

RESPOSTA DA CARAMBOLEIRA À CALAGEM¹

WILLIAM NATALE², RENATO DE MELLO PRADO³, DANILO EDUARDO ROZANE⁴,
LILIANE MARIA ROMUALDO⁴, HENRIQUE ANTUNES DE SOUZA⁴, AMANDA HERNANDES⁴

RESUMO – A correção da acidez superficial e subsuperficial do solo, em especial para culturas perenes, é fundamental para garantir o rápido estabelecimento do pomar e a precocidade da produção de frutos. O presente trabalho objetivou avaliar os efeitos da calagem na implantação e formação de um pomar de caramboleiras (*Averrhoa carambola*) e seus reflexos no solo, na planta, na produção de frutos, bem como determinar a duração do efeito residual da aplicação inicial do calcário. O experimento foi realizado na Estação Experimental de Citricultura de Bebedouro, São Paulo, em um Latossolo Vermelho distrófico (V inicial = 26% na camada de 0-20cm), no período de agosto/1999 a julho/2006. As doses de calcário empregadas foram: 0; 1,85; 3,71; 5,56 e 7,41 t ha⁻¹. Durante 78 meses após a aplicação do corretivo, foram realizadas análises químicas de solo, bem como a avaliação do estado nutricional e da produção de frutos durante cinco safras agrícolas. A calagem proporcionou melhoria das características químicas do solo, elevando o pH, Ca, Mg, V% e diminuindo o H+Al, até 60 cm de profundidade. Os teores foliares de Ca e Mg aumentaram, correlacionando-se positivamente com a produção de frutos. A maior produção acumulada de carambolas esteve associada à saturação por bases de 40 e 53% na linha e na entrelinha do pomar de caramboleiras, respectivamente.

Termos para Indexação: *Averrhoa carambola*, acidez do solo, calcário, nutrição.

RESPONSE OF STAR FRUIT TREES TO LIMING

ABSTRACT – The correction of the superficial and subsurface acidity of the soil, especially for perennial crops, is essential to ensure the fast establishment of the orchard and the early production of fruits. The present work aimed to evaluate the effects of liming in the implantation and formation of a star fruit orchard (*Averrhoa carambola*) and its reflections in the soil, the plant, the fruit production, as well as determining the duration of the residual effect of the initial application of the calcareous rock. The experiment was conducted at the Citrus Experimental Station in Bebedouro, São Paulo, in a Typic Haplustox (V initial = 26% in the 0 to 20 cm layer) between August 1999 and July 2006. The doses of limestone were: 0, 1.85, 3.71, 5.56 and 7.41 t ha⁻¹. During 78 months after the implementation of the corrective soil chemical analyses were performed as well as the evaluation of the nutritional status and the fruit production during five agricultural harvests. The liming provided the improvement of the chemical characteristics of the soil, raising pH, Ca, Mg, V% and reducing the H+Al, down to 60 cm deep. The leaf levels of Ca and Mg increased, correlating itself positively with the fruit yield. The highest combined star fruit production was associated with base saturation of 40 and 53% in the line and between the line of the star fruit orchard, respectively.

Index Terms: *Averrhoa carambola*, soil acidity, limestone, mineral nutrition.

INTRODUÇÃO

Dentre as principais características das frutas tropicais apreciadas em todo o mundo estão a cor, o sabor, o aroma e as propriedades nutricionais. Além desses aspectos, os frutos da caramboleira destacam-se pela sua beleza exótica e única na natureza, o que os torna bastante atrativos ao consumidor.

O Brasil é um dos maiores produtores de carambola do mundo, sendo grande parte da produção proveniente de pequenos pomares, o que atende a um dos aspectos mais importantes da agricultura, o social, permitindo a fixação do homem no campo.

Devido à pobreza em bases das rochas que deram origem aos solos brasileiros e às condições climáticas (temperatura e precipitação elevadas), favoráveis ao processo de intemperismo e lixiviação, os solos tropicais apresentam baixa saturação por

cátions nutrientes, como Ca, Mg e K, e, conseqüentemente, predomínio de H e Al nas cargas negativas do solo. Para o uso agrícola dessas áreas, é imperativa a prática da calagem, visando a precipitar o alumínio tóxico, elevar o pH e fornecer cálcio e magnésio às plantas (Raij, 1991). Sanchez & Salinas (1983) complementam que, dentre os fatores ambientais do solo, aqueles relacionados à acidez são os que mais limitam a produtividade das culturas.

Dos recursos minerais brasileiros, o calcário é o mais abundante, com reservas de aproximadamente 49 bilhões de toneladas. Desse modo, a calagem apresenta-se como a alternativa mais barata e rápida de corrigir a acidez, devido ao preço relativamente baixo desse insumo (AMB, 2006). De modo geral, quando a reação do solo é ácida, a aplicação de calcário é o investimento que maior retorno econômico dá ao produtor rural, mesmo quando comparada a outras práticas agrícolas (Raij, 1991). Isso porque as raízes das plantas não se desenvolvem bem em

¹(Trabalho 032-08). Recebido em : 29-01-2008. Aceito para publicação em: 12-08-2008.

²Professor Adjunto, Departamento de Solos e Adubos, FCAV/Unesp – campus Jaboticabal. Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n. 14870-000, Jaboticabal-SP. Bolsista de PQ do CNPq. E-mail: natale@fcav.unesp.br

³Professor Doutor, Departamento de Solos e Adubos, FCAV/Unesp. Bolsista de PQ do CNPq. E-mail: rmprado@fcav.unesp.br

⁴Pós-Graduandos, FCAV/Unesp. E-mail: danilorozane@yahoo.com.br; lilianeromualdo@yahoo.com.br; henrique.antunes@yahoo.com.br; amahernandes@hotmail.com

situações em que o solo apresenta condições químicas desfavoráveis, com presença de alumínio trocável e deficiência de cálcio e magnésio (Prado & Natale, 2004a,b).

Apesar de ter seu centro de origem nas regiões tropicais, há indicações na literatura de que a caramboleira é responsiva à correção da acidez do solo e à aplicação de fertilizantes. Prado & Natale (2004a), avaliando plantas de caramboleira com três anos de idade, em condições de campo, constataram que o acúmulo de matéria seca do sistema radicular dessa *Oxalidaceae* é beneficiado pela aplicação de calcário, refletindo na absorção de nutrientes e no desenvolvimento das plantas.

Devido à baixa solubilidade dos materiais corretivos da acidez, a incorporação profunda e homogênea do calcário ao solo, antecedendo a implantação das mudas, é prática conhecida e utilizada pelos fruticultores, visto ser a última oportunidade de mobilizar o solo, partindo da premissa de que não é aconselhável revolvê-lo em pomares já implantados. Isso se deve às características intrínsecas das culturas perenes e à falta de informações científicas e técnicas, o que torna a aplicação de corretivos, nessa situação, mais complexa (Quaggio, 1986).

