CALAGEM EM LATOSSOLO AMARELO DISTRÓFICO DA AMAZÔNIA E SUA INFLUÊNCIA EM ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DE CULTURAS ANUAIS[1]

Manoel da Silva Cravo[2], Thomas Jot Smyth[3] & Edilson Carvalho Brasil[4]

RESUMO

A produção agrícola contínua na região amazônica requer a correção da acidez dos solos, o que exige a avaliação do efeito dos corretivos em experimentos de longa duração. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do calcário e seu efeito residual sobre os atributos do solo e a produtividade de culturas anuais, em Latossolo Amarelo distrófico textura média da Amazônia. No período de 2003 a 2008, foram conduzidos dois experimentos no nordeste do Pará, um no município de Terra Alta e outro no município de Tracuateua. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com uma testemunha e 10 doses de calcário entre 0,1 e 2 Mg ha^{-1} em Terra Alta e quatro doses entre 1 e 4 Mg ha^{-1} em Tracuateua, aplicadas em 2003. Neste último local, nas subparcelas foram avaliadas, em cada ano, duas variedades de cada cultura (milho e feijão-caupi) utilizadas na sucessão. Em Terra Alta, foram realizados quatro cultivos de milho (2003-2006) e três de feijão-caupi (2004-2006), em rotação. As maiores produtividades de grãos de milho em Terra Alta foram obtidas com doses de calcário em torno de 1 Mg ha^{-1}, enquanto para o feijão-caupi a dose foi inferior a esse valor. Em Tracuateua, a resposta do feijão-caupi ao calcário só iniciou-se em 2005, com produtividade máxima obtida com a aplicação de 1 Mg ha^{-1} de calcário, observando-se diferença entre as variedades. O aumento da produtividade média das culturas esteve associado ao aumento dos teores de Ca + Mg e à redução da saturação por Al no solo. Em ambos os locais houve diminuição dos teores de Ca + Mg e aumento da saturação por Al no solo, com o tempo após a aplicação do

[1] Recebido para publicação em 29 de junho de 2011 e aprovado em 2 de março de 2012.

[2] Engenheiro-Agrônomo DSc. Fertilidade do Solo. Pesquisador aposentado da Embrapa Amazônia Oriental. E-mail: mscravo@gmail.com

[3] Engenheiro-Agrônomo PhD. Ciência do Solo. Departamento de Ciência do Solo, Universidade Estadual de Carolina do Norte, Raleigh, NC 27695-7619. E-mail: jot_smyth@ncsu.edu

[4] Engenheiro-Agrônomo DSc. Fertilidade do Solo. Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental. E-mail: brasil@cpatu.embrapa.br

calcário, sendo mais acentuados em Tracuateua. Para o milho, plantado em 2007 e 2008 em Tracuateua, as respostas foram lineares até a dose residual de 4 Mg ha^{-1} de calcário. A observação conjunta dos resultados sugere que a dose apropriada de calcário para milho, nesses solos, deverá reduzir a saturação por Al para um valor menor que 11 %. Para feijão-caupi, a saturação por Al tolerada pelas variedades avaliadas esteve entre 13 e 32 %, devendo-se considerar, portanto, a variedade utilizada.

Termos de indexação: região amazônica, solos ácidos, calcário, milho, feijão-caupi.

SUMMARY: *LIMING OF A BRAZILIAN AMAZON OXISOL AND ITS INFLUENCE ON SOIL CHEMICAL PROPERTIES AND ANNUAL CROP YIELDS*

Continuous agricultural production in the Amazon region requires correction of soil acidity and understanding of the long-term interactions of liming with chemical soil properties. The objective of this study was to evaluate the immediate and residual effects of lime on annual crop production and soil properties of medium-textured Oxisols in the Brazilian Amazon. Field experiments were conducted at two locations in the Northeast of Pará from 2003 to 2008, one in the county of Terra Alta and the other in Tracuateua. An unlimed control and limed treatments were distributed in a randomized complete block design for both experiments. Ten lime rates between 0.1 and 2 Mg ha^{-1} were assessed in Terra Alta and four lime rates between 1 and 4 Mg ha^{-1} in Tracuateua. Two varieties of each corn and cowpea in an annual rotation were evaluated in the subplots. Four corn crops (2003-2006) in rotation with three cowpea crops (2004-2006) were evaluated in Terra Alta. Maximum corn grain yields were achieved in Terra Alta with applications of 1 Mg ha^{-1}of lime whereas maximum cowpea yields required lower lime rates. In Tracuateua, cowpea yield response to lime applied in 2003 was first observed in the 2005 harvest, with a maximum yield obtained with the residual lime rate of 1 Mg ha^{-1}, with significant differences between varieties. Yield responses of both crops to lime were associated with increased soil Ca + Mg levels and reduced Al saturation. Trends in declining soil Ca + Mg and increasing Al saturation with time after liming were observed at both sites, but were more pronounced in Tracuateua. Corn planted in 2007 and 2008 in Tracuateua provided linear yield responses to rates of up to 4 Mg ha^{-1} of lime. Collective data from both sites indicated that the appropriate lime rate for corn in these soils should reduce Al saturation to less than 11 %. The importance of varietal selection with cowpea was illustrated by the difference in Al saturation tolerance, which ranged between 13 and 32 % among the varieties evaluated.

Index terms: Amazon region, acid soils, lime, corn, cowpea.

INTRODUÇÃO

A atual pressão ambiental, em relação ao desmatamento desenfreado da região amazônica, tem induzido a busca de soluções produtivas, do ponto de vista agrícola, como forma de reduzir a abertura de novas áreas na região. Nesse contexto, a adoção de tecnologias que garantam a otimização dos sistemas de produção utilizados, em áreas já desmatadas, requer o emprego de práticas agrícolas adequadas, como a aplicação racional de corretivos e fertilizantes, para elevação da produtividade das culturas a níveis economicamente satisfatórios, de modo que permita a intensificação do uso das áreas cultivadas e redução da pressão sobre a floresta (Brasil & Cravo, 2009).

Nos agroecossistemas da Amazônia predominam solos altamente intemperizados que, embora possuam características físicas adequadas ao uso agrícola, apresentam restrições químicas ao crescimento das plantas cultivadas (Rodrigues, 1996). Entre os fatores que propiciam a baixa produtividade das culturas nessa região, a acidez do solo (Gama et al., 2007), expressa por baixos

valores de pH e alta concentração de Al, além de baixos teores de Ca e Mg, é um dos mais importantes a serem corrigidos para a garantia de rendimento econômico das culturas.

Em condições naturais, a acidez dos solos pode ser ocasionada pela ocorrência de material de origem com baixos teores de cátions de caráter básico (Lopes et al., 1991) e pela remoção de cátions básicos do complexo de troca e consequente acúmulo de cátions de natureza ácida, especialmente em regiões com elevadas taxas de precipitação pluvial (Sousa et al., 2007). Além disso, em solos cultivados, a sucessão de cultivos agrícolas durante o tempo, aliada à prática de aplicação de fertilizantes, sobretudo os amoniacais, pode contribuir para a acidificação dos solos, em razão de perdas e absorção de cátions básicos pelas plantas, da mineralização de materiais orgânicos e da nitrificação (Sousa et al., 2007).

