. Resposta da soja à aplicação de doses crescentes de calcário em latossolo roxo distrófico de cerrado. II. Efeito residual. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 6, n. 2, p. 111-124, 1982.

RAIJ, B. V. Melhorando o ambiente radicular em subsuperfície. **International Plant Nutrition Institute**, Piracicaba, SP. P. 8-18, 2011a.

RAIJ, B. V. Fertilidade do solo e manejo dos nutrientes. **International Plant Nutrition Institute**, Piracicaba, SP. p.420, 2011b

RAIJ, B. VAN.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de calagem e adubação para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC & Fundação IAC, p. 285, 1997.

ROSSA, U. B. Estimativa de calagem pelo método SMP para alguns solos do Paraná. 2006. 137 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

ROSOLEM, C. A.; BÍSCARO, T. Adsorção e lixiviação de boro em Latossolo Vermelho Amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 10, p. 1473-1478, 2007.

SANTIAGO, A.; QUINTERO, J. M.; DELGADO, A. Longterm effects of tillage on the availability of iron, copper, manganese, and zinc in Spanish Vertisol. **Soil and Tillage Research**, v. 98, n. 2, p. 100-107, 2008.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos / Embrapa Informática Agropecuária, p. 370, 1999.

SHOEMAKER, H. E.; MCLEAN, E. O.; PRATT, P. F. Buffer methods for determining lime requirement of soils with appreciable amounts of extractable aluminum. **Soil Science Society of America Journal**, n. 25, p. 274-276, 1961.

SOARES, Marcio Roberto; CASAGRANDE, José Carlos; FERRACCIÚ ALLEONI, Luis Reynaldo. Adsorção de boro em solos ácidos em função da variação do pH. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, 2008.

SOUSA, L.F.R.A.; MARINHO, R.W.D.; NUNES, F.M.; NASCIMENTO, I.O.; SILVA, W.A. Incubação de Argissolo Vermelho Amarelo distrófico com aplicação de doses crescentes de CaCO₃ para neutralização da acidez trocável. **Revista Agrossistemas**, v.6, p.66-73, 2014.

SOUZA, C. C.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA, I. F.; AMORIM NETO, M. S. Avaliação de métodos de determinação de água disponível e manejo da irrigação em terra roxa sob cultivo de algodoeiro herbáceo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 4(3):338-342, 2000.

TEIXEIRA, I. R.; SOUZA, C. M.; BORÉM, A.; SILVA, G. F. Variação dos valores de pH e dos teores de carbono orgânico, cobre, manganês, zinco e ferro em profundidade em argissolo vermelho-amarelo, sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Bragantia**, v. 62, n. 1, p. 119-126, 2003.

VITTI, G.C.; TREVISAN, W. Manejo de macro e micronutrientes para alta produtividade de soja. **Informações Agrônomicas**. Piracicaba, POTAFÓS, p. 16, 2000. (Encarte Técnico, 90).

ZANCANARO, L.; ONO, F.B.; KAPPES, C.; VALENDORFF, J.D.P.; CORADINI, D.; DAVID, M. A.; SEMLER, T. D.; VIDOTTI, M. V. Adubação fosfatada no sulco de semeadura e em superfície. Fundação MT. Boletim de pesquisa, Rondonópolis (Fundação MT. Boletim, 18), p.82, 2018.