Os pomares de frutas são explorações agrícolas de longo prazo, cujas raízes das plantas permanecem praticamente restritas ao mesmo volume de solo por vários anos. Assim, a prévia incorporação homogênea do calcário em profundidade proporcionará ambiente radicular adequado ao eficiente aproveitamento de água e de nutrientes contidos nas camadas corrigidas (Demattê & Vitti, 1992), afetando positivamente o desenvolvimento e o estado nutricional da frutífera, tendo como consequência o uso racional de fertilizantes e a melhoria da relação benefício/custo por meio do incremento da produtividade.

Outro aspecto importante da calagem é a longa duração do seu efeito, podendo ser considerada um investimento agrícola, visto que seus benefícios perduram por vários anos. Isso se deve ao efeito residual dos corretivos de acidez, sendo o tempo de duração desse benefício função de vários fatores (Quaggio, 2000), com destaque para o manejo do solo e da cultura. Entretanto, estabelecer qual o efeito residual do calcário aplicado na instalação de um pomar, ou seja, por quanto tempo durarão os benefícios da calagem inicial, é um assunto pouco estudado, devido à necessidade de experimentação de longa duração, gastos com mão-de-obra e condução dos ensaios, entre outros. Esses são, pois, apenas alguns dos aspectos que justificam a quase ausência de pesquisas dessa natureza. Porém, como a acidez é reconhecidamente um dos principais fatores da baixa produtividade dos solos brasileiros, é imprescindível a realização da calagem, e informações concernentes ao efeito residual são vitais para o manejo das culturas, para a utilização do tipo de insumo mais adequado e para a realização do investimento financeiro com segurança.

Além disso, o uso contínuo de fertilizantes que acidificam o solo, especialmente os nitrogenados, agrava o problema, lembrando que, em pomar de frutíferas com alta produtividade, as doses de adubo são normalmente elevadas e localizadas (Natale et al., 1996).

O presente trabalho objetivou avaliar os efeitos da calagem na implantação e formação de um pomar de caramboleiras

e seus reflexos no solo, na planta, na produção de frutos, bem como determinar a duração do efeito residual da aplicação inicial do calcário.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento teve início em maio/1999 na Estação Experimental de Citricultura de Bebedouro, no município de Bebedouro (SP), em um Latossolo Vermelho distrófico típico (Embrapa, 1999). Os resultados da análise química do solo realizada em maio/1999, antes da aplicação dos tratamentos, estão apresentados na Tabela 1.

O delineamento experimental adotado foi o em blocos casualizados, com cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram de doses crescentes de calcário dolomítico, com PRNT = 100%. As doses foram calculadas considerando-se os resultados médios da análise química das camadas 0-20 e 20-40cm (Tabela 1) e, também, a incorporação do corretivo na camada de 0-30cm de profundidade. Tomou-se como referência a dose calculada para atingir a saturação por bases (V) igual a 70% (3,71 t ha⁻¹), sendo considerada média, no limite superior das classes de interpretação relacionadas com a acidez da camada arável do solo (Raij et al., 1997), uma vez que não havia recomendação para a caramboleira e, a partir desta, como segue: D₀ = zero; D₁ = metade da dose recomendada; D₂ = a dose recomendada total; D₃ = 1,5 vez a dose recomendada, e D₄ = 2 vezes a dose necessária para elevar V a 70%, correspondendo a: 0; 1,85; 3,71; 5,56 e 7,41 t ha⁻¹.

O calcário foi aplicado manualmente na superfície do terreno em agosto de 1999, metade antes da incorporação com arado de aivecas e a outra metade aplicado e incorporado com grade aradora, abrangendo a camada de 0-30cm. Após quatro meses foi implantado o pomar, no espaçamento de 7 m entre linhas e 4,2 m entre plantas, utilizando-se caramboleiras enxertadas (cv. Malásia). As parcelas foram compostas por cinco plantas, sendo consideradas as três centrais como árvores úteis para as avaliações.

A adubação básica na cova de plantio da frutífera constou da mistura de 180 g de P₂O₅ na forma de superfosfato simples granulado, 20 L de composto orgânico curtido à base de esterco bovino, além de 1 g de B e 2g de Zn, respectivamente, na forma de ácido bórico e de sulfato de zinco. A adubação durante todo o período experimental foi adaptada das indicações de Natale et al. (1996), considerando-se a fertilidade do solo, a idade do pomar, as exigências da cultura e a produção esperada de frutos.

Aos sete meses após o transplantio das mudas no campo (julho de 2000), instalou-se o sistema de irrigação por microaspersão, colocando-se um microaspersor por planta, com vazão de 26 L h⁻¹, acionando-se o sistema quando eram consumidos de 25 a 40 % da disponibilidade de água no solo avaliado por tensiometria (Bernardo, 2002).

As podas de formação e produção da caramboleira seguiram as indicações de Donadio et al. (2001). Não houve plantio de cultura intercalar, e os tratamentos culturais para o controle de ervas daninhas, pragas e doenças foram os empregados normalmente para a cultura na região de condução do

experimento.

As amostragens de solo na entrelinha da caramboleira foram realizadas aos 4; 8; 12; 16; 22; 28; 34; 40; 46; 52; 66 e 78 meses após a incorporação do calcário ao solo e, na linha de plantio da frutífera, na faixa de adubação, realizaram-se amostragens aos 12; 16; 22; 28; 34; 40; 46; 52; 66 e 78 meses após a incorporação do corretivo. Coletaram-se doze subamostras por parcela, em cada camada, para constituir uma amostra composta. Para isso, utilizou-se trado tipo holandês, amostrando-se as camadas de 0-20; 20-30; 30-40 e 40-60 cm. As determinações analíticas no solo seguiram os métodos descritos por Raij et al. (2001).

O estado nutricional das plantas foi determinado pela amostragem de folhas, conforme estudo prévio para a caramboleira (Prado & Natale, 2004b), que indica coletar a 6ª folha, a partir da extremidade do ramo, no auge do florescimento (agosto a outubro), em número de oito folhas por planta, amostradas em

toda a sua volta. As folhas foram lavadas e secas em estufa a $65 \pm 3^\circ\text{C}$, determinando-se, em seguida, o teor de Ca e Mg, utilizando a metodologia descrita por Bataglia et al. (1983).

A produção das três plantas úteis de cada parcela foi avaliada durante cinco anos agrícolas (safras 2001/02; 2002/03; 2003/04; 2004/05 e 2005/06), no período de dezembro/janeiro a abril/maio de cada ano agrícola. A resposta das caramboleiras à calagem, nas safras 2001/02 e 2002/03, foi avaliada por Prado (2003).

Os resultados foram submetidos às análises de variância e de regressão. De acordo com a metodologia de Pimentel-Gomes (1985), foram realizadas análises de variância conjunta para os dados de solo, admitindo-se as diferentes épocas de amostragens como variáveis. Para isso, foram selecionadas e consideradas as variáveis cujos quadrados médios residuais não diferiram em mais de sete vezes. A análise estatística foi realizada pelo programa estatístico SAS (1985).

TABELA 1- Análise química do solo, realizada em maio de 1999, antes da instalação do experimento, em diferentes profundidades.