A intensificação de uso das áreas agricultáveis da região amazônica deve passar, necessariamente, pela correção da acidez de seus solos, exigindo o conhecimento de suas características químicas e da interação com os corretivos. A prática da calagem tem grande influência no crescimento das plantas cultivadas, já que atua diretamente na melhoria dos atributos do solo ligados à acidez e propicia condições favoráveis ao crescimento e desenvolvimento das plantas. A resposta diferencial das culturas – em relação ao nível de tolerância às condições de acidez do solo e à calagem, também deve ser considerada na utilização racional de corretivos, já que a magnitude de respostas das culturas é fundamental para o êxito dessa prática (Quaggio, 2000). De acordo com Sousa et al. (2007), os efeitos nocivos da acidez do solo, sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas cultivadas, podem variar entre espécies e entre variedades ou cultivares, dentro da mesma espécie.

Esses aspectos podem ter reflexos diretos na definição das quantidades de corretivo a serem aplicadas ao solo, especialmente em situações nas quais são utilizados sistemas de produção com cultivos sucessivos na mesma área, evidenciando a necessidade de estudos de longa duração. Nesse sentido, a determinação da necessidade de calagem requer a definição de doses adequadas de calcário para os diversos tipos de solo, por meio de estudos envolvendo a aplicação de níveis crescentes, em intervalos de tempo adequados, para que a resposta das culturas represente ganhos de produtividade (Nolla & Anghinoni, 2004).

Os benefícios da calagem na neutralização da acidez do solo têm sido amplamente relatados na literatura para as condições das diversas regiões do Brasil, constatando-se efeitos positivos na melhoria dos atributos químicos do solo e no rendimento de culturas (Camargo et al., 1997; Quaggio et al., 2004; Caires et al., 2004). Ensaios com cultivo contínuo em Argissolos na Amazônia peruana mostram que após os primeiros anos de cultivo houve decréscimos no pH e nos teores de Ca e Mg e aumento da saturação por Al (Sánchez et al., 1982). Embora existam informações a respeito da resposta de culturas graníferas à aplicação de calcário em alguns solos da Amazônia brasileira (Smyth & Cravo, 1992; Cravo & Smyth, 1997), pouco se conhece, ainda, sobre a influência da calagem nas alterações das propriedades dos diversos solos e na produtividade das culturas e variedades, em estudos de longa duração.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da aplicação de calcário e seu efeito residual sobre atributos ligados à acidez do solo e à produtividade de culturas anuais (arroz, milho e feijão-caupi), em cultivos sucessivos em Latossolo Amarelo distrófico da Amazônia brasileira.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos no nordeste do Estado do Pará, sendo um no Campo Experimental da Embrapa, no município de Terra Alta (1º 01' 34,23" S e 47º 53' 38,82" W) e outro em área de produtor, localizada no município de Tracuateua (1º 09' 07,50" S e 46º 58' 12,26" W). A cobertura vegetal que antecedeu os experimentos foi de vegetação secundária arbustiva, antecedida do cultivo de feijão-caupi em Tracuateua e de vegetação secundária de capoeira, com posterior derruba e limpeza mecanizada da área, em Terra Alta. Em ambos os locais o clima predominante é do tipo Awi, de acordo com a classificação de Köppen, caracterizado por um período mais seco entre os meses de julho e novembro, com precipitações pluviais mensais inferiores a 60 mm. A precipitação pluvial média anual é de 2.500 mm, concentrada nos meses de janeiro a abril. A temperatura média anual é de 27 ºC, com médias das mínimas e máximas de 25 e 31 ºC, respectivamente (Bastos, 1972). Os experimentos foram instalados em Latossolo Amarelo distrófico textura média (Oliveira Júnior et al., 1999; Gama et al., 2000), sendo alguns atributos físicos e químicos iniciais, na camada de 0-20 cm de profundidade (Quadro 1), determinados conforme métodos descritos por Embrapa (1997).

O delineamento experimental utilizado em Tracuateua foi o em blocos ao acaso, adotando-se o esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Em parcelas de 8,0 x 6,0 m testaram-se as doses de calcário (0, 1, 2, 3 e 4 Mg ha^{-1}) e, nas subparcelas de 8,0 x 3,0 m, avaliaram-se, em cada ano, duas variedades de cada cultura utilizada na

Quadro 1. Atributos físicos e químicos de Latossolos Amarelos distróficos textura média na camada de 0–20 cm de profundidade, antes da implantação dos experimentos nos municípios de Tracuateua e Terra Alta (PA)

Atributo	Local	
	Tracuateua	Terra Alta
Areia (g kg^{-1})	860	820
Silte (g kg^{-1})	50	60
Argila (g kg^{-1})	90	120
pH em H_2O	4,7	4,9
P, Mehlich-1 (mg dm^{-3})	11	12
Ca ($cmol_c$ dm^{-3})	1,8	1,5
Mg ($cmol_c$ dm^{-3})	0,6	0,7
K, Mehlich-1 ($cmol_c$ dm^{-3})	0,09	0,11
Al ($cmol_c$ dm^{-3})	1,0	0,5
Soma de Bases ($cmol_c$ dm^{-3})	2,49	2,31
CTC efetiva ($cmol_c$ dm^{-3})	3,49	2,81
Saturação por Al (%)	29,0	18,0

sucessão (exceto milho em 2007), no período de 2003 a 2008.

Em Terra Alta, em parcelas de 6,0 x 4,0 m foram testadas doses de calcário (0; 0,1; 0,2; 0,25; 0,3; 0,4; 0,5; 0,75; 1,0; 1,5; e 2,0 Mg ha^{-1}), utilizando-se delineamento experimental em blocos ao acaso, com três repetições.

Utilizou-se calcário com teores de CaO e de MgO da ordem de 19,8 e 10,8 %, respectivamente, em Tracuateua e de 20,2 e 10,1 % em Terra Alta. O PRNT do calcário utilizado em Tracuateua (75 %) foi superior ao do usado em Terra Alta (42 %, este vendido no mercado como tendo PRNT de 45 %). Os valores aplicados, em ambos os locais, foram ajustados para 100 % de PRNT. Em ambos os locais, o calcário foi aplicado somente em 2003, manualmente a lanço e incorporado por meio de duas gradagens pesadas e uma niveladora, 15 dias antes da semeadura das culturas. Foram realizadas aplicações anuais de adubação básica em todas as parcelas, com N, S, P, K e micronutrientes, respectivamente, nas fontes: ureia, sulfato de amônio ou sulfato de magnésio, superfosfato triplo, cloreto de potássio e FTE BR-12. As quantidades foram calculadas com base nos resultados da análise de solo.

Adicionalmente em 2008, no experimento de Tracuateua, foram aplicados na cultura do milho, o equivalente a 50 kg ha^{-1} de Mg, na forma de sulfato de magnésio (9,5 % Mg e 11,5 % S) e 500 kg ha^{-1} de gesso, a fim de suprir todas as parcelas de Mg e Ca, bem como para verificar se as respostas das culturas estavam relacionadas com o aumento da saturação por Al no solo ou se estavam relacionadas à carência desses elementos.

As culturas e suas variedades testadas nas sucessões, por ano de cultivo, em cada local, encontram-se no quadro 2.

As semeaduras de feijão-caupi foram realizadas no espaçamento de 0,5 x 0,25 m, com duas plantas por cova e densidade aproximada de 160.000 plantas ha^{-1}. O arroz foi semeado no espaçamento de 0,25 m entre linhas, com 60 sementes por metro de sulco e com densidade aproximada de 2.400.000 plantas ha^{-1}. O milho foi cultivado em 2007 no espaçamento de 1,0 x 0,3 m, deixando-se duas plantas por cova

Quadro 2. Sucessão de culturas e variedades utilizadas no período de 2003-2008 em experimentos conduzidos nos municípios de Tracuateua e Terra Alta

Ano	Cultura / Rotação	Variedade		
		Tracuateua		Terra Alta
2003	Milho	---	---	BR 5110
	Feijão-Caupi	BR3 Tracuateua	BR2 Bragança	---
2004	Arroz	BRS Talento	BRS Bonança	---
	Milho	---	---	BR 106
	Feijão-Caupi	BR3 Tracuateua	BR2 Bragança	BR3 Tracuateua
2005	Milho	---	---	AG 1051
	Arroz	BRS Curinga	BRS Bonança	---
	Feijão-Caupi	BR3 Tracuateua	BRS Milênio	BR3 Tracuateua
2006	Milho	---	---	BR 2110
	Feijão-Caupi	BR3 Tracuateua	BRS Milênio	BRS Milênio
2007	Milho	AG 1051	BR 106	---
	Feijão-Caupi	BR3 Tracuateua	BRS Milênio	---
2008	Milho	BRS 1030	---	---
	Feijão-Caupi	BRS Milênio	BRS Urubuquara	---

após o desbaste, com densidade aproximada de 66.667 plantas ha^{-1}. Em 2008, o espaçamento utilizado foi de 0,80 x 0,15 m, deixando-se uma planta por cova após o desbaste, com uma densidade final aproximada de 83.333 plantas ha^{-1}.

Coletaram-se amostras de solo na profundidade de 0–20 cm, antes da instalação do experimento e de 0–15 cm (profundidade de incorporação do calcário) anualmente, na floração média de cada cultura implantada, determinando-se pH em água, P disponível (Mehlich-1), Ca, Mg, K, Na e Al trocável, conforme procedimentos analíticos descritos por Embrapa (1997). Em 2007, em Tracuateua, por ocasião da floração do milho, também foi realizada uma amostragem de solo nas profundidades de 0–20, 20–40 e 40–60 cm, dentro de cada parcela, com o objetivo de verificar possíveis alterações em profundidade de atributos químicos do solo.

Amostragens de tecidos vegetais (folhas) foram realizadas, também, por ocasião da floração média de cada cultura. Para o milho, foram coletadas folhas fisiologicamente maduras, imediatamente opostas e abaixo das espigas. Quanto ao arroz, foram coletadas folhas "bandeira", fisiologicamente maduras. No feijão-caupi foram coletadas folhas compostas, da parte intermediária da planta. Nas amostras determinaram-se os teores de N, P, K, Ca e Mg e micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn), conforme métodos descritos por Sarruge & Haag (1974).

A colheita do feijão-caupi foi feita cerca de 70 dias após o plantio, colhendo-se somente as vagens secas na área útil de cada parcela, determinando-se a produtividade de grãos. Na colheita do milho, avaliou-se apenas a produtividade de grãos. Para o arroz, a colheita foi realizada em uma área útil de 12 m^2, efetuando-se o corte das plantas rente ao solo e posterior obtenção da produtividade de grãos. Na estimativa da produtividade das culturas, a umidade dos grãos foi ajustada para 13 %.

Em cada experimento e cultivo, os efeitos de calagem, variedades e interação calagem x variedade, em relação aos resultados de produção, atributos de solos e nutrientes no tecido vegetal, foram submetidos à análise de variância e quando houve efeito significativo pelo teste F, as médias foram comparados pelos valores de DMS a 5 % de probabilidade (SAS, 2003). Curvas de respostas para doses de calcário e relações entre produtividade relativa e percentagem de saturação por Al do solo foram geradas por regressão, utilizando-se os modelos que melhor se ajustaram aos resultados, conforme o nível de significância ($p > 0,05$) e maior valor de R^2.

As avaliações dos atributos químicos do solo, em função da aplicação de doses de calcário e do tempo de cultivo, foram realizadas por regressão linear múltipla, com seleção de termos por etapas progressivas (*stepwise*), considerando-se 4,8; 14,1; 26,0; 38,0; e 49,9 meses após a calagem para Tracuateua e 2,3; 12,8; 17,6; 25,6; 32,5; 42,2; e 50,7 meses para Terra Alta. As condições para as regressões foram: inclusão inicial dos termos lineares para calagem e tempo após a aplicação; e escolha subsequente, entre termos quadráticos da calagem e tempo e, ou, interações entre termos lineares e quadráticos da calagem e tempo. Os coeficientes para cada termo incluído nos modelos finais foram significativos a 5 %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atributos químicos do solo em Terra Alta

Na ausência de calcário, o teor inicial de Ca + Mg do solo foi reduzido linearmente de 2,25 para 0,25 $cmol_c\ dm^{-3}$, e a saturação por Al inicial aumentou, de forma linear, de 9 para 60 %, após 50 meses de cultivo (Figura 1a,b). Com a aplicação de 1 Mg ha^{-1} de calcário, verificou-se aumento inicial no teor de Ca + Mg para 4,41 $cmol_c\ dm^{-3}$, porém, após 50 meses da aplicação, houve redução linear até 2,41 $cmol_c\ dm^{-3}$. Essa dose de calcário também foi suficiente para manter a saturação por Al em valor baixo, aumentando para somente 8,5 %, no mesmo período (Figura 1b). Esses resultados evidenciam que, após quatro anos de cultivos sucessivos, os valores desses atributos do solo encontraram-se muito próximos dos observados no início do experimento, caracterizando o longo efeito residual do calcário nesse solo.

As tendências de declínio dos teores de Ca + Mg e aumento da saturação por Al, observadas com o tempo de cultivo após a calagem, são similares às dos resultados obtidos por Smyth & Cravo (1992), em um Latossolo Amarelo álico muito argiloso do Amazonas, submetido a cinco anos de cultivo intensivo com milho, soja, amendoim e feijão-caupi, após a aplicação de calcário calcítico nas doses de 0 a 4 Mg ha^{-1}. Entretanto, naquele solo o teor inicial da saturação por Al era de 60 % e, na ausência de calagem, aumentou para mais de 90 %, depois dos cinco anos de cultivos sucessivos.

Fatores como doses, tipos e PRNT dos calcários utilizados podem influenciar no tempo de reação do corretivo no solo. Segundo Weirich Neto et al. (2000), o poder-tampão do solo e o grau de homogeneização na incorporação do corretivo também influenciam a velocidade de reação do calcário no solo. Por outro lado, a nitrificação de fertilizantes nitrogenados e a mineralização de

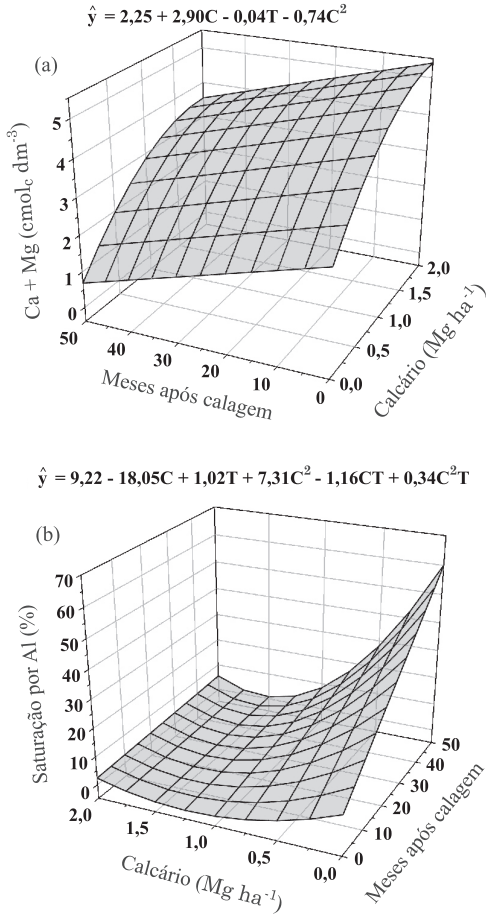


Figura 1. Teores de Ca+Mg (a) e saturação por Al (b) na profundidade de 0-15 cm de um Latossolo Amarelo textura média de Terra Alta (PA), em função de doses de calcário (C) aplicadas em 2003 e do tempo de cultivo (T).

materiais orgânicos são importantes contribuintes do processo de reacidificação do solo, podendo ter favorecido o aumento da acidez do solo durante o período de cultivo.