Camada	pH CaCl ₂	M.O. g dm ⁻³	P Resina mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	(H+Al) mmol _c dm ⁻³	SB	T	Al	V
cm				-----				-----			%
0-20	4,7	18	6	1,3	9	4	40	14,3	54,3	8	26
20-40	4,4	16	3	0,8	6	4	41	10,8	51,8	11	21
40-60	4,4	16	4	0,6	7	4	45	11,6	56,6	12	20
60-80	4,0	9	1	0,3	7	3	58	10,3	68,3	11	15

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Modificação dos atributos químicos do solo

A análise conjunta dos valores de pH em CaCl₂, soma de bases e saturação por bases, bem como as concentrações de cálcio e magnésio, além da acidez potencial revelados pelas análises químicas do solo não mostraram interação significativa entre as doses de calcário e as épocas de amostragem, em todas as camadas estudadas, tanto na entrelinha como na linha de plantio das caramboleiras (Figuras 1 e 2). A ausência de interação sugere que as modificações nas propriedades químicas do solo, em função das doses de calcário empregadas, foram proporcionalmente semelhantes nas diferentes épocas de amostragem.

Os efeitos da aplicação do calcário sobre os atributos químicos do solo na entrelinha e linha de plantio das caramboleiras estão apresentados nas Figuras 1 e 2, respectivamente. Comparando a Tabela 1 (análise inicial do solo) com as Figuras 1 e 2, observam-se alterações significativas no pH, acidez potencial (H+Al), soma de bases, saturação por bases e nas concentrações de Ca e Mg, em todas as profundidades avaliadas (exceto o pH na camada de 40-60 cm na entrelinha de plantio da cultura).

Verifica-se incremento linear do pH, Ca, Mg, SB e V% e decréscimo, também com ajuste linear do (H+Al), em função das doses de calcário, tanto na entrelinha como na linha das

caramboleiras, em todas as profundidades amostradas, sendo as alterações mais expressivas na região de incorporação do corretivo (0-30 cm), o que pode ser confirmado pelo coeficiente angular das equações de regressão, que decresce com a profundidade de amostragem do solo.

Pode-se observar, ainda nas Figuras 1 e 2, que as características ligadas à acidez do solo na entrelinha se mantiveram com valores mais altos ao longo do experimento, em relação à projeção da copa das caramboleiras (linha). Tal comportamento era esperado, visto que o manejo do pomar impõe a aplicação localizada de elevadas doses de fertilizantes nitrogenados, os quais têm como característica a acidificação do solo durante o processo de nitrificação (Malavolta, 2006). Não se pode desprezar, também, a ação das raízes das caramboleiras no solo, absorvendo Ca e Mg para sua nutrição e exsudando H⁺ (Engels & Marschner, 1995). Convém ressaltar que, no pomar, foi realizada irrigação localizada, o que de todo modo contribuiu para alterações nas taxas de amonificação, nitrificação e desnitrificação, atributos estes que, de acordo com Miller & Cramer (2004), estão ligados à disponibilidade, à localização e às formas de N encontradas no perfil do solo. Isso é de fundamental importância, dada a alta mobilidade do nitrogênio, principalmente devido a sua baixa energia de ligação aos argilominerais e à matéria orgânica (Reisenauer, 1978; Lopes, 1998), contribuindo para a lixiviação.

Os resultados obtidos indicam que houve correção da acidez abaixo da camada de incorporação do calcário. Segundo

Quaggio (2000), a melhoria dos atributos químicos das camadas do subsolo pela ação do calcário requer tempo e ocorre gradualmente, devido às características das bases neutralizantes constituintes dos corretivos. Esse fato pode ser atribuído à formação de pares de bases (Ca e Mg) com ácidos orgânicos (RO^- e RCOO^-) de alta solubilidade e baixa massa molecular, contribuindo para o carreamento destes pares para a subsuperfície (Harter & Naidu, 1995; Aoyama, 1996). Essa reação é explicada por Miyazawa et al. (1996) pela formação de ligantes orgânicos, que complexam o cálcio do solo, formando CaL^0 ou CaL^- . Além desses compostos, pode haver formação de outros, como $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ e $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, de acordo com Oliveira & Pavan (1996), e, ainda, quando há adubação nitrogenada, pode ocorrer a formação de sais solúveis, como o nitrato de cálcio, os quais percolam pelo movimento descendente da água no perfil do solo (Blevins et al., 1977).

Salienta-se que pode ter ocorrido, ainda, contribuição de natureza física na descida de partículas de calcário sem reagir, através de canais deixados pela decomposição de raízes (Pearson et al., 1962) com posterior dissolução e reação na solução percolada. Ou, também, de partículas que se dissolveram na superfície do solo com posterior descida dos produtos de sua dissolução, caracterizando uma espécie de frente de alcalinização, sendo os produtos da dissolução do calcário (Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^-) transportados juntamente com a água infiltrada e percolada (Amaral et al., 2004).

Resultados experimentais em um Cambissolo, que corroboram os deste estudo, foram apresentados por Quaggio et al. (1985a). Os autores observaram que, na dose de 12 t ha^{-1} de calcário, houve aumento médio da concentração de Ca mais Mg, em cerca de 18 mmol dm^{-3} . Para o pH, houve incremento de 0,5 unidade, na profundidade de 50 cm, após 24 meses da calagem. Em outro ensaio, Quaggio et al. (1985b) mostraram que o efeito da calagem na correção da acidez do subsolo foi acentuado até 1 metro de profundidade, após 30 meses da aplicação do calcário.

Independentemente do mecanismo envolvido, a correção da acidez abaixo da camada de incorporação do calcário, com conseqüente correção da acidez do subsolo, pode ter implicações práticas importantes, visto que a caramboleira é uma frutífera perene de grande porte, possuindo sistema radicular profundo e abrangente, o qual fica restrito se houver impedimento químico (acidez) em profundidade, como demonstrado por Prado & Natale (2004a, c) em pomares de caramboleira e goiabeira, respectivamente.

A aplicação de calcário, correspondente a duas vezes a dose recomendada ($7,4 \text{ t ha}^{-1}$) para elevar a saturação por bases (V) a 70%, atingiu cerca de 63% (média de 12 amostragens de solo na camada superficial da entrelinha), de acordo com a Figura 1f. Na literatura, têm sido freqüentemente citados resultados em que os valores de saturação por bases, determinados após a calagem, foram inferiores aos estimados pelo método (Quaggio et al., 1982; Caíres & Resolem, 1993; Oliveira et al., 1997). A ineficiência em elevar V% a valores altos pode estar ligada às cargas dependentes de pH do solo, ao deslocamento da reação de equilíbrio da solubilização do calcário e à formação de minerais pouco solúveis, como hidróxidos (Tescaro, 1998), além da

possível incorporação inadequada do corretivo à camada e ao volume de solo desejado.

Considerando que a saturação por bases reflete, de maneira geral, os benefícios da calagem no solo (aumento do pH, Ca, Mg, SB e diminuição do H+Al) e que, de forma resumida, pode representar tais modificações, optou-se por apresentar a V% nas diferentes camadas analisadas, ao longo dos 78 meses de experimentação (Figura 3).