Resposta das culturas à calagem em Terra Alta

Em todos os cultivos de milho houve aumento de produção de grãos em decorrência da aplicação de calcário em 2003 (Figura 2), verificando-se que o modelo quadrático foi o que melhor se ajustou aos resultados. Esses resultados parecem estar associados ao aumento do teor de Ca + Mg, que passou de 2,2 $cmol_c$ dm^{-3}, antes da aplicação do calcário (Quadro 1), para 4,41 $cmol_c$ dm^{-3}, com a aplicação de 1 Mg ha^{-1} do corretivo (Figura 1a), indicando o efeito residual do calcário aplicado no solo no primeiro ano, o que manteve elevada a produtividade das culturas por quatro cultivos consecutivos.

No primeiro cultivo (2003), o rendimento de milho de máxima eficiência física (2.491 kg ha^{-1}) foi obtido com aplicação de 1,242 Mg ha^{-1} de calcário, ao passo que nos demais cultivos esses rendimentos estiveram associados às quantidades residuais de 1,000 (2004), 0,887 (2005) e 1,124 (2006) Mg ha^{-1} de calcário (Figura 2). Nos cultivos de 2004 a 2006 foram obtidas produtividades máximas na faixa de 3.195 a 3.785 kg ha^{-1} de grãos de milho, superiores às de 2003. O menor rendimento verificado no primeiro ano de cultivo pode estar relacionado, em parte, à qualidade do calcário (PRNT 42 %) e à baixa solubilização e neutralização da acidez, durante o cultivo inicial. Por outro lado, o cultivo anual de diferentes variedades de milho (Quadro 2), com diferenças na tolerância à acidez, pode ter contribuído, também, para essa variação na produtividade da cultura.

O cultivo de feijão-caupi efetuado em 2003, após a colheita de milho, foi prejudicado pela falta de chuva no período, não havendo formação de grãos. Em 2004 não houve resposta significativa na produção de grãos a qualquer dose residual de calcário, obtendo-se produtividade média de 1.382 kg ha^{-1}, com coeficiente de variação de 25 %. Entretanto, nos cultivos subsequentes (2005 e 2006) houve resposta ao calcário residual e a análise de regressão evidenciou que o modelo quadrático, em 2005, e o linear-platô, em 2006, foram os que melhor se ajustaram aos resultados (Figura 3). Em 2005, o rendimento de grãos de feijão-caupi de máxima eficiência física (1.164 kg ha^{-1}) foi obtido com 1,193 Mg ha^{-1} de calcário, aplicado no primeiro ano. Em 2006, houve resposta linear no rendimento de feijão-caupi até a dose residual, de 0,4 Mg ha^{-1} de calcário, quando foram obtidos 1.310 kg ha^{-1} de grãos.

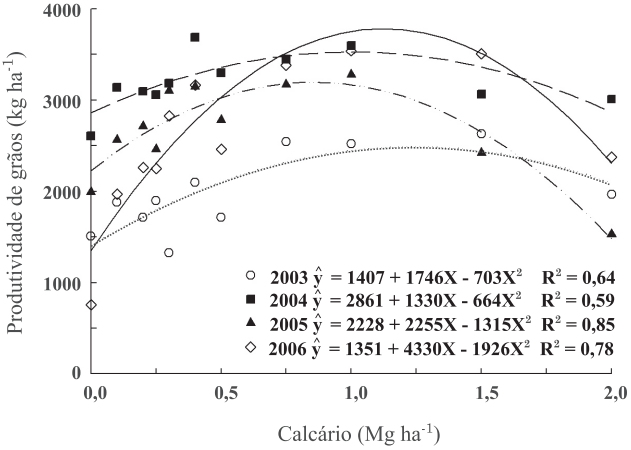


Figura 2. Produtividade (kg ha^{-1}) de grãos de quatro cultivos de milho (2003 a 2006), em função de doses de calcário aplicadas em 2003, em um Latossolo Amarelo textura média de Terra Alta.

As respostas à calagem apresentadas neste experimento, em termos de produtividade de grãos de milho e feijão-caupi, são similares às obtidas em outros trabalhos de pesquisas realizados na região amazônica (Smyth & Cravo, 1992; Cravo & Smyth, 1997).

Na sucessão de culturas milho/feijão-caupi, durante os quatro anos de cultivo após a aplicação de calcário, as melhores respostas em produtividade de grãos foram obtidas com a dose de aproximadamente 1 Mg ha^{-1} de calcário. Em todos os cultivos, observou-se também que a dose ótima de calcário para feijão-caupi foi inferior à considerada adequada para o milho. Portanto, os dados sugerem que uma aplicação de 1 Mg ha^{-1} de calcário seria suficiente para corrigir possíveis problemas de acidez nesse solo, para a rotação de milho e feijão-caupi, por um período de quatro anos consecutivos, sendo recomendável, mesmo assim, o monitoramento das alterações da acidez, por meio da análise química do solo.

Atributos químicos do solo em Tracuateua

Comparando o efeito residual da calagem nos dois locais de estudo, observou-se que os valores iniciais de Ca + Mg (3,62 cmol$_c$ dm^{-3}) e de saturação por Al (18 %) na camada superficial do solo em Tracuateua (Figura 4) foram superiores aos observados em Terra Alta (Figura 1). Entretanto, após 50 meses de cultivos na ausência de calagem, os valores de Ca + Mg (0,27 cmol$_c$ dm^{-3}) e de saturação por Al (67 %) obtidos em Tracuateua foram semelhantes aos observados em Terra Alta.

Em Tracuateua, a aplicação de 1 Mg ha^{-1} de calcário promoveu aumento inicial do teor de Ca + Mg para 4,17 cmol$_c$ dm^{-3} e redução da saturação por Al para 6 %. Após 50 meses de cultivos sucessivos, o teor de Ca + Mg nesse mesmo tratamento reduziu para 0,67 cmol$_c$ dm^{-3} e a saturação por Al aumentou para 46 % (Figura 4). Comparando os tratamentos com aplicação de 1 Mg ha^{-1} de calcário em Terra Alta (Figura 1) e Tracuateua (Figura 4), constatou-se que a perda de Ca + Mg e o valor final de saturação por Al na camada superficial (0–15 cm), durante os 50 meses de cultivo, foram maiores em Tracuateua. Entretanto, a dinâmica de Ca + Mg e saturação por Al, em ambos os locais, indica que parte das diferenças em respostas de rendimentos, entre anos para a mesma cultura, pode estar relacionada com diferentes índices de acidez entre os experimentos e o tempo após a aplicação do calcário.