Avaliando os efeitos da aplicação do calcário dolomítico no decorrer do período experimental (1999 a 2006), constata-se que houve reflexos positivos na saturação por bases do solo já aos quatro meses após a incorporação do corretivo, em amostras da entrelinha do pomar (Figura 3a). Na camada de 0-20cm, apesar da flutuação dos valores de V%, houve certa estabilidade até cerca de 40 meses. A partir daí, teve início o decréscimo do efeito residual do calcário nas amostragens da entrelinha (Figura 3a) e, mais acentuadamente, na linha de plantio (Figura 3b), em todas as camadas analisadas. Na literatura, foram encontrados trabalhos relacionados ao tempo de reação do calcário, como os de Quaggio et al. (1982) e Oliveira et al. (1997), os quais indicam que a reação máxima do corretivo de acidez ocorreu entre 18 e 33 meses após sua aplicação. Natale & Coutinho (1994) observaram que as reatividades das frações granulométricas atribuídas ao calcário pela legislação só foram obtidas cerca de 18 meses após sua aplicação ao solo. No entanto, resultados da Embrapa (1981) mostraram que a reação máxima ocorreu aproximadamente 4 meses após a calagem. Neste caso, um dos aspectos que podem ter influenciado na velocidade da reação do corretivo, seriam os índices de reatividade adotados atualmente para o cálculo da mesma, que se apresentam superestimados dentro do prazo estipulado pela legislação brasileira, que é de 90 dias.

Segundo Weirich Neto et al. (2000), o poder-tampão do solo e a homogeneidade de incorporação do corretivo são fatores que podem explicar as diferenças no tempo de reação do calcário. Além disso, a umidade do solo pode afetar a reatividade do material corretivo com o tempo.

Na Figura 3b (linha de plantio), verifica-se que houve diminuição linear da V% nas camadas superficiais (0-30cm) com o tempo decorrido, atingindo 0,43-0,31%, comparada às camadas subsuperficiais (30-60cm), que foi de 0,23-0,14%, constatada pelo coeficiente angular das equações. Isso se deve, provavelmente, ao maior efeito acidificante da adubação nitrogenada aplicada em cobertura, bem como à irrigação. Houve, no presente experimento, decréscimo anual de 4-5% da saturação por bases nas camadas superficiais do solo, na linha das caramboleiras.

Nutrientes no tecido vegetal

A diagnose do estado nutricional das caramboleiras revelou que houve efeito significativo da calagem sobre os teores foliares de Ca e Mg (Figura 4). Os demais macro e micronutrientes permaneceram, durante todo o período experimental, na faixa considerada adequada por Prado & Natale (2004b).

A Figura 4 evidencia o efeito da aplicação do calcário dolomítico sobre os teores foliares de Ca (Figura 4a) e Mg (Figura 4b) no período de 2001 a 2005, cujos coeficientes de determinação das equações indicam, de modo geral, adequado ajuste do

modelo linear aos dados. Incrementos nos teores foliares de Ca e Mg, nas caramboleiras, eram esperados, visto que o corretivo empregado foi o calcário dolomítico, que promoveu aumento da disponibilidade desses elementos no solo, conforme discutido nas Figuras 1 e 2.

Os teores foliares de cálcio estiveram na faixa considerada adequada por Prado & Natale (2004b), somente nas doses de calcário acima de 3,7 t ha⁻¹, entre os anos de 2002 e 2004 (Figura 4a). Os teores de magnésio estiveram sempre na faixa considerada adequada pelos mesmos autores, com exceção do tratamento-testemunha (Figura 4b).

A Tabela 2 apresenta os coeficientes de correlação entre as concentrações de Ca e Mg no solo, camada de 0-20cm, na entrelinha e linha do pomar, e os teores foliares de cálcio e magnésio nas caramboleiras, nos diferentes anos de condução do experimento. Verificam-se boas correlações entre os teores foliares de Ca e as concentrações do elemento no solo, tanto na linha como na entrelinha da frutífera, sendo tais correlações mais estreitas na entrelinha do pomar. Quanto ao magnésio, o comportamento foi diferente, sendo os coeficientes de correlação maiores, em geral, na linha de plantio das caramboleiras. Resultados divergentes foram obtidos por Quaggio (1994) em citros, que obteve correlações mais estreitas entre Mg foliar e aquele determinado na entrelinha do pomar.