O efeito residual da calagem em profundidade foi avaliado no cultivo de milho em 2007, por meio de amostragens de solo nas profundidades de 0–20, 20–40 e 40–60 cm. Na ausência de calagem, observaram-se valores de pH inferiores a 4,8 e saturação por Al superior a 70 %, em todas as profundidades amostradas (Figura 5). Após quatro anos da calagem, observaram-se aumento

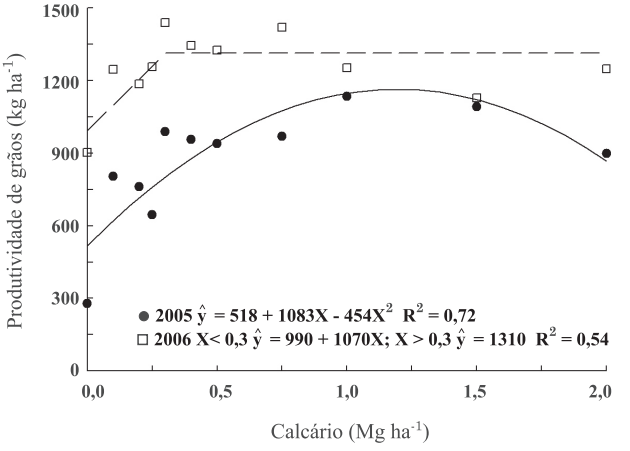


Figura 3. Produtividade (kg ha^{-1}) de grãos de feijão-caupi (2005 e 2006), em função de doses de calcário aplicadas em 2003, em um Latossolo Amarelo textura média de Terra Alta (PA).

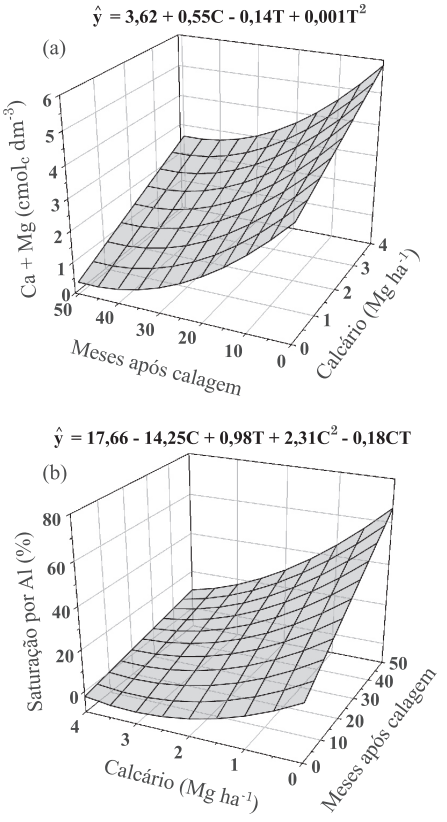


Figura 4. Teores de Ca + Mg (a) e saturação por Al (b) na profundidade de 0–15 cm de um Latossolo Amarelo textura média de Tracuateua (PA), em função de doses de calcário (C) aplicadas em 2003 e do tempo de cultivo (T).

de Ca + Mg e de pH e redução da saturação por Al, com todas as doses e em todas as profundidades amostradas.

A correção da acidez em profundidade, após vários anos da aplicação de calcário, também foi observada em outras regiões e solos (Quaggio et al., 1982; Caires & Rosolem, 1993). A movimentação de Ca e Mg para camadas mais profundas e a redução do Al tóxico em profundidade melhoram o ambiente químico para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas e para o acesso às reservas de água e nutrientes no subsolo (Sousa et al., 2007). Assim, após a aplicação de 4 Mg ha^{-1} de calcário e seis anos de cultivo contínuo de um Latossolo Amarelo álico muito argiloso no Amazonas, Smyth & Cassel (1995) observaram que as raízes de milho estendiam-se até 75 cm de profundidade, ao passo que, no tratamento sem calagem, concentravam-se nos 35 cm superficiais de solo, evidenciando os efeitos da melhoria das características químicas do solo, para o desenvolvimento do sistema radicular, mesmo em solo mais argiloso.

Com o intuito de avaliar a magnitude da resposta à calagem, associada com a neutralização da acidez do solo nos cultivos de milho e feijão-caupi, em 2008 todos os tratamentos receberam aplicações de 0,5 Mg ha^{-1} de gesso e 50 kg ha^{-1} de Mg, como sulfato de magnésio, antes do plantio de milho. Comparando os atributos do solo (0–15 cm) no ano de 2008, em relação ao de 2007, verificou-se que as aplicações de gesso e de sulfato de magnésio provocaram aumento do pH, em todas as doses de calcário, aumentaram os teores de Ca + Mg, na testemunha e com 3 Mg ha^{-1}, e reduziram os teores de acidez trocável e a saturação por Al nas doses residuais de 0 a 3 Mg ha^{-1} de calcário (Quadro 3).

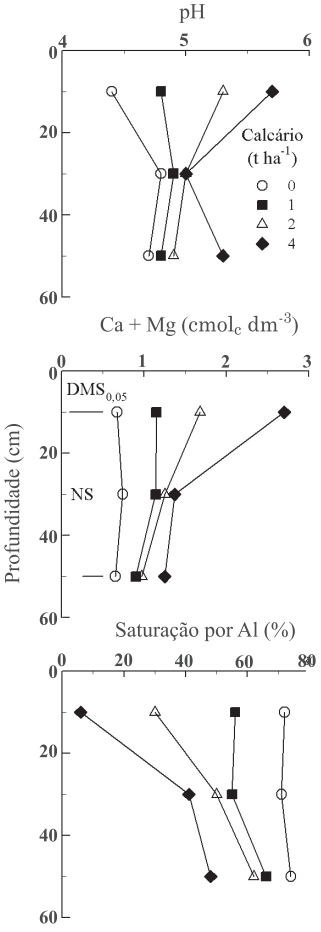


Figura 5. Características químicas até 60 cm de profundidade de um Latossolo Amarelo textura média de Tracuateua (PA), quatro anos após a aplicação de doses crescentes de calcário.

Respostas das culturas à calagem em Tracuateua

A produtividade média anual de grãos de variedades de feijão-caupi teve redução gradual de 1.870 kg ha^{-1} em 2003, para apenas 695 kg ha^{-1} em 2007 (Quadro 4). Esses resultados estão estreitamente relacionados com as mudanças nas características químicas do solo ocorridas após a aplicação do calcário, já que houve declínio dos valores de Ca + Mg e aumento de saturação por Al nesse mesmo período (Figura 4).

Quadro 3. Características químicas do solo em 2007 e 2008, em função de doses de calcário aplicadas em 2003, com suplementação de gesso (0,5 Mg ha^{-1}) e de sulfato de magnésio (50 kg ha^{-1} de Mg), em todos os tratamentos no ano de 2008, em um Latossolo Amarelo textura média de Tracuateua (PA)

Calcário	pH em água		Ca + Mg		Al		Saturação por Al	
	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008
Mg ha^{-1}			cmol$_c$ dm^{-3}				%	
0	4,0	4,8	0,70	0,85	1,42	0,90	62	49
1	4,3	4,9	1,05	0,97	1,02	0,80	46	43
2	4,7	5,1	1,60	1,50	0,65	0,58	26	26
3	4,5	5,2	1,48	1,88	0,75	0,42	31	18
4	5,2	5,4	2,64	2,23	0,22	0,20	7	9
DMS$_{0,05}$			0,52	0,35	0,21	0,20		

Independentemente da resposta à calagem, houve diferença significativa entre as variedades de feijão-caupi cultivadas em 2003, 2004 e 2005 (Quadro 4), observando-se que nos dois cultivos iniciais a produtividade da variedade BR3 Tracuateua foi superior à da BR2 Bragança. Entretanto, o rendimento da BRS Milênio em 2005 foi superior ao da BR3 Tracuateua. Provavelmente essa variação observada na produtividade se deva às diferenças de tolerância das variedades usadas à acidez do solo, fato também constatado em genótipos de feijão-caupi testados no Estado de Roraima (Uchôa et al., 2007).