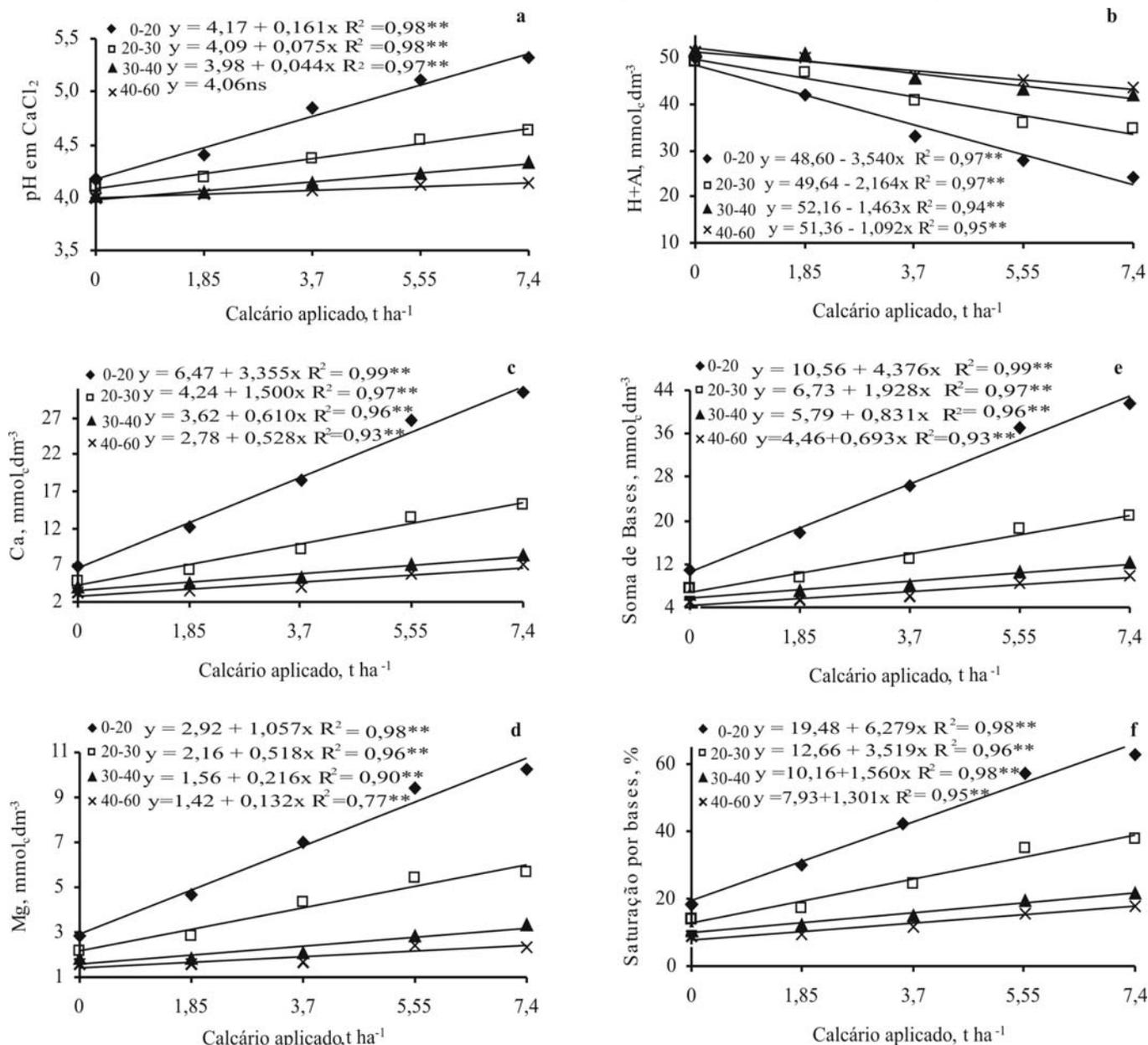


FIGURA 1- Efeito da aplicação de calcário no pH (a), H+Al (b), Ca (c), Mg (d), soma de bases (e) e saturação por bases (f), em diferentes profundidades do solo, em amostras da entrelinha das caramboleiras. Os pontos são médias de doze, dez, dez e nove épocas de amostragem, respectivamente, para as camadas de 0-20; 20-30; 30-40 e 40-60 cm e quatro repetições. *** Significativo P<0,01 e * Significativo P<0,05.

Produção de frutos

As produções de frutos das caramboleiras, nas safras de 2002-2006, em função da aplicação do corretivo de acidez, estão apresentadas na Figura 5. Observa-se efeito significativo dos tratamentos sobre a produção, com exceção dos anos de 2002 e 2006. O aumento de produção da safra de 2003 a 2005 é resultado do crescimento da planta em altura, área foliar e, conseqüentemente, da capacidade produtiva. A melhoria do ambiente radicular devido à correção da acidez (Figuras 1a e 2a), bem como o fornecimento de Ca e Mg provenientes do calcário (Figuras 1c e 2c; 1d e 2d), com o conseqüente reflexo positivo nos teores foliares desses macronutrientes nas plantas (Figura 4), justificam o incremento na produção dos frutos (Figura 5). É importante destacar que, apesar de as plantas serem jovens, as médias de produção das parcelas nas safras de 2003 a 2005 (Figura 5a) sempre estiveram na faixa de produção de pomares adultos, que é de 15-45 t ha⁻¹ (Bastos, 2004), com exceção das caramboleiras do tratamento-testemunha.

A produção acumulada de frutos no período experimental (2002 a 2006) está apresentada na Figura 5b. Observa-se o

adequado ajuste do modelo quadrático aos dados, em função das doses do corretivo, cujo ponto de máxima produção esteve associado à dose de 5,5 t ha⁻¹, correspondendo a 1,5 vez a dose recomendada pelo método de saturação por bases.

Os teores foliares de Ca e Mg correlacionaram-se com a produção acumulada de carambolas, observando-se ajuste quadrático dos dados (Figura 6). Através da Figura 7 verifica-se que uma relação Ca/Mg muito estreita, ou muito larga, prejudica a produção acumulada de frutos. Isto é devido ao efeito de competição entre bases no solo, refletindo na absorção e, conseqüentemente, nos teores dos nutrientes. As máximas produções acumuladas de carambolas estiveram associadas a teores de 7,6 e 4,0 g kg⁻¹ de cálcio e magnésio nas folhas da frutífera, respectivamente, e a uma relação Ca/Mg próxima de 1,9.

Houve incremento da produção acumulada de frutos (safras de 2002 a 2006), em função da saturação por bases do solo na camada de 0-20 cm, tanto na linha como na entrelinha do pomar (Figura 8). Observa-se que, com as doses empregadas, os pontos de máxima produção acumulada de frutos são atingidos quando a saturação por bases do solo é igual a 40% na linha e 53% na entrelinha do pomar de caramboleiras.

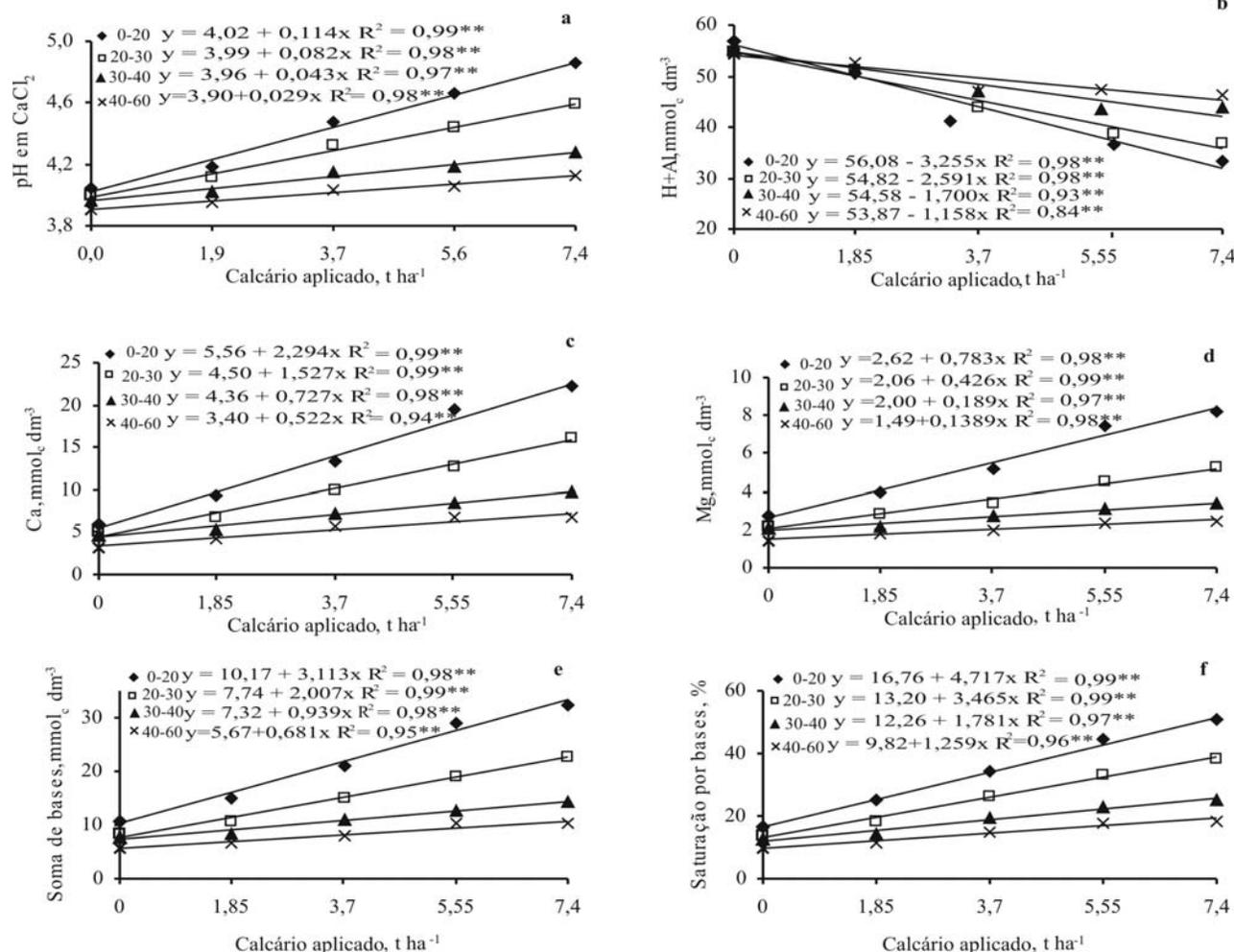


FIGURA 2- Efeito da aplicação de calcário no pH (a), H+Al (b), Ca (c), Mg (d), soma de bases (e) e saturação por bases (f), em diferentes profundidades do solo, em amostras da linha de plantio das caramboleiras. Os pontos são médias de dez épocas de amostragem em cada uma das camadas de 0-20; 20-30 e 30-40 cm e nove épocas de amostragem na camada de 40-60 cm, e quatro repetições. ** Significativo $P < 0,01$ e * Significativo $P < 0,05$.

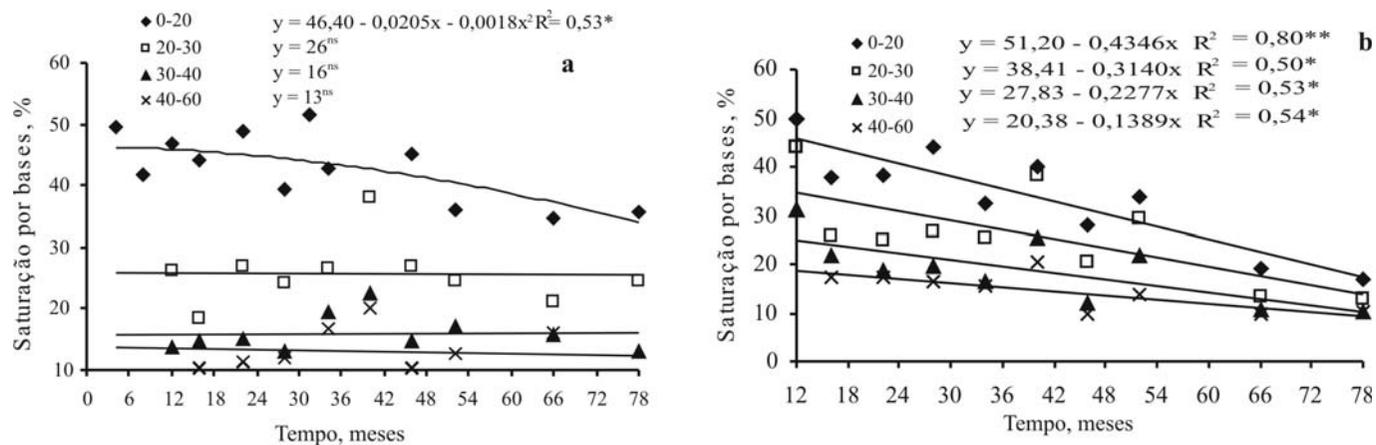


FIGURA 3- Efeito do tempo de aplicação do calcário na saturação por bases do solo cultivado com caramboleira, em amostras da entrelinha (a) e da linha (b) em diferentes profundidades de amostragem. Os pontos são médias de cinco doses de calcário e quatro repetições. ** Significativo $P < 0,01$ e * Significativo $P < 0,05$.

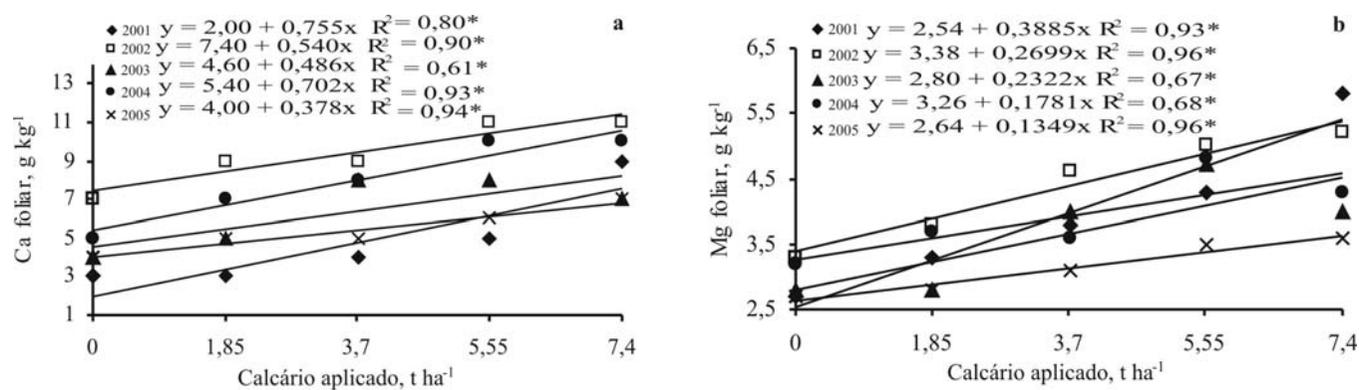


FIGURA 4- Efeito da aplicação de doses crescentes de calcário sobre os teores foliares de Ca (a) e Mg (b), no pomar de caramboleiras, avaliados durante o período experimental. (Dados médios de quatro repetições). ** Significativo $P < 0,01$ e * Significativo $P < 0,05$.

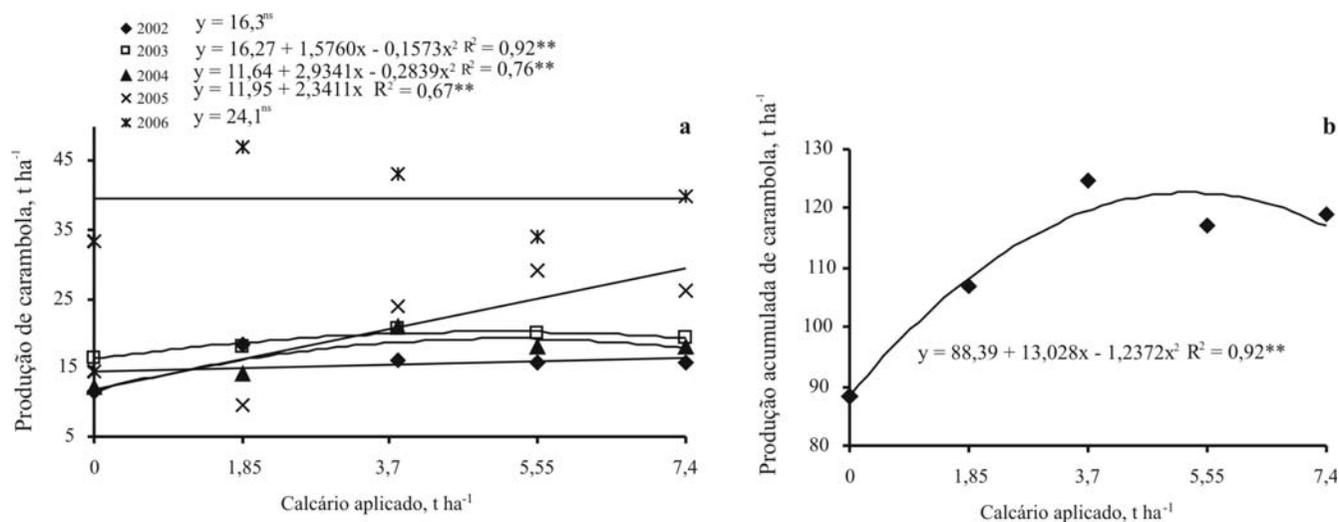


FIGURA 5- Efeito da aplicação de calcário dolomítico na produção de frutos de caramboleiras, nas safras de 2002 a 2006 (a), e na produção acumulada de carambolas (b).