Para relacionar a produtividade de grãos de feijão-caupi com doses de calcário, utilizaram-se os valores médios anuais das produtividades das variedades avaliadas. Nos cultivos realizados em 2003 e 2004 não houve resposta significativa à calagem, em termos de rendimentos de grãos. Em 2005 e 2007, obtiveram-se os respectivos platôs de rendimento máximo de 1.599 e 768 kg ha^{-1} de grãos, com a dose residual da aplicação de 1 Mg ha^{-1} de calcário em 2003 (Figura 6). Nesses mesmos anos, houve efeito significativo da interação entre variedade e calagem, observando-se maior resposta da cultivar BR3 Tracuateua à calagem, do que da BRS Milênio, que se mostrou menos sensível à acidez (Figura 7).

As respostas obtidas em 2006 e 2008 foram lineares até a dose residual de 4 Mg ha^{-1} de calcário. A produtividade de feijão-caupi e a resposta à calagem obtidas em 2008, após a aplicação de gesso e sulfato de magnésio, foram semelhantes aos resultados obtidos em 2006 e superiores aos de 2007 (Figura 6). Os aumentos de produtividade da cultura em 2008 estiveram associados aos aumentos dos teores de Ca [$\hat{y}_{(Ca\text{-}planta,\ g\ kg^{-1})} = 4{,}69 + 3{,}01x_{(calcário,\ Mg\ ha^{-1})}$ $R^2 = 0{,}973$] e de Mg [$\hat{y}_{(Mg\text{-}planta,\ g\ kg^{-1})} = 0{,}96 + 0{,}66x_{(calcário,\ Mg\ ha^{-1})}$ $R^2 = 0{,}974$] no tecido foliar

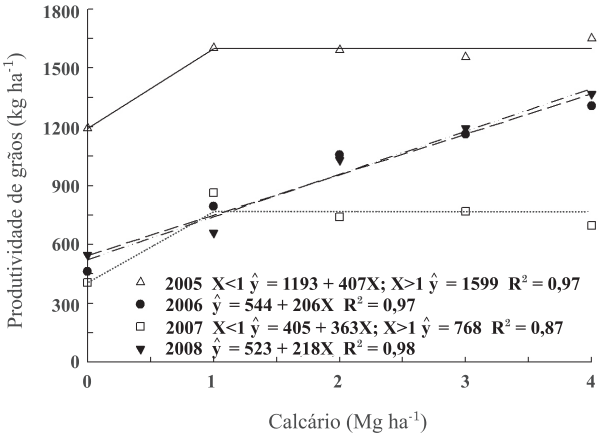


Figura 6. Produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de feijão-caupi durante quatro anos após a aplicação de calcário, em 2003, em um Latossolo Amarelo textura média de Tracuateua (PA).

de feijão-caupi, em função de doses crescentes de calcário, o que sugere efeito residual de curta duração para o gesso e sulfato de Mg, aplicados ao milho em 2008.

Neste experimento foram realizados dois cultivos de arroz (2004 e 2005), porém não houve resposta significativa à calagem, em rendimento de grãos. A produtividade média de grãos dos tratamentos foi de 1.819 kg ha^{-1}, com coeficiente de variação de 24 %.

Nos cultivos de milho realizados em 2007 e 2008, a resposta da cultura à calagem foi significativa e linear crescente até a dose residual de 4 Mg ha^{-1} de calcário (Figura 8). A produtividade de milho obtida em 2008 foi superior e pode ser, em parte, devido à cultivar utilizada (BRS 1030), que possui potencial produtivo mais elevado do que o das usadas em 2007 (AG 1051 e BR 106). Esse resultado também está associado ao fornecimento de Ca e Mg, além da diminuição da acidez do solo (Quadro 3), provocados

Quadro 4. Produtividade média de grãos de variedades de feijão-caupi avaliadas durante cinco anos após a aplicação de doses de calcário, em 2003, em um Latossolo Amarelo textura média de Tracuateua (PA)

Variedade	Produtividade média/ano					
	2003	2004	2005	2006	2007	2008
	kg ha^{-1}					
BR2 Bragança	1631	1661	--	--	--	--
BR3 Tracuateua	2108	1933	1219	922	736	--
BRS Milênio	--	--	1816	990	654	1010
Urubuquara	--	--	--	--	--	907
Média	1869	1797	1517	956	695	958
$DMS_{0,05}$	270	167	180	NS	NS	NS

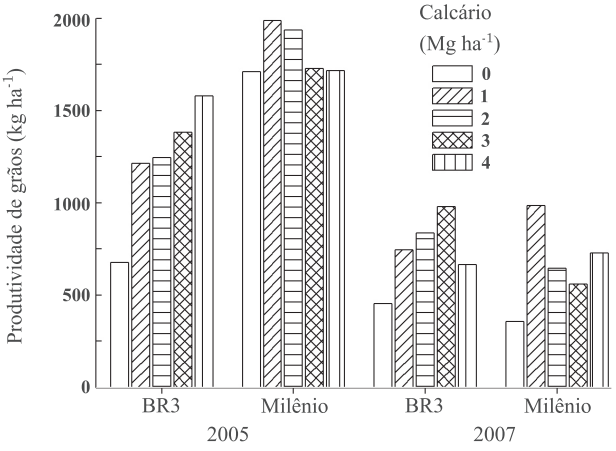


Figura 7. Produtividade de grãos (kg ha-1) de duas variedades de feijão-caupi cultivadas em 2005 e 2007, em função de doses de calcário aplicadas em 2003, em um Latossolo Amarelo textura média de Tracuateua - PA (os valores de $DMS_{0,05}$ para a interação significativa entre variedades e calagem foram de 402, em 2005, e de 273, em 2007).

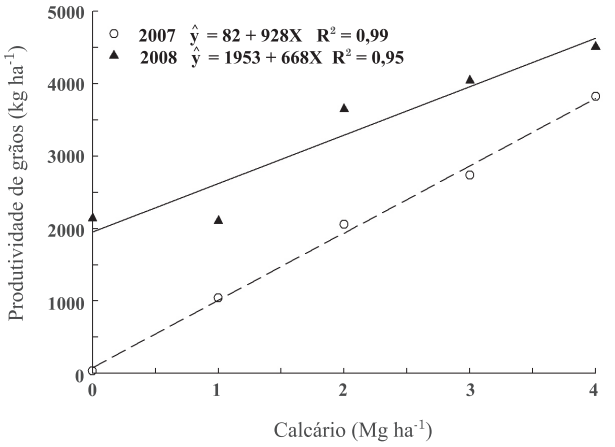


Figura 8. Produtividade (kg ha^{-1}) de grãos de milho obtida em 2007 e 2008, em função de doses de calcário aplicadas em 2003, em um Latossolo Amarelo textura média de Tracuateua (PA).

pela aplicação de gesso e sulfato de magnésio em todos os tratamentos em 2008, o que favoreceu o aumento da produtividade de grãos de milho, inclusive no tratamento testemunha (1.871 kg ha^{-1}), em relação à produtividade obtida em 2007. Com o efeito residual da aplicação de 4 Mg ha^{-1} de calcário, mesmo com poucas alterações nas características químicas do solo, houve incremento de produtividade da ordem de 831 kg ha^{-1} de grãos, em relação ao mesmo tratamento em 2007 (Figura 8), o que demonstra a importância da diminuição da acidez e da manutenção de um nível adequado de Ca e Mg no solo para obtenção de bons rendimentos das culturas. Dessa forma, além de neutralizar a acidez do solo, parte da resposta à calagem, observada neste experimento, está associada ao fornecimento e à correção de deficiências de Ca e, ou, Mg no solo (Dechen, 1983; Sousa et al., 2007).