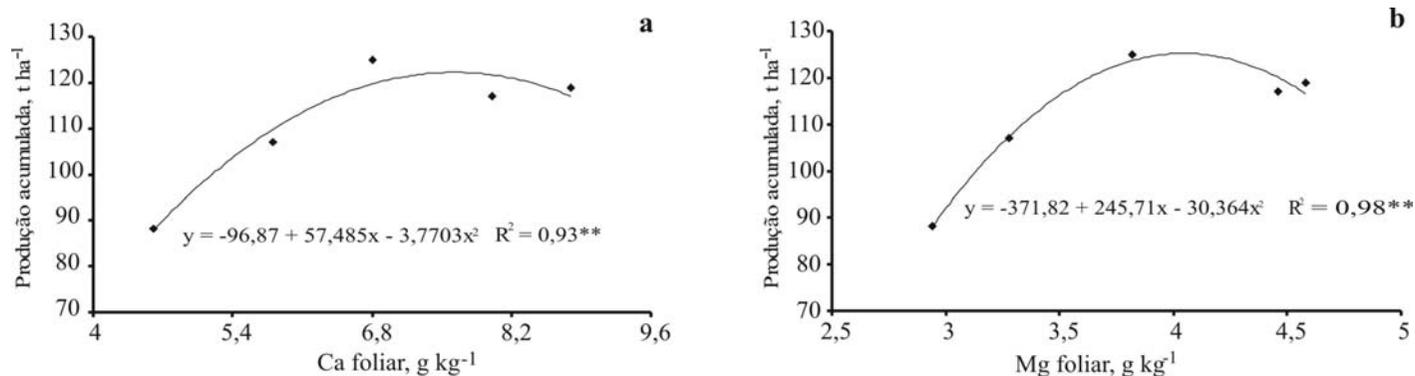


FIGURA 6 - Relação entre os teores foliares de cálcio (a) e magnésio (b) e a produção acumulada de frutos de caramboleiras nas safras de 2002 a 2006. Os pontos são médias de quatro repetições em cada ano.

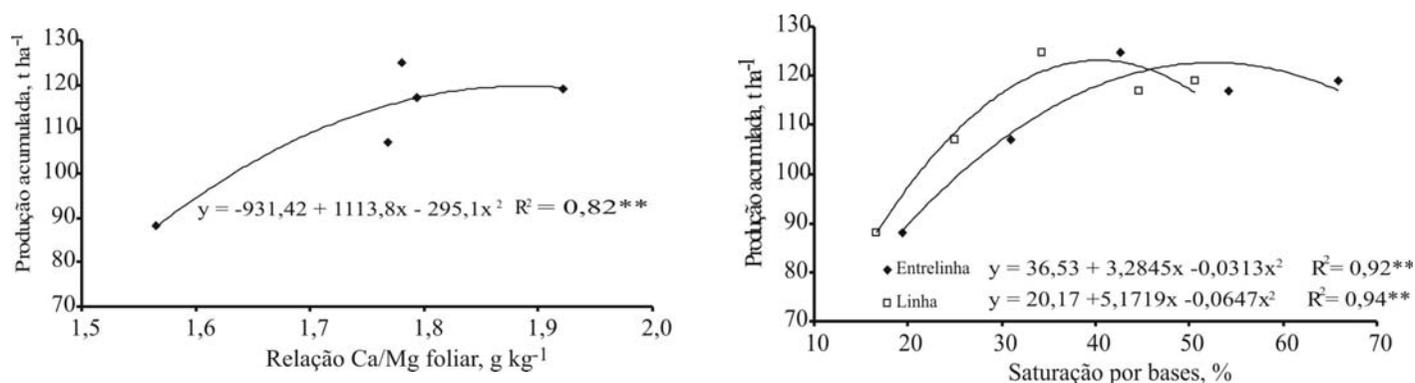


FIGURA 7 - Relação entre Ca/Mg foliar e a produção acumulada de frutos das caramboleiras nas safras de 2002 a 2006. Os pontos são médias de quatro repetições em cada ano.

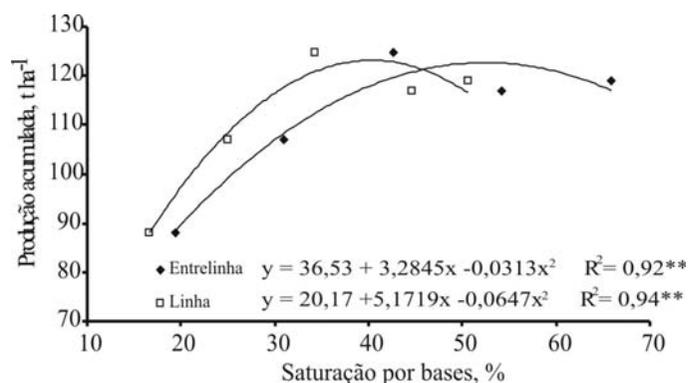


FIGURA 8 - Relação entre a saturação por bases do solo, na camada de 0-20 cm, na entrelinha e na linha do pomar de caramboleiras (média de todas as amostragens) e a produção acumulada de frutos nos anos agrícolas de 2002 a 2006.

TABELA 2 - Coeficientes de correlação entre o cálcio e o magnésio do solo (mmol_c dm⁻³), da camada de 0-20 cm, com o cálcio e o magnésio na folha (g kg⁻¹), da entrelinha e linha de plantio do pomar de caramboleiras, nos diferentes anos de cultivo. (Os valores são médias de quatro repetições em cada ano.)

	--- 2001 ---		--- 2002 ---		--- 2003 ---		--- 2004 ---		--- 2005 ---	
	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg
Ca (solo) L	0,52 *		0,88 **		0,89 *		0,96*		0,94*	
Ca (solo) E	0,94 *		0,96 **		0,99 *		0,97 *		0,93 *	
Mg (solo) L		0,67*		0,96*		0,75*		0,87*		0,96*
Mg (solo) E		ns		0,92*		0,97 *		0,81 *		0,84 *

E = entrelinha do pomar; L = linha de plantio das caramboleiras.**, *, ns Significativo $P < 0,01$; $P < 0,05$, e não-significativo, respectivamente.

CONCLUSÕES

1-A calagem proporcionou melhoria das características químicas do solo, elevando os valores de pH e V% e aumentando as concentrações de Ca e Mg, além da diminuição do H+Al, até 60 cm de profundidade, tanto na entrelinha como na linha das caramboleiras.

2-A calagem promoveu aumento nos teores de cálcio e magnésio nas folhas das caramboleiras, os quais se correlacionaram positivamente com a produção de frutos.

3-A maior produção acumulada de frutos esteve associada à saturação por bases de 40 e 53% na linha e na entrelinha do pomar de caramboleiras, respectivamente.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP, pela concessão de Auxílio à Pesquisa (Processo 99/08020-1), no período de 1999 a 2006.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I.; HINRICHS, R.; BERTOL, I. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um Cambissolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.359-367, 2004.
- AMB - anuário mineral brasileiro. Brasília: Departamento nacional de produção mineral, 2006. 58p.
- AOYAMA, M. Fractionation of water-soluble organic substances formed during plant residue decomposition and high performance size exclusion chromatography of the fractions. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v.42, p.21-30, 1996.
- BASTOS, D.C. A cultura da carambola. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.26, n.2, editorial, 2004.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78).
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6.ed. Viçosa: UFV, 2002. 656p.
- BLEVINS, R.L.; THOMAS, G.W.; CORNELUIS, P.L. Influence of no-tillage and nitrogen fertilization on certain soil properties after 5 years of continuous corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.69, p.383-386, 1977.
- CAIRES, E.F.; ROSOLEM, C.A. Calagem em genótipos de amendoim. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.17, p.193-202, 1993.
- DEMATTÊ, J.L.I.; VITTI, G.C. Alguns aspectos relacionados ao manejo de solos para citros. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CITROS. 2., 1992; **Anais...** Bebedouro: Fundação Cargill, 1992. p.67-99.
- DONADIO, L.C.; SILVA, J.A.A.; ARAÚJO, P.S.R.; PRADO, R.M. **Caramboleira (Averrhoa carambola L.)**. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 2001. v.1. 81p.
- EMBRAPA. **Relatório técnico anual**. Planaltina: Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, 1981. 190p. (Relatório, 5)
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Centro Nacional de Pesquisa de Solo, Produção de Informações, 1999. 412p.
- ENGELS, C.; MARSCHNER, H. Plant uptake and utilization of nitrogen. In: BACON, P.E. (Ed.). **Nitrogen fertilization in the environment**. New York: M. Dekker, 1995. p. 41-81.
- HARTER, R.D.; NAIDU, R. Role of metal-organic complexation in metal sorption by soils. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.55, p.219-263, 1995.
- LOPES, A.S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2.ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1998. 177p.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, 2006. 638p.
- MILLER, A.J.; CRAMER, M.D. Root nitrogen acquisition and assimilation. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.274, p. 1-36, 2004.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; SANTOS, J.C.F. Effects of addition of crop residues on the leaching of Ca and Mg in Oxisols. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 4., 1996, Belo Horizonte. **Abstracts...** Belo Horizonte: SBCS/Embrapa-CPAC, 1996. p.8.
- NATALE, W.; COUTINHO, E.L.M. Avaliação da eficiência agronômica de frações granulométricas de um calcário dolomítico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, p.55-62, 1994.
- NATALE, W.; COUTINHO, E.L.M.; BOARETTO, A.E.; PEREIRA, F.M. **Goiabeira**: calagem e adubação. Jaboticabal: Funep, 1996. 22p.
- OLIVEIRA, E.L.; PARRA, M.S.; COSTA, A. Resposta da cultura do milho, em um Latossolo Vermelho álico, à calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p.65-70, 1997.
- OLIVEIRA, E.L.; PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil & Tillage Research**. Amsterdam, v.38, p.47-57, 1996.
- PEARSON, R.W.; ABRUNA, F.; VICE-CHANCES, J. Effect of lime and nitrogen applications on downward movements of calcium and magnesium in two humid soils of Puerto Rico. **Soil Science**, Baltimore, v.93, p.77-82, 1962.
- PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. São Paulo: Nobel, 1985. 466p.
- PRADO, R. M.; NATALE, W. A calagem na nutrição e no desenvolvimento do sistema radical da caramboleira. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 3, n. 1, p. 3-8, 2004a.
- PRADO, R. M.. NATALE, W. Calagem na nutrição de cálcio e no desenvolvimento do sistema radicular da goiabeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 10, p. 1007-1012, 2004c.
- PRADO, R. M. & NATALE, W. Leaf sampling in carambola trees. **Fruits**, Paris, v. 59, n. 4, p. 281-289, 2004b.

- PRADO, R. M. **Efeitos da aplicação de calcário no desenvolvimento, no estado nutricional e na produção de frutos de goiabeira e de caramboleira.** 2003. 69 f. Tese (Doutorado em Agronomia, Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.
- QUAGGIO, J. A.; ISHIMURA, I. ; SAES, L. A. ; BATAGLIA, Ondino Cleante . Calagem para a rotação feijão-milho verde em solo orgânico do Vale do Rio Ribeira de Iguape. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.9, p.251-255, 1985b.
- QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. Van, MALAVOLTA, E. Alternative use of The SMP buffer solution to determine Lime requirement of soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Monticello, v.16, n.3, p.245-260, 1985a.
- QUAGGIO, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais.** Campinas: Instituto Agronômico, 2000. 111p.
- QUAGGIO, J.A. Métodos de aplicação do calcário em culturas anuais e perenes. In: SIMPÓSIO SOBRE APLICAÇÃO DE CALCÁRIO NA AGRICULTURA, 1., 1986, Campinas. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1986. p.21.
- QUAGGIO, J.A. Variações na interpretação de resultados de análise de solo, em função do local de amostragem, na citricultura. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21., 1994, Petrolina. **Anais...** Viçosa: SBCS/Embrapa, 1994. p.405-407.
- 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.6, p.189-194, 1982.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1991. 343
- RAIJ, B.van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.N.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).
- RAIJ, B.van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.(Eds). **Análise química para a avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285p.
- REISENAUER, H.M. Absorption and utilization of ammonium nitrogen by plants. In: NIELSEN, D.R.; McDONALD, J.G. **Nitrogen in the environment.** London: Academic Press, 1978. v.2, p.157-170.
- SANCHEZ, P.; SALINAS, J.G. **Suelos acidos: estrategias para su manejo con bajos insumos en America Tropical.** Bogotá: Sociedad Colombiana de la Ciencia Suelo, 1983. 93p.
- SAS Institute. **SAS User's guide: statistics.** 5th ed. Cary, N.C., 1985. 956p.
- TESCARO, M.D. Eficiência do método da saturação de bases para a correção da acidez de um solo Álico. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23., 1998. Caxambu, **Anais...** Lavras: UFLA/SBCS/SBM, 1998. p.103.
- WEIRICH NETO, P.H.; CAIRES, E.F.; JUSTINO, A.; DIAS, J. Correção da acidez do solo em função de modos de incorporação de calcário. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, p.257-261, 2000.