Relações entre rendimento de grãos e saturação por Al

As relações entre os rendimentos relativos de grãos de cultivares de milho, obtidos em cinco safras, e a saturação por Al do solo diferiram nos dois locais estudados (Figura 9). Em Terra Alta, a produtividade média das três cultivares atingiu um platô de 93 % (Figura 9a), em tratamentos com saturação por Al inferior a 14 %. No entanto, em Tracuateua obteve-se rendimento linear decrescente dos híbridos AG 1051 e BRS 1030 na faixa de 6 a 72 % de saturação por Al (Figura 9b).

Considerando o rendimento relativo obtido em Terra Alta, procedeu-se à estimativa da saturação por Al máximo para Tracuateua, utilizando o modelo da figura 9b e adotando-se o mesmo valor de rendimento relativo (93 %). Com base nisso, o valor crítico de saturação por Al estimado para

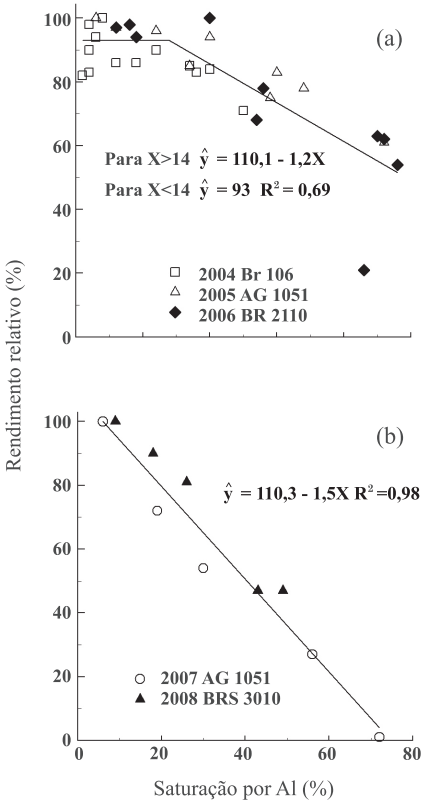


Figura 9. Rendimento relativo de grãos de cultivos de milho, em função da saturação por Al, em um Latossolo Amarelo textura média de Terra Alta (a) e Tracuateua - PA (b).

as condições de Tracuateua foi de 11,5 %. Assim, uma análise conjunta desses resultados sugere que a dose apropriada de calcário para milho deverá reduzir a saturação por Al para um valor menor que 11 % nesses solos. Em um Latossolo Amarelo muito argiloso do Amazonas, Smyth & Cravo (1992) estabeleceram o nível crítico de 27 % de saturação por Al, em quatro cultivos sucessivos de milho da cultivar BR 5102. Wade et al. (1988) indicaram um nível crítico de 29 % de saturação por Al para milho, em Oxissolos e Ultissolos da Indonésia.

Para a cultura do feijão-caupi, no estabelecimento das relações entre rendimento relativo e saturação por Al no solo, somente foram incluídas as safras que apresentaram respostas significativas à calagem, considerando-se as variedades BR3 Tracuateua e BRS Milênio (Figura 10). Ao contrário do que ocorreu com a cultura do milho, obtiveram-se relações diferentes para as variedades de feijão-caupi, englobando os plantios realizados nos dois locais. O platô de rendimento máximo foi atingido quando a saturação por Al foi inferior a 13 % para a variedade BR3 Tracuateua e 32 % para a BRS Milênio, indicando maior tolerância à acidez trocável do solo desta última, devido à sua menor resposta a doses crescentes de calcário, em dois anos de cultivo em Tracuateua (Figura 7).

Embora o feijão-caupi seja mais tolerante à acidez do solo do que a cultura do milho (Spain et al., 1975), a cultura pode ter o desenvolvimento e a produção comprometidos quando o solo apresenta baixos teores de Ca e Mg (Cravo & Smyth, 2005; Uchôa et al., 2009). Por outro lado, Melo & Cardoso (2000) afirmam que, embora o feijão-caupi seja uma cultura tolerante à acidez, a saturação por Al do complexo de troca não deve ultrapassar os 20 %, para obtenção de bons rendimentos produtivos.

Na região amazônica, o uso do calcário ainda é restrito, devido aos preços elevados dos corretivos praticados nos mercado locais, atribuídos aos custos de transportes desses insumos para a região (Nicoli et al., 2006). Entretanto, levando-se em conta as melhorias nas características químicas do solo, o aumento de produtividade das culturas e o efeito residual do calcário, observados neste trabalho, esses "preços elevados" podem ser considerados pouco expressivos no custo final de produção, diante dos benefícios obtidos a longo prazo. Por outro lado, os dados obtidos neste trabalho também permitem afirmar que o uso racional do calcário possibilita a utilização de áreas consideradas degradadas na região amazônica, dando oportunidade aos agricultores de utilizar continuamente a mesma área, evitando-se a derrubada anual de parte da floresta, o que é comum no sistema de agricultura itinerante, ainda adotado na região (Cravo et al., 2005).

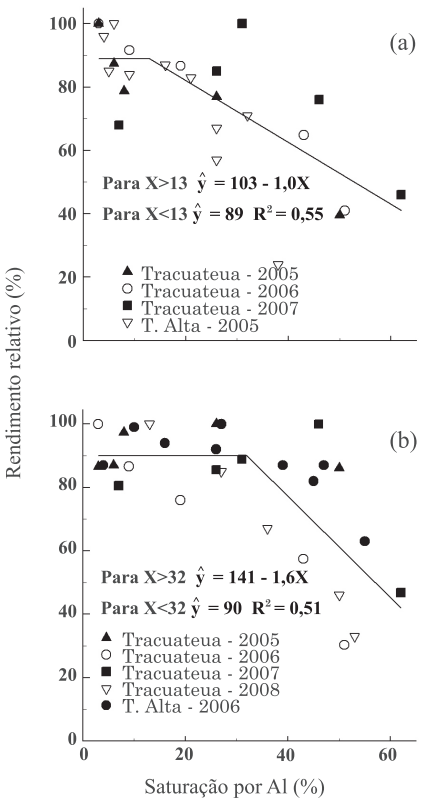


Figura 10. Rendimento relativo de grãos de feijão-caupi das variedades BR3 Tracuateua (a) e BRS Milênio (b), em função da saturação por Al, em um Latossolo Amarelo textura média de Terra Alta e Tracuateua (PA).

CONCLUSÕES

1. Em todos os cultivos de milho e feijão-caupi, tanto em Terra Alta quanto em Tracuateua, as maiores produtividades de grãos foram obtidas com doses de calcário de aproximadamente 1 Mg ha^{-1}, havendo diferença significativa entre variedades de feijão-caupi.

2. O aumento da produtividade média das culturas esteve associado ao aumento dos teores de Ca + Mg e à redução da saturação por Al no solo.

3. A dose apropriada de calcário para milho, nesses solos, deverá reduzir a saturação por Al para um valor menor que 11 %.

4. Os valores críticos de saturação por Al para as variedades de feijão-caupi foram diferentes e estiveram entre 13 e 32 %, devendo-se, portanto, considerar a variedade a ser utilizada.

5. Em ambos os locais houve diminuição dos teores de Ca + Mg e aumento da saturação por Al no solo, com o tempo após a aplicação do calcário.

6. Até o quarto ano da calagem, ainda foram verificadas melhorias nas características químicas do solo, com aumento de Ca + Mg e redução da saturação por Al até a profundidade de 60 cm, em função do aumento das doses residuais de calcário.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Carolina do Norte (USA), pelo apoio financeiro para a execução das pesquisas; à Agropecuária Milênio, em especial ao seu diretor-presidente, Engenheiro-Agrônomo Benedito Dutra Luz de Sousa, pelo apoio logístico e financeiro e pelas valiosas sugestões para a realização deste trabalho; e ao Assistente de Pesquisa da Embrapa Amazônia Oriental, João Batista Sales de Sousa, pela inestimável ajuda na condução dos trabalhos de campo.

LITERATURA CITADA

BASTOS, T.X. O estado atual do conhecimento das condições climáticas da Amazônia brasileira. In: ZONEAMENTO Agrícola da Amazônia. Belém, IPEAN, 1972. p.68-122. (Boletim Técnico, 54)

BRASIL, E.C. & CRAVO, M.S. Recomendações de adubação e calagem para o estado do Pará – A importância do uso racional de fertilizantes e calcário. R. Est. Paraenses, 2:55-66, 2009.

CAIRES, E.F.; KUSMAN, M.T.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. & PADILHA, J.M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. R. Bras. Ci. Solo, 28:125-136, 2004.

CAIRES, E.F. & ROSOLEM, C.A. Calagem em genótipos de amendoim. R. Bras. Ci. Solo, 17:193-202, 1993.

CAMARGO, O.A.; CASTRO, O.M.; VIEIRA, S.R & QUAGGIO, J.A. Alteração de atributos químicos do horizonte superficial de um Latossolo e um podzólico com a calagem. Sci. Agric., 54:1-8, 1997.

CRAVO, M.S.; CORTELETTI, J.; NOGUEIRA, O.L.; SMYTH, T.J. & SOUZA, B.D.L. Sistema Bragantino: Agricultura sustentável para a Amazônia. Belém, Embrapa Amazônia Oriental, 2005. 93p. (Documentos, 218)

CRAVO, M.S. & SMYTH, T.J. Manejo sustentado da fertilidade de um Latossolo da Amazônia Central sob cultivos sucessivos. R. Bras. Ci. Solo, 21:607-616, 1997.

CRAVO, M.S. & SMYTH, T.J. Atributos físico-químicos e limitações dos solos de áreas produtoras de Feijão-caupi no nordeste do Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., Recife, 2005. Resumos Expandidos... Recife, 2005. CD ROM.

DECHEN, R.R. Deficiência de cálcio e magnésio nos solos e nas plantas. In: RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C. & SILVA, N.M., eds. Acidez e calagem no Brasil. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. p.87-95.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (Documentos, 1)

GAMA, J.R.N.F.; RODRIGUES, T.E. & CARDOSO JUNIOR, E.Q. Levantamento dos solos e uso atual do campo experimental de Terra Alta, Pará. Belém, Embrapa Amazônia Oriental, 2000. (Documentos, 45)

GAMA, J.R.F.N.; CARVALHO, E.J.M.; RODRIGUES, T.E. & VALENTE, M.A. Solos do Estado do Pará. In: CRAVO, M.S.; VIÉGAS, I.J.M. & BRASIL, E.C., eds. Recomendações de adubação e calagem para o estado do Pará. Belém, Embrapa Amazônia Oriental, 2007. p.19-29.

LOPES, A.S.; SILVA, M.C. & GUILHERME, L.R.G. Acidez do solo e calagem. 3.ed. São Paulo, ANDA, 1991. 22p. (Boletim Técnico, 1)

MELO, F.B. & CARDOSO, M.J. Fertilidade, correção e adubação do solo. In: CARDOSO, M.J., ed. A cultura do feijão-caupi no Meio-Norte do Brasil. Teresina, Embrapa Meio-Norte, 2000. p.91-103, (Circular Técnica, 28)

NICOLI, C.M.L.; CRAVO, M.S.; HOMMA, A.K.O. & FERREIRA, C.A.P. Análise econômica de sistemas de produção de feijão-caupi e mandioca no Nordeste Paraense. In: CONAC – CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO CAUPI, 1., Teresina, 2006. Resumos Expandidos... Teresina, 2006. CD ROM.

NOLLA, A. & ANGHINONI, I. Métodos utilizados para a correção da acidez do solo no Brasil. R. Ci. Exatas Nat., 6:97-111, 2004.

OLIVEIRA JÚNIOR, R.C.; SANTOS, P.L.; RODRIGUES, T.E. & VALENTE, M.A. Zoneamento agroecológico do município de Tracuateua, Estado do Pará. Belém, Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 45p. (Documentos, 15)

QUAGGIO, J.A. Acidez e calagem em solos tropicais. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 2000. 111p.

QUAGGIO, J.A.; DECHEN, A.R. & RAIJ, B. van. Efeitos da aplicação de calcário e gesso sobre a produção de amendoim e lixiviação de bases no solo. R. Bras. Ci. Solo, 6:189-194, 1982.

QUAGGIO, J.A.; GALLO, P.B.; OWINO-GERROH, C.; ABREU, M.F. & CANTARELLA, H. Peanut response to lime and molybdenum application in low pH soils. R. Bras. Ci. Solo, 28:659-664, 2004.

RODRIGUES, T.E. Solos da Amazônia. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P., eds. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, MG, SBCS/UFV/DPS, 1996. p.19-60.

SÁNCHEZ, P.A.; BANDY, D.E.; VILLACHICA, J.H. & NICHOLAIDES, J.J. Amazon Basin Soils: Management for continuous crop production. Science, 216:821-827, 1982.

SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. Análises químicas em plantas. Piracicaba, ESALQ, Departamento de Química, 1974. 56p.

SAS Institute. The SAS system for Windows. V.9.1.3. Cary, 2003.

SMYTH, T.J. & CASSEL, D.K. Synthesis of long-term soil management research on Ultisols and Oxisols in the Amazon. In: LAL, R. & STEWART, B.A., eds. Soil management: Experimental basis for sustainability and environmental quality. Boca Raton, Lewis Publishers, 1995. p.13-60.

SMYTH, T.J. & CRAVO, M.S. Aluminum and calcium constraints to continuous crop production in a Brazilian Amazon Oxisol. Agron. J., 84:843-850, 1992.

SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N. & OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.205-274.

SPAIN, J.M.; FRANCIS, C.A.; HOWELER, R.H. & CALVO, F. Differential species and varietal tolerance to soil acidity in tropical crops and pastures. In: BORNEMIZA, E. & ALVARADO, A., eds. Soil management in tropical America. Raleigh, North Carolina State University, 1975. p.308-329.

UCHÔA, S.A.P.; ALVES, J.M.A.; CRAVO, M.S.; SILVA, A.J.; MELO, V.F.; FERREIRA, G.B. & FERREIRA, M.M.M. Fertilidade do solo. In: ZILLI, J.E.; VILLARINHO, A.A. & ALVES, J.M.A., eds. A cultura do feijão-caupi na Amazônia Brasileira. Boa Vista, Embrapa Roraima, 2009. p.131-183.

UCHÔA, S.A.P.; SILVA, A.J.; ALVES, J.M.A.; MELO, V.F.; OLIVEIRA, J.M.F. & PECCINI, L. Identificação de genótipos de feijão-caupi tolerantes à acidez em um Latossolo Vermelho-Amarelo do Estado de Roraima. Disponível em: Agro@ambiente on-line, 1: jul/dez, 2007. <http://www.revista.ufrr.br/index.php/agroambiente/article/download/139/72>.

WADE, M.K.; GILL, D.W.; SUBAGIO, H.; SUDJADI, M. & SANCHEZ, P.A. Overcoming soil fertility constraints in a transmigration area of Indonesia. Raleigh, North Carolina State University, 1988. (TropSoils Boletim, 88-01)

WEIRICH NETO, P.H.; CAIRES, E.F.; JUSTINO, A. & DIAS, J. Correção da acidez do solo em função de modos de incorporação de calcário. Ci. Rural, 30:257-261, 2